

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

FÍSICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA,
MECÁNICA-ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA



**“MEJORA EN LA CONFIABILIDAD OPERACIONAL DEL SISTEMA POWER
SHIFT DE UN CAMIÓN MINERO CATERPILLAR MODELO 797F:
DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA DE GESTIÓN DE
MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO 2016”**

Tesis presentada por el Bachiller:

SANDOVAL MOSCOSO GUSTAVO ANDREE

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO MECÁNICO-ELECTRICISTA

AREQUIPA –PERÚ

2016

A Dios,

Por guiarme y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación personal y tener la compañía siempre de mis padres.



A mi madre Luz,

Por haberme apoyado en todo momento, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mi padre Jorge,

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracteriza y que me ha infundido siempre, por sus consejos y sabias enseñanzas, por el valor mostrado para salir adelante y por el amor que me brinda.

2.3.2.4. Sub-sistema de combustible	19
2.4. SISTEMA DEL TREN DE FUERZA : ESQUEMA GENERAL.....	21
2.4.1. Sub-sistema de control electrónico.....	25
2.5. SISTEMA DE DIRECCIÓN	38
2.6. SISTEMA DE FRENO	48
2.6.1. Sistema de actuación de freno	50
2.6.2. Componentes de entrada y salida del sistema de control electrónico de freno	52
2.7. SISTEMA DE LEVANTE.....	67
CAPITULO III FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO.....	76
3.1. INTRODUCCIÓN.....	76
3.2. ANTECEDENTES.....	77
3.3. PRIMERA GENERACIÓN.....	79
3.4. SEGUNDA GENERACIÓN	79
3.5. TERCERA GENERACIÓN	80
3.6. NUEVAS TENDENCIAS DEL MANTENIMIENTO.....	81
3.7. GESTIÓN DEL RIESGO	84
3.8. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO.....	85
3.9. MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (MBR).....	86
3.9.1. Definición de riesgo.....	88
3.9.2. Concepto del riesgo y su importancia en el mantenimiento.....	89
CAPITULO IV METODOLOGÍA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO	94
4.1. METODOLOGÍA PARA SU IMPLEMENTACIÓN	94
4.2. PASO 1 : ESTABLECER JERARQUÍA DE LA PLANTA	95
4.3. PASO 2 : DESARROLLAR UN DESGLOSE FUNCIONAL	95
4.4. PASO 3 : LISTAR LOS MODOS DE FALLO.....	97
4.5. PASO 4: LISTAR LAS CAUSAS DE FALLO	98
4.6. PASO 5 : LISTAR LOS POSIBLES MECANISMOS DE DAÑO	99

4.7. PASO 6: PRIORIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN.....	100
4.9. PASO 7: ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS	106
4.10. PASO 8 : OBTENER LA PROBABILIDAD DE FALLO	107
4.11. PASO 9: EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLO.....	113
4.12. PASO 10: EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE FALLO.....	114

CAPITULO V IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO AL SISTEMA POWER SHIFT CAMIÓN MINERO CAT 797F

5.1. INTRODUCCIÓN.....	121
5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO AL SISTEMA POWER SHIFT DEL CAMIÓN MINERO CAT MODELO 797	122
5.2.1. Paso 1: Jerarquía de planta	122
5.2.2. Paso 2: Realizar un desglose funcional	123
5.2.3. Paso 3: Listar los modos de fallo	134
5.2.4. Paso 4: Listar las causas de fallo.....	137
5.2.5. Paso 5: Listar los posibles mecanismos de daño.....	145
5.2.6. Paso 6: priorización de las actividades de mantenimiento e inspección ..	148
5.2.7. Paso 7: Análisis de escenarios.....	154
5.2.8. Paso 8: Obtener la probabilidad de fallo	159
5.2.9. Paso 9: Evaluación de la probabilidad de fallo	165
5.2.10. Paso 10: Evaluación de las consecuencias de fallo.....	166
5.2.11. Paso 11: Evaluación del riesgo.....	168
5.2.12. Paso 12: Redactar actividades de mantenimiento y reducción de riesgos	173

CONCLUSIONES..... 181

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1:	Desglose Funcional de una Bomba.....	97
Cuadro N° 2:	Modos de fallo de una Bomba Transmisión.....	98
Cuadro N° 3:	Desglose Funcional de una Bomba Eje de Transmisión	99
Cuadro N° 4:	Modos de Fallo y Causas de Fallo de una Bomba de Dirección	100
Cuadro N° 5:	Empresas Mineras que cuentan con el Camión Minero CAT Modelo 797F	121
Cuadro N° 6:	Relación de Camiones Mineros CAT Modelo 797F en los Centros Mineros de País.....	122
Cuadro N° 7:	Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F.....	128
Cuadro N° 8:	Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F.....	129
Cuadro N° 9:	Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F.....	130
Cuadro N° 10:	Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F.....	131
Cuadro N° 11:	Definición de funciones de las partes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F.....	132
Cuadro N° 12:	Definición de funciones de las partes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F.....	133
Cuadro N° 13:	Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	134
Cuadro N° 14:	Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	135
Cuadro N° 15:	Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	135
Cuadro N° 16:	Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	136

Cuadro N° 17: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	136
Cuadro N° 18: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	137
Cuadro N° 19: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	138
Cuadro N° 20: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	139
Cuadro N° 21: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	140
Cuadro N° 22: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	141
Cuadro N° 23: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	142
Cuadro N° 24: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	143
Cuadro N° 25: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	144
Cuadro N° 26: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	145
Cuadro N° 27: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	146
Cuadro N° 28: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	146
Cuadro N° 29: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	147
Cuadro N° 30: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	147
Cuadro N° 31: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F	148
Cuadro N° 32: Función de probabilidad fallos para los componentes principales del Sistema Transmisión del Camión Minero Modelo 797F	160

Cuadro N° 33: Evaluación de Riesgos de cada uno de Componentes de la Transmisión del Camión Volquete Minero Cat 797F.....	168
Cuadro N° 34: Resumen de los Valores de Riesgo obtenidos de los Componentes de la Transmisión del Volquete Minero Modelo 797F	173
Cuadro N° 35: Descripciones de actividades de programación de mantenimiento para cada evento no deseado del cuadro de riesgos de cada falla para el Sistema de Transmisión del Camión Volquete Minero Modelo Cat 797F.....	175
Cuadro N° 36: Estrategias de Mantenimiento Implementadas a los Componentes de la Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F con el MBR	176
Cuadro N° 37: Evaluación del Riesgo de cada uno de los Componentes de la Transmisión	177



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Camión Minero Cat Modelo 797F.....	8
Figura N° 2: Motor Diésel Costado Derecho del Motor.....	9
Figura N° 3: Motor Diésel Costado Izquierdo del Motor	10
Figura N° 4: Delantera del Motor Diésel Cat.....	11
Figura N° 5: Modulo de Control Electrónico del Motor- ECM.....	13
Figura N° 6: Sub-sistema de Enfriamiento del Motor	14
Figura N° 7: Sub-sistema de Admisión y Escape	17
Figura N° 8: Postenfriador de Aire-Aire.....	18
Figura N° 9: Sub-sistema de Combustible del Motor.....	19
Figura N° 10: Esquema General del Sistema del Tren de Fuerza	21
Figura N° 11: Esquema Hidráulico del Tren de Potencia	22
Figura N° 12: Componentes de Entrada y Salida en el Control Electrónico de la Transmisión.	25
Figura N° 13: Sensor de Velocidad Motor.....	27
Figura N° 14: Modos de Protección de la Transmisión ECM.....	27
Figura N° 15: Sensor de Velocidad de Entrada de Transmisión	28
Figura N° 16: Cubierta del Diferencial Retirada.....	28
Figura N° 17: Componentes del Convertidor de Torque	29
Figura N° 18: Cierre de la Válvula Moduladora de Embrague del Convertidor de Torque.....	32
Figura N° 19: Sensores de Nivel de Aceite del Convertidor.....	33
Figura N° 20: Enfriador de Aceite de Transmisión y Convertidor de Torque	34
Figura N° 21: Partes de la Transmisión	35
Figura N° 22: Conjunto de Lubricación de la Transmisión	35
Figura N° 23: Válvula Moduladora de la Transmisión.....	37
Figura N° 24: Conjunto de Válvulas moduladoras de Transmisión (Control de Válvulas).....	37
Figura N° 25: Sistema de Dirección	38
Figura N° 26: Esquema del Sistema de Dirección.....	39
Figura N° 27: Tanque Hidráulico de Dirección	40

Figura N° 28: Tanque Hidráulico, Vista en Corte	41
Figura N° 29: Bomba de Ventilador y Dirección	43
Figura N° 30: Componentes del Sistema de Dirección	44
Figura N° 31: Válvula de Alivio y Solenoide de la Dirección	45
Figura N° 32: Válvula de Control de la Dirección	46
Figura N° 33: Cilindros de Dirección	47
Figura N° 34: Sensores Internos del Cilindro de Dirección Derecho	48
Figura N° 35: Componentes del Sistema de Frenos	49
Figura N° 36: Sistema de Freno Accionamiento	51
Figura N° 37: Configuración Electrónica del ECM de Frenos	51
Figura N° 38: Vista en Corte de los Paquetes de Frenos en las Ruedas Delanteras.....	52
Figura N° 39: Vista en Corte del Tanque Hidráulico	54
Figura N° 40: Bomba de Enfriamiento de Frenos	55
Figura N° 41: Filtro de Accionamiento de Frenos.....	56
Figura N° 42: Válvula de Frenos.....	56
Figura N° 43: Componentes de la válvula de freno.....	57
Figura N° 44: Esquema Interno de la Válvula de Frenos.....	58
Figura N° 45: Pedal y Sensor de Freno de Servicio	61
Figura N° 46: Acumuladores de Frenos.....	62
Figura N° 47: Ajustadores Slacks de Frenos.....	62
Figura N° 48: Sistema de Enfriamiento de Frenos	64
Figura N° 49: Vista en Corte de Tanque Hidráulico	65
Figura N° 50: Señales de Entrada y Salida al ECM de Enfriamiento de Frenos.....	66
Figura N° 51: Sistema de Levante.....	68
Figura N° 52: Bomba de Enfriamiento de Frenos	68
Figura N° 53: Esquema del Sistema de Levante	69
Figura N° 54: Esquema de Señales de Entrada y Salida del ECM de Chasis	71
Figura N° 55: Palanca de Posición de Tolva.....	71
Figura N° 56: Sensor de Posición de Tolva	73
Figura N° 57: Bomba de Engranajes del Sistema de Levante.....	74
Figura N° 58: Válvula de Control de Levante y Enfriamiento de Frenos.....	75
Figura N° 59: Cilindros de Levante.....	75

Figura N° 60: Características de Mantenimiento de la Primera Generación	79
Figura N° 61: Características de Mantenimiento de la Segunda Generación	80
Figura N° 62: Características de Mantenimiento de la Tercera Generación.....	81
Figura N° 63: Características de Mantenimiento de la Cuarta Generación	81
Figura N° 64: El Mantenimiento con el Medio Ambiente, ahora es una Obligación. ...	83
Figura N° 65: El Mantenimiento asegura Productos Fabricados con Estándares de Calidad.....	83
Figura N° 66: Tipos de Mantenimiento de Última Generación	86
Figura N° 67: Estimación del Riesgo.....	92
Figura N° 68: Evaluación del Riesgo.....	92
Figura N° 69: Planificación del Mantenimiento.....	93
Figura N° 70: Modelo Bow-Tie.....	101
Figura N° 71: Árbol y Eventos de Fallas	103
Figura N° 72: Árbol de Eventos de Modos de Fallos según Niveles	104
Figura N° 73: Etapas de los árboles de sucesos	105
Figura N° 74: Evento Pdf y CdF.....	106
Figura N° 75: Función Densidad de Probabilidad Weibull.....	111
Figura N° 76: Distribución Weibull.....	111
Figura N° 77: Matriz de Riesgos	118
Figura N° 78: Modelo Bow-Tie de las Pdf y Cdf.....	149
Figura N° 79: Matriz de riesgo 1: considerando probabilidad por Método analítico u opinión de expertos.	170
Figura N° 80: Matriz de Riesgo 2: Considerando Valor de MTBF.....	170

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1: Jerarquía de Funciones	94
Gráfico N° 2: Niveles de Funciones de un Activo	96
Gráfico N° 3: Análisis de los Escenarios	107
Gráfico N° 4: Evaluación Probabilidad de Fallo	113
Gráfico N° 5: Secuencia Evaluación de Consecuencia de Fallo	116
Gráfico N° 6: Secuencia de la Matriz de Riesgos	118
Gráfico N° 7: Distribución Mantenimiento Mina las Áreas de los Equipos.....	123
Gráfico N° 8: Desglose Funcional de Sistemas y Componentes del Camión Minero CAT 797F.....	125
Gráfico N° 9: Componentes Sistema Tren de Fuerza Camión Minero CAT 797F..	126
Gráfico N° 10: Componentes y partes de la transmisión camión Minero CAT Modelo 797F	127
Gráfico N° 11: Falla total del eje de accionamiento de la transmisión	149
Gráfico N° 12: Falla total engranajes delanteros transmisión	150
Gráfico N° 13: Falla total engranajes posteriores transmisión	151
Gráfico N° 14: Falla total bomba hidráulica de carga transmisión.....	151
Gráfico N° 15: Falla total bomba lubricación de la transmisión	152
Gráfico N° 16: Falla total de los platos y discos de la transmisión power shift	152
Gráfico N° 17: Falla total control electrónico ECM	152
Gráfico N° 18: Falla total bomba hidráulica de barrido transmisión	153
Gráfico N° 19: Falla total de las válvulas proporcionales transmisión	154
Gráfico N° 20: Fallo total del filtrado de la transmisión	154

RESUMEN

La presente tesis se realizó con el objeto de presentar de manera lógica y estructurada un modelo de gestión integral de mantenimiento basado en el riesgo para el sistema power shift de un camión minero Caterpillar Modelo 797F evaluada en la probabilidad de falla por sus consecuencias. La metodología de mantenimiento basado en el riesgo se inicia en la selección del sistema considerado uno de los más críticos dado su contexto y sus funciones primarias y secundarias.

El sistema de transmisión o también denominado power shift cuenta con una serie de componentes y partes que se van degradando al transcurrir las horas de operación con la consecuencia de producirse modos de fallos evidentes u ocultos desde la ocurrencia de la falla potencial hasta la falla funcional.

El proceso de implementación del mantenimiento basado en el riesgo se procedió con una metodología que consta de una serie de pasos que va desde la jerarquía de los componentes y partes del sistema de transmisión hasta el paso final de definición de estrategias. Realizamos el procedimiento de desarrollo desde el inicio de las funciones de los componentes, fallas funcionales, los modos de fallos hasta causa raíz determinados en reuniones con especialistas de planificación y operaciones donde encontramos hallazgos trascendentes de los modos de fallas lo cual determino el porqué de utilizar este tipo de metodología para plasmarlo en documentos.

Podemos concluir que este tipo de estrategia de gestión de mantenimiento permitirá optimizar el performance del sistema de transmisión con el seguimiento en detalle de cada uno de los componentes principales de tal modo se vaya mejorando la confiabilidad operacional no solo de sistemas, sino de todos los activos que actúan en una empresa.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento basado en el riesgo; evaluación de riesgos; confiabilidad operacional, probabilidad de falla y consecuencias.

ABSTRACT

This thesis was performed in order to present logically and structured a maintenance management model based on risk to the power shift system of mining truck Caterpillar Model 797F evaluated in failure probability by its consequences. The methodology of risk-based maintenance begins in the selection of the one most critical system due its context and primary and secondary functions.

The transmission system also called power shift or has a number of components and parts that are degrading to pass of operating hours with the consequence to Causing obvious and hidden mode failures from the potential failure occurrence to functional failure.

The implementing process of the risk-based maintenance is proceeded with a methodology that consists of a series of steps leading from the hierarchy of components and parts of the transmission system to the final step of defining strategies. We perform the development process from the start of the functions of the components, functional failures, failure modes to root cause certain meetings with specialists planning and operations where we find transcendent findings of failure modes which determine why use this methodology to translate it into documents.

We can conclude that this type of maintenance management strategy will optimize the transmission system performance with detail monitoring of the each main components getting the improvement of the operational reliability in the trucks systems and all company assets.

KEY WORDS

Risk-based maintenance; Risks evaluation; operational reliability, failure probability and consequences.

INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM) es un proceso que sirve para identificar, evaluar y definir los riesgos industriales, que pudieran poner en peligro la integridad de los activos o sistemas, que se pueden controlar mediante inspecciones y análisis adecuados y con esto realizar la mejora de la confiabilidad operacional.

Durante el proceso de RBM, los ingenieros diseñan la estrategia a seguir en la aplicación que encaje mejor con los mecanismos de degradación que se hubieran previsto u observado

Teniendo en cuenta estas consideraciones el presente proyecto de tesis se divide de la siguiente manera:

CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: El primer capítulo se inicia con la identificación del problema, descripción del problema, justificación del problema, alcances y limitaciones, antecedentes cuyas interrogantes deberán ser respondidas en el desarrollo de la tesis, precisando con claridad las variables del estudio para facilitar el desarrollo de las mismas, siendo en este caso el aumento de la confiabilidad operacional del Power Shift del camión minero CAT Modelo 797F. Para luego precisar los objetivos del estudio y la hipótesis correspondiente que será contrastada con los resultados del trabajo de investigación.

CAPITULO II CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CAMIÓN MINERO CAT MODELO 797F: En este capítulo nos permite describir y explicar los sistemas y componentes tal como descripción del funcionamiento de un camión de minero, descripción sistema de motor diésel, descripción de las partes principales del motor, clasificación de los sub-sistemas del motor, descripción del sistema del tren de fuerza, subsistema de control electrónico de la transmisión, sistema de dirección y sistema de levante.

CAPÍTULO III FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO: En este capítulo damos a conocer todo lo concerniente a la evolución ingeniería de mantenimiento desde sus antecedentes, luego la evolución a través de sus

generaciones como son primera generación, segunda generación, tercera generación y la cuarta generación, continuamos con una descripción de los tipos de mantenimiento desde el mantenimiento correctivo hasta mantenimiento basado en la confiabilidad para culminar con el mantenimiento basado en el riesgo.

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO: En este capítulo desarrollamos la metodología de implementación del mantenimiento basado en el riesgo, indicando en cada uno de los pasos correspondientes como son establecer jerarquía de la planta, desarrollar un desglose funcional, listar los modos de fallo, listar las causas de fallo, listar los posibles mecanismos de daño, priorización de las actividades de mantenimiento e inspección, priorización de las actividades de mantenimiento e inspección, análisis de los escenarios, obtener la probabilidad de fallo, evaluación de la probabilidad de fallo, evaluación de las consecuencias de fallo y redactar actividades de mantenimiento y reducción de riesgos.

CAPÍTULO V APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO AL SISTEMA POWER SHIFT DEL CAMION MINERO CAT 797F: En este último capítulo se desarrolla la implementación del mantenimiento basado en el riesgo al sistema power shift con cada uno de sus pasos de acuerdo a la metodología planteada y se desarrolla con los siguientes puntos: Introducción, implementación del mantenimiento basado en el riesgo al sistema power shift y el último punto planteamiento de estrategias de mantenimiento al power shift del camión minero Cat modelo 797F.

Finalmente se incluye las conclusiones, las recomendaciones, las bibliografía, y luego los anexos correspondientes.

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La gestión de mantenimiento en empresas de sector privado, específicamente en el sector minero, es uno de los grandes retos para los ingenieros de manutención porque se debe cumplir con indicadores estándar como es la confiabilidad operacional y esto conlleva a que sea necesario realizar un mantenimiento con eficiencia y eficaz en los activos. El área de mantenimiento en su planificación, programación y supervisión cuenta con un presupuesto que le permite realizar y alcanzar los objetivos planteados para el año proyectado. Las empresas que suministran activos y con prestación de servicios, cada día se ven sometidas a una exigencia constante por parte de los clientes, con objetivos cada vez más rigurosos en ratios de producción, las tareas de mantenimiento durante su ciclo de vida para los equipos del sector minero están claramente definidas por las estrategias del fabricante como son personal especializado y capacitado, infraestructura física, herramientas, logística y el contexto de la gestión de mantenimiento. Donde en este proyecto de tesis planteamos una metodología como es el mantenimiento basado en el riesgo con el objetivo de aumentar la confiabilidad operacional. Por esta razón, las empresas del sector minero requieren herramientas más precisas para respaldar las decisiones de realizar tarea de mantenimiento sobre sus equipos, que combine de forma adecuada, las actividades periódicas, la condición de los equipos, los avances tecnológicos en el monitoreo de variables y el impacto de realizar la actividad a través de una análisis de riesgo. Por lo tanto el presente proyecto es proponer una metodología de mantenimiento basado en el riesgo al sistema Power Shift del camión minero CAT Modelo 797F, para la toma de decisiones de realizar acciones de mantenimiento periódica o condición, a partir de una clasificación de los activos en sus modos de falla, probabilidad de falla, consecuencia dentro de un contexto operacional requerido por la empresa.

1.1. TÍTULO

“Mejora en la Confiabilidad Operacional del Sistema Power Shift de un Camión Minero Modelo Caterpillar 797F: Desarrollo de una Metodología de Gestión Mantenimiento Basado en el Riesgo 2016”

1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Los volquetes en los centros mineros son activos de gran relevancia en la producción de las empresas mineras, son máquinas principales que permiten trasladar material en bruto para ser procesada en las diferentes áreas de la planta, cuya importancia es de carácter prioritario y denominadas máquinas de alta criticidad. De allí la importancia que tenemos en la Empresa Ferreyros con nuestros clientes de brindarles no solo la venta del equipo si no darle soporte técnico al activo en conjunto o también en sistemas, componentes del camión minero CAT modelo 797F y otros equipos. Por estrategia de la empresa nuestros clientes son nuestros aliados en la relación de confianza para que sus activos cuenten con alta disponibilidad y confiabilidad operacional, esta máquina es uno más grandes del mundo por consiguiente tiene un alto costo de adquisición, alto costo de operación y su impacto de parada por fallas en cada uno de sus sistemas es de prioridad uno para las empresas mineras.

En este Proyecto de Tesis nos permite evaluar alternativas de gestión de mantenimiento a través de la evolución en los avances de la ingeniería de mantenimiento, y es que de allí planteamos este proyecto como una solución para mejorar la gestión de mantenimiento del volquete minero modelo Cat 797F a través de un indicador de relevancia como es la confiabilidad operacional. Como egresado profesional de ingeniería mecánica y ejerciendo en la Empresa Ferreyros como soporte técnico especializado me permite estar en contacto con cada una de las problemáticas que se van presentando en los sistemas de dicho volquete y de ahí parte la necesidad de plantear una metodología de mantenimiento basado en el riesgo para aumentar y controlar la confiabilidad operacional de los activos.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El mantenimiento basado en el riesgo (RBM) es una nueva técnica de gestión de mantenimiento, cuyas características relevantes es aumentar la confiabilidad operacional a través de implementación de una metodología que nos permita ir a paso a paso identificando cada uno de los componentes del sistema de transmisión, donde permita seleccionar los componentes más críticos, y a partir de allí realizaremos un análisis causa raíz, para luego identificar los modos de fallas y sus efectos de tal modo que podamos calcular el riesgo donde es definido por la probabilidad de falla y sus consecuencias sean económicas o técnicas y luego realizar un plan de mantenimiento acorde a la realidad de cada uno de los componentes y partes del sistema Power Shift del camión.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El propósito de las actividades de mantenimiento es extender la vida útil y reducir la probabilidad de fallo de los activos y sistemas. Cada tipo de activo debe tener una estrategia diferente de mantenimiento donde en la actualidad la mayoría de los mantenimientos se realizan con intervalos de tiempo fijos y en algunos casos consideran su condición, a pesar de esto causan indisponibilidades no optimizadas de los mismos. Una de las metodologías para indicar las tareas de mantenimiento a partir de los riesgos es los mantenimientos basados en los riesgos, la cual define las funciones del equipo a partir de lo que el usuario quiere que haga. Para cada una de las funciones se determina la falla funcional y los modos de fallo, lo anterior con el fin de encontrar una tarea proactiva o dejar fallar el activo o sistema de acuerdo a las consecuencias evaluadas. Los intervalos de las tareas se definen a partir de la identificación de una falla potencial y tiempo transcurrido para la ocurrencia de falla múltiple, este tiempo es conocido como el intervalo P-F. En caso contrario cuando no es posible una tarea proactiva para aquellos modos de fallo que son aleatorios es necesario realizar una actividad de búsqueda de falla. Otro tipo de tarea preventiva es la definida por la estrategia del mantenimiento basado en condición, el cual, a diferencia del anterior no tiene una frecuencia determinada y depende del monitoreo de variables y sus límites para cada equipo, como lo son, el número de horas de uso, número de operaciones, valor de corriente acumulada, monitoreo de contenido de

humedad en el aceite, y otras. El RBM indica cuándo el equipo tiene una falla en desarrollo o ya es inminente, no considera los efectos de falla de un componente o el beneficio de prevenirlos. El mantenimiento basado en riesgo tiene altos costos en su implementación, razón por la cual la decisión de hacerlo requiere conocer la importancia del equipo en su contexto operacional y acompañarse de un análisis de costos para evaluar el beneficio en el ciclo de vida, con el fin de justificar la inversión. Utilizando RBM u otra estrategia como el RCM y a estrategia de mantenimiento en las empresas del sector de ventas de activos y servicios especializados puede ser modificada mediante la combinación de estas dos metodologías, de tal forma que permita focalizar más en las necesidades de operación, con un alto grado de eficiencia en el uso de recursos y mejorando los esfuerzos del mantenimiento. El mantenimiento basado en el riesgo RBM nos permitirá determinar cuándo y las consecuencias de intervenir el equipo. El Mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo para equipos de alta criticidad de un modo de falla detectado, esta decisión considera elementos de probabilidad de falla y criticidad donde se encuentra instalado el equipo. Lo anterior hace parte de la gestión del riesgo en el contexto operacional del equipo, de la importancia del mismo y los criterios de valoración definidos. En definitiva es necesario utilizar una estrategia que combine la confiabilidad de los equipos a partir del histórico de fallas, el monitoreo de la condición y un análisis de riesgo en la toma de las decisiones, para ofrecer un modelo más realista en lo relacionado a la incertidumbre de hacer o aplazar una actividad de mantenimiento, de tal forma que permita una mejor utilización de los recursos, disminuya el impacto de afectación del servicio, permita identificar las necesidades de renovación y se cumplan con los indicadores de eficiencia operacional definidos por la empresa. Para las actividades periódicas, el trabajo entrega como resultado la determinación de frecuencias óptimas de intervención de los equipos a partir del histórico de fallas en un intervalo de tiempo, permitiendo calcular la probabilidad de falla y analizar si las tareas son efectivas desde el punto de vista de frecuencia, y de sí la actividad evitan estos modos de falla. Los resultados son evaluados con la información de lo que se hace a una familia de equipos y los cambios en frecuencias para estas mismas actividades, considerando las tecnologías del MBC. Para las actividades no periódicas es necesario un análisis complementario que incorpore un análisis de

riesgo y criticidad para definir la prioridad de intervención en un intervalo de tiempo. Los resultados permiten disminuir el impacto en la asignación de recursos, afectación a los clientes y posibles pagos de penalizaciones por indisponibilidad programadas o de emergencia.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

➤ Limitaciones Académicas y profesionales

Limitación de encontrar profesionales especializados con experiencia en el tema de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo.

Limitación de encontrar profesionales en las diferentes industrias que asesoren o tengan tiempo adecuado en consultas técnicas.

Falta de relación académico y profesional entre las universidades y las empresas.

➤ Limitaciones de materiales

Limitación de material bibliográfico y hemerográfico en las diferentes fuentes de información tanto de la UCSM como las demás instituciones que brindan este servicio.

Limitación de acceso logístico en la facilidad para ver casos de implementación en diferentes tipos de empresas respecto a la implementación de la estrategia de mantenimiento basado en el riesgo.

1.6. ANTECEDENTES

El desarrollo de la presente investigación se presenta como consecuencias de varios factores preponderantes que se está dando en la evolución de la ingeniería de mantenimiento en estos últimos 30 años. Donde podemos resaltar la serie de estrategias evolutivas en los análisis de gestión de mantenimiento como son causa raíz, mantenimiento basado en condición, inspección basada en el riesgo, etc. Las generaciones de ingeniería de mantenimiento que estamos en la quinta generación, la evaluación de ingeniería de mantenimiento a través de los indicadores claves de

performance y además los criterios de comparación como con otras pares o empresas de rublo respecto a los Benchmarking.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. Objetivo general

Mejora de la Confiabilidad Operacional del Sistema Power Shift de un Camión Minero Modelo CAT 797F: Desarrollo de una Metodología de Gestión Mantenimiento Basado en el Riesgo.

1.7.2. Objetivo específicos

- Tener conocimiento de todos los componentes y partes del sistema de transmisión del Power shift del camión minero modelo 797F.
- Describir las funciones de los componentes y partes del sistema de transmisión del Power Shift del camión minero modelo 797F.
- Compilar el historial de fallas de los Power Shift de los diferentes volquetes que están a servicio de la Empresa, con sus consecuencias y efectos de fallas.
- Realizar una evaluación de análisis de criticidad de cada uno de los componentes del sistema Power Shift.
- Implementar una metodología del Manteniendo Basado en el Riesgo al sistema de transmisión del Power Shift del camión minero modelo 797F para la mejora de la confiabilidad operacional.

1.8. VARIABLES

1.8.1. Variable dependiente

Confiabilidad operacional

1.8.2. Variable independiente

Mantenimiento Basado en el Riesgo se mide como la probabilidad de falla por la consecuencia que puede ser económica, medio ambiente o de seguridad



CAPITULO II

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL CAMIÓN MINERO CAT MODELO 797F

2.1. CAMIÓN MINERO CAT MODELO 797F¹

El camión es un equipo muy utilizado en la industria minera. Las condiciones bajo las cuales transitan estos equipos son agrestes generando desajustes, corrosión y deformación entre otros, en los diferentes sistemas y componentes y partes que componen el volquete CAT modelo 797F.

El camión minero modelo 797F es el siguiente paso en camiones para minería de clase ultra, diseñado y construido por Caterpillar usando sistemas y componentes que evolucionaron en las aplicaciones de minería resistente durante años. Otorga excelente maniobrabilidad, operación segura, bajos costos de mantenimiento, costos de operación más bajos y un desplazamiento confortable.

El camión 797F tiene una capacidad de carga útil de 400 toneladas métricas y un peso total operativo de 623690 kilogramos. Esta nueva actualización del modelo sigue siendo el camión más grande de la extensa línea de Caterpillar Fuera de Carretera. El 797F tiene la distribución de la carga útil admisible más alta de todos los camiones de minería en base a la metodología de Caterpillar.



Figura N° 1: Camión Minero Cat Modelo 797F
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.20).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

¹ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN CAMION MINERO CATERPILLAR 797F²

El camión de minería marca Caterpillar cuenta con los siguientes sistemas:

1. Sistema de motor
2. Sistema de tren de fuerza
3. Sistema de dirección
4. Sistema de frenos
5. Sistema de levante

En el presente trabajo se detallará el funcionamiento de cada uno de los sistemas.

2.3. SISTEMA DE MOTOR DIESEL

Especificaciones Técnicas

Información del motor:	C 175-20
Nº de serie. Prefijos:	A4K - C175-20
Altitud Máxima:	1372 m (4501 pie)
Potencia Bruta:	2648 KW (3551) @ 1750 rpm
RPM en alta en vacío	1850 rpm
RPM plena Carga	1750 rpm
RPM de máximo torque:	1600 +/- 10 rpm
Presión de refuerzo a plena carga	209 +/- 20 kPa (30 +/- 3 psi)
Presión de refuerzo en torque máx.	158 kPa (23 psi)

2.3.1. Partes principales del motor

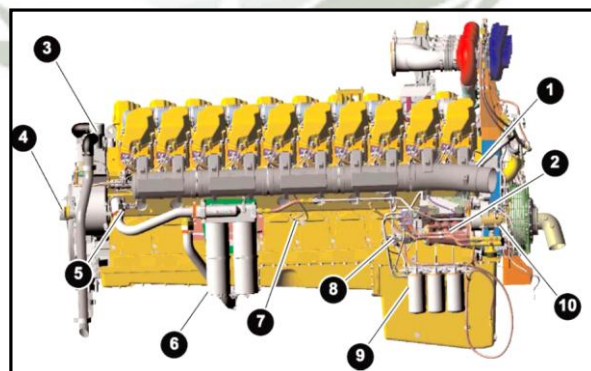


Figura N° 2: Motor Diésel Costado Derecho del Motor

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.25).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

² Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Se encuentran ubicados los siguientes componentes:

- Sensor de temperatura del colector de admisión (1)
- Bomba de combustible de alta presión, monoblock, y sensor de alta temperatura del combustible (2)
- Sensores de velocidad del eje de levas (3)
- Mando de Bomba (PTO) (4)
- Sensores de presión de aceite de bloque y temperatura (5)
- Filtros de aceite del motor y sensor de presión (6)
- Sensor de presión del cárter (7)
- Bomba de transferencia de combustible y sensor de presión (8)
- Filtros secundarios de combustible y sensores de presión (9)
- Compresor de aire acondicionado (10)

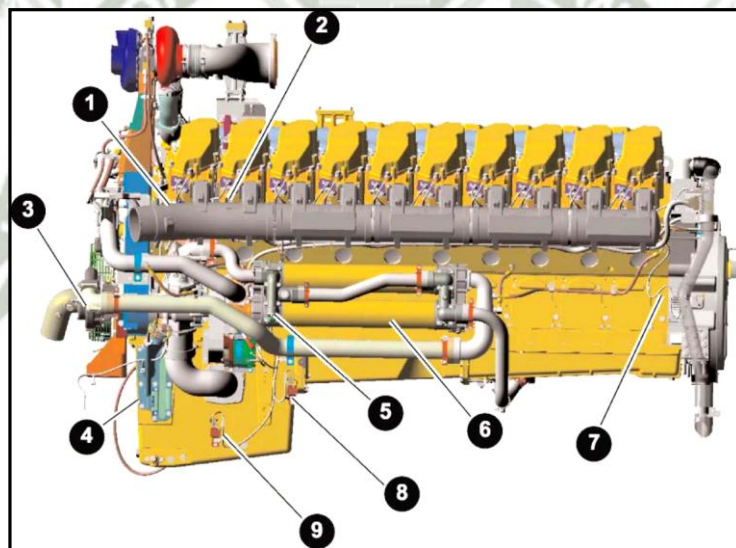


Figura N° 3: Motor Diésel Costado Izquierdo del Motor

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.32).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Componentes ubicados en el costado izquierdo del motor

- Sensor de presión del colector de admisión (boost) y temperatura (1)
- Sensor de presión del conducto del combustible de alta presión (2)
- Sensor de temperatura de la bomba de refrigerante (3)
- Indicador visual de nivel aceite del motor (4)

- Toma de muestra para motor SOS (5)
- Enfriadores de aceite de motor (6)
- Sensor de velocidad del cigüeñal (7)
- Switch de nivel máximo de aceite del motor (8)
- Switch de nivel bajo de aceite del motor (9)

Parte Delantera del Motor: Componentes ubicados en la parte delantera del motor C175-20

- Turbocompresores (1)
- Sensor de temperatura de refrigerante de salida del bloque (2)
- Sensor de presión del refrigerante de salida de bloque (3)
- ECM del Motor (4)
- Sensor de presión atmosférica (5)
- Bomba del refrigerante (6)

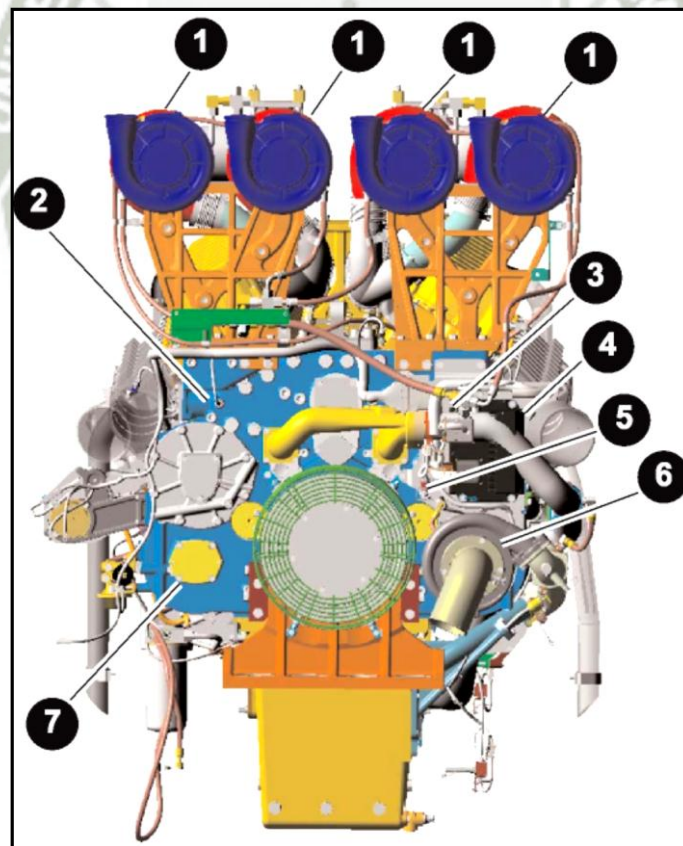


Figura N° 4: Delantera del Motor Diésel Cat

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.40).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

2.3.2. Clasificación de los sub-sistemas del motor

El camión 797F presenta los siguientes sub-sistemas para un correcto y eficiente funcionamiento:

1. Sub-sistema de monitoreo y gestión del motor
2. Sub-sistema de enfriamiento
3. Sub-sistema de admisión y escape.
4. Sub-sistema de combustible

2.3.2.1. Sub-sistema de monitoreo y gestión del motor C175³

El sistema de Gestión del Motor C175 utiliza componentes Electrónicos Integrados combinados con lo último de las estrategias de control ACERT™ con monitoreo mejorado, software, y diagnósticos para que dirija la operación del motor y es responsable por su rendimiento y funcionamiento.

Los siguientes componentes forman el sistema de gestión del motor C175:

- Módulo de Control Electrónico A4E4 Versión III (ECM)
- Módulo de Control de Temperatura para el Termostato Electrónico
- Controlador de Alta Presión (parte del ensamblaje de la Válvula de Control de Flujo)
- Enlace de Datos Integrados J1939 (Local y Global)
- Sensores de Entrada (temperatura, presión, y velocidad/sincronización, etc.).

El sistema de gestión del motor C175 de hecho emplea sistemas redundantes para proporcionar una ejecución segura de fallas en ambientes exigentes. Por ejemplo, el sistema de control de combustible de alta-presión emplea un funcionamiento continuo de respaldo del enlace de datos para el control de presión de inyección. Si la conexión primaria cae, el sistema de control no solamente controlará la presión de inyección de un modo perfecto sobre el Enlace de Datos, además anunciará la falla de la señal primaria al operador para que pueda tomar una acción correctiva.

³ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

ECM DEL MOTOR

El Modulo de Control Electrónico del Motor (ECM) (1) es el componente central en el Sistema de Gestión del Motor. El Modulo de Control Electrónico A4E4 (ECM) está ubicado en la parte superior delantera del motor. El ECM A4E4 está equipado con do conectores de 120 (J-2) y un pin conector de 70 (J-1).

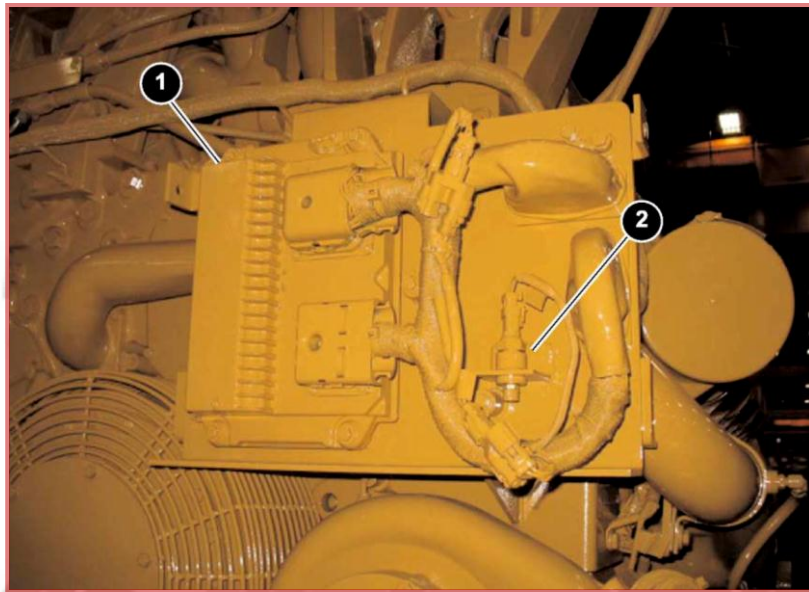


Figura N° 5: Módulo de Control Electrónico del Motor- ECM

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.20).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El ECM toma las decisiones basadas en los switch y señales de los sensores de entrada e información de memoria. Las señales de entrada al ECM vienen de la estación de control, y los sensores en el motor y sistemas de soporte en el motor.

El ECM del Motor calcula los datos enviados sobre el Enlace de Datos Can J1939. Los componentes del ECM de entrada son los sensores de velocidad/sincronización del cigüeñal y eje de levas, los sensores de presión, y los sensores de temperatura.

Los componentes del ECM de salida son los veinte inyectores electrónicos y la válvula de control de combustible de la bomba de alta presión.

El ECM del motor ha incorporado habilidades de diagnóstico. Cuando el ECM del motor detecta condiciones de falla en el sistema del tren de potencia, el ECM registra eventos

en memoria y códigos de diagnóstico para diagnósticos de falla y los visualiza a través del Técnico Electrónico Caterpillar (ET).

El control del motor utiliza una tecnología moderna de control moderno para mejorar la confiabilidad e incorporar futuros requerimientos. Los controles del motor C175 utilizan la última versión del ECM A4 para entregar 50 veces más capacidad de procesamiento comparado con el ECM A3. El abrumador avance del hardware monitorea sobre 30 puntos en el motor, maneja 20 Inyectores, protege al motor, comunica sobre 100 parámetros del motor, diagnostica y reporta problemas con el motor.

2.3.2.2. Sub-sistema de enfriamiento⁴

Se muestra el sistema de enfriamiento para el sistema de enfriamiento de la camisa en el C 175-20. El refrigerante es tomado desde el radiador por la bomba de enfriamiento y luego fluye a los dos enfriadores de aceite del motor. Desde los enfriadores el refrigerante es enviado a través del bloque. Después de dejar el bloque el refrigerante es enviado a través del enfriador de aceite de la transmisión y dirección/ventilador y luego a través de los enfriadores de aceite delantero y trasero de freno.

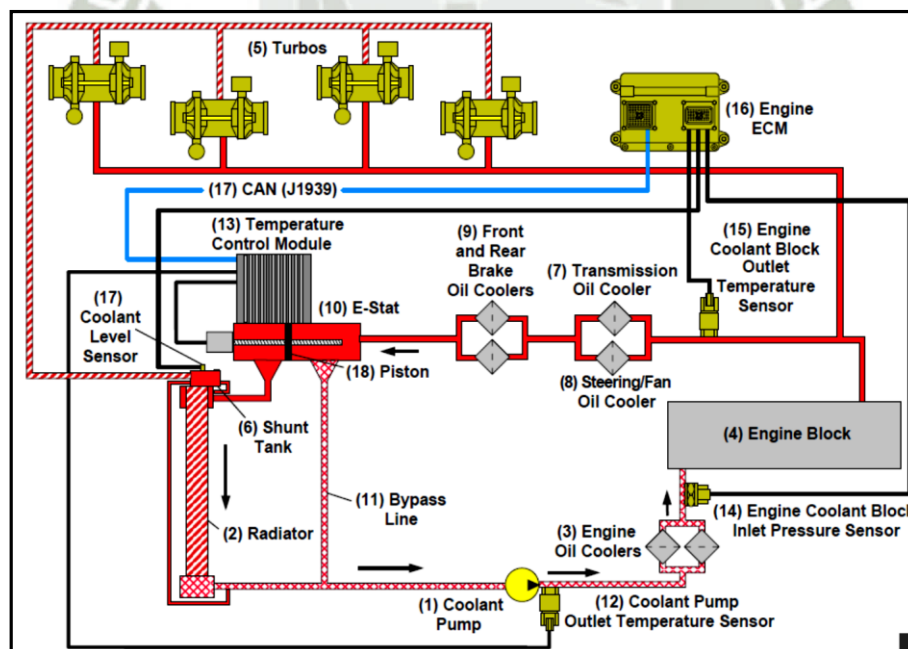


Figura N° 6: Sub-sistema de Enfriamiento del Motor

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.55). Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

⁴ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El refrigerante fluye a través del módulo de control de temperatura. Dependiendo de la temperatura del refrigerante es enviado al radiador o derivador a través de la línea de derivación y retorno en la entrada de la bomba del refrigerante.

El refrigerante es también usado para enfriar los turbos. El refrigerante es tomado directamente hacia los turbos. Desde los turbos, todo el refrigerante está fluyendo en una línea de retorno que está conectada al estanque de derivación del radiador.

El termostato electrónico (E-Stat) monitorea el flujo del refrigerante entre el tubo de derivación y el radiador con un pistón y un motor escalonado. El E-Stat está calibrado para regular la salida de la temperatura del refrigerante a 85° C (185° F) para los equipos de seguimiento de campo. La temperatura de salida de la bomba de agua en los camiones piloto debería ser aproximadamente de 78° C (172° F). El sensor de temperatura de salida del refrigerante de la bomba mide la temperatura del refrigerante que está fluyendo en los enfriadores e informa la temperatura al módulo de control de temperatura. Mientras que la temperatura del refrigerante se incrementa, el módulo de control de temperatura envía corriente al motor escalonado para mover el pistón, cerrando la derivación y permitiendo más flujo a través del radiador. Mientras que la temperatura del refrigerante disminuye, el módulo de control de temperatura envía una corriente al motor escalonado para mover el pistón, cerrando el flujo a través del radiador y permitiendo más refrigerante para fluir a través de la derivación.

Al encender el motor, la posición del motor escalonado/pistón necesita ser restaurado. El motor escalonado es ordenado a mover a su máxima carrera hasta un punto máximo para asegurar que la posición de reseteo ha sido alcanzada.

El motor escalonado mueve el pistón hasta el límite configurado, típicamente 100% hacia la posición de derivación. Cuando el motor alcanza su límite un sonido de cascabeleo es oído. El pistón ha alcanzado su límite.

El motor escalonado puede cascabelear tantas como 80 veces para alcanzar la posición por defecto.

Además, la temperatura de salida para la bomba del refrigerante será enviada a través del enlace de datos CAN (1939) al ECM del Motor. Desde el ECM del Motor, la temperatura

del refrigerante luego será enviada a través del Enlace de Datos Cat al ECM del Freno para ayudar a la estrategia del sistema del ventilador para la velocidad del ventilador requerida.

El sensor de temperatura de salida de la bomba del refrigerante es usado como una de las temperaturas objetivo claves para el circuito hidráulico del ventilador. Cuando el sensor de temperatura de salida de la bomba del refrigerante lee una temperatura por debajo de los 79° C (174° F) el sistema del ventilador hidráulico no estará afectado por la temperatura del refrigerante. Si la temperatura se incrementa sobre la temperatura objetivo, la velocidad del ventilador se incrementará por sobre los 325 rpm.

Si la temperatura del refrigerante se incrementa por sobre los 84° C (183° F) a 525 rpm para los camiones de aplicación de baja pendiente y 575 rpm para los de pendiente empinada.

La temperatura de salida de la bomba del refrigerante no es la única temperatura usada como temperatura objetivo clave por el sistema del ventilador hidráulico. La más alta de las dos temperaturas del colector de admisión, la temperatura de lubricación de la transmisión, la temperatura del aceite del convertidor de torque, y/o la temperatura del freno son usadas en la estrategia del sistema del ventilador.

2.3.2.3. Sub-sistema de admisión y escape⁵

Postenfriador aire-aire

El camión 797F está equipado con un motor C175 usando un Postenfriador Aire-Aire (ATAAC) en lugar del Postenfriador del Circuito separado (SCAC). El sistema ATAAC utiliza aire más que el refrigerante del motor para enfriar los postenfriadores. El motor C 175-20 está equipado con cuatro turbocompresores que están ubicados en la parte delantera del motor. Este esquema muestra como el aire fluye a través de la inducción de aire y el sistema de escape.

⁵ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

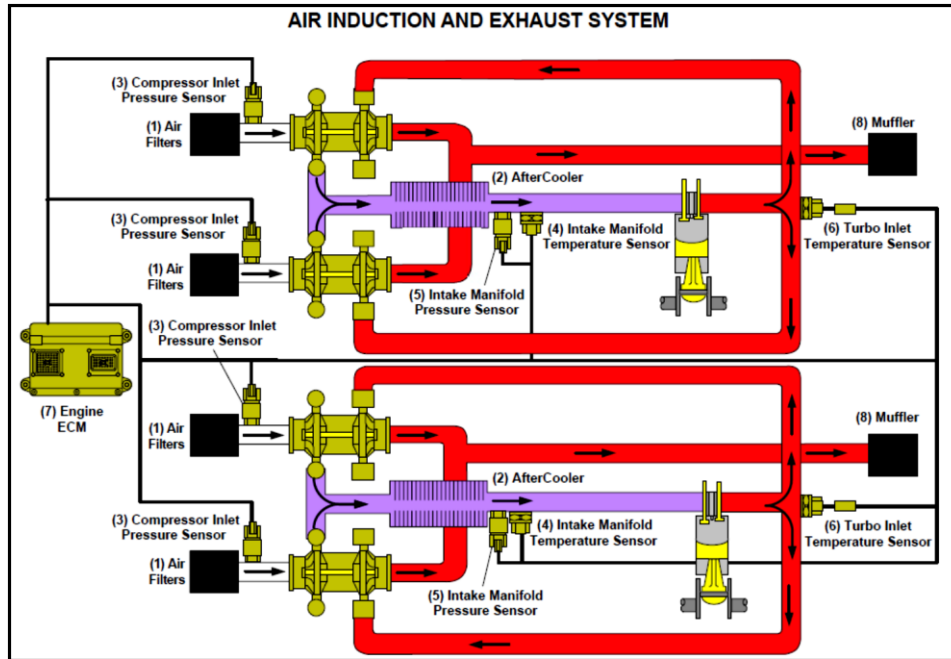


Figura N° 7: Sub-sistema de Admisión y Escape
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.60).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El aire limpio fluye a través de los filtros de aire e ingresa al lado del compresor de los turbos. El aire comprimido desde el lado del compresor de los turbos es dirigido al (ATAAC). Desde el ATAAC, el aire fluye dentro del colector de admisión a los cilindros individuales. El aire se fusiona con el combustible para combustión.

Los turbos son movidos por el gas de escape desde los cilindros los cuales ingresan al costado de la turbina de los turbos. Los gases de escape fluyen a través de los turbocompresores, la tubería de escape, y luego afuera a través de los silenciadores, Si la restricción del filtro de aire excede 6.25 kPa (25 in. De agua), un evento de restricción del filtro de aire será registrado, y el ECM reducirá la potencia de la entrega de combustible (reducción máxima del 21%) para prevenir temperaturas de escape excesivas.

Una contraseña de fábrica es requerida para eliminar este evento. Si el ECM del Motor detecta una falla del sensor de presión de entrada del turbocompresor, el ECM reducirá la potencia del motor a un máximo del 21%. Si el ECM del motor detecta una falla en los sensores de presión de entrada de turbo y de presión atmosférica al mismo tiempo, El ECMs disminuirá la potencia hasta un máximo de un 34%.

El Camión 797F tienen instalado con un Postenfriador Aire-Aire (ATAAC) reemplazando el Circuito Individual del Postenfriador (SCAC). El principal objetivo del sistema ATAAC es tomar aire fresco y limpio en el sistema, enfriar el aire, y luego enviarlo al colector de admisión. El aire luego es dirigido a la cámara de combustión para cada cilindro.

El aire es tomado a través de cuatro filtros de aire, a través de cuatro tubos, y luego al lado compresor de los cuatro turbos individuales. El aire limpio desde la sección del compresor de los turbos es dirigido a través de dos tubos hacia los dos ATAACs donde el aire es enfriado. Desde los ATAACs, el aire enfriado es dirigido a través de dos tubos en los colectores de admisión derecho e izquierdo.

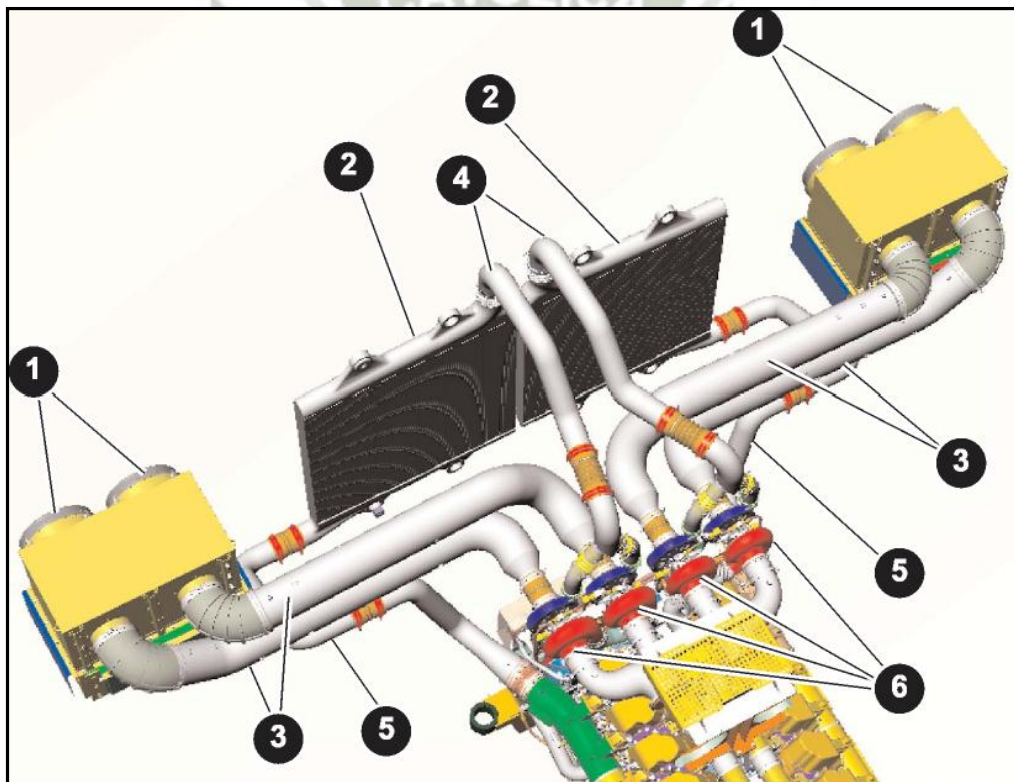


Figura N° 8: Postenfriador de Aire-Aire

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.69).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

2.3.2.4. Sub-sistema de combustible⁶

Esta ilustración muestra el flujo del combustible para el motor C 175-20.

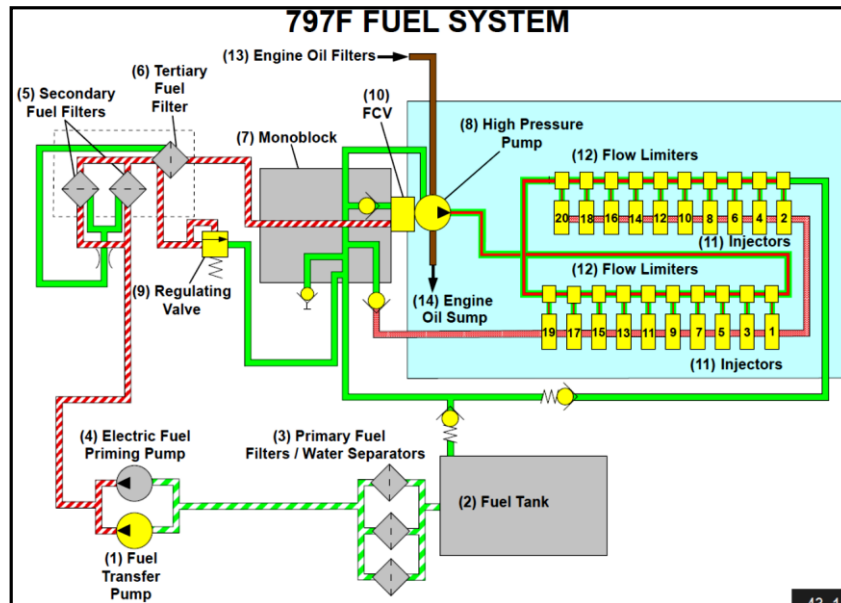


Figura N° 9: Sub-sistema de Combustible del Motor

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.78).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Para el sistema de combustible de presión baja, el combustible es tomado desde el tanque de combustible a través de los tres depuradores de filtro/agua primario por la bomba de transferencia de combustible (durante el arranque, la bomba de cebado es activada).

El combustible luego fluye hacia el bloque de la bomba de combustible de alta presión. Desde el bloque, el combustible fluye a los tres filtros de combustible secundarios, y regresa al bloque de la bomba de combustible de alta presión. El grupo de filtros de combustible secundario está equipado con una línea de purga de aire el cual está instalado en el acople de entrada en la salida del primer filtro. Esta línea está conectada al bloque y permite un mínimo de flujo de regreso de combustible hacia el estanque de combustible. El propósito de esta línea es purgar el aire desde el suministro de combustible de baja presión. Además, la base del filtro de combustible secundario está equipada con un sensor de presión de filtrado y no filtrado. Estos sensores son usados para determinar la restricción de los filtros de combustible secundarios.

⁶ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La presión del combustible de baja presión es regulada por la válvula reguladora de combustible. En aproximadamente 480 kPa (70 psi) la bola reguladora se mueve fuera de su asiento y permite al combustible de baja presión fluir a través de la línea de retorno al tanque de combustible.

Para el sistema de combustible de alta presión, el combustible fluye desde el bloque a la Válvula de Control de Combustible (FCV) donde el flujo de combustible es limitado para controlar la salida de la bomba de alta presión.

La bomba de alta presión genera el flujo de combustible al inyector en la culata No.1. El combustible fluye a través del common rail a la culata No. 19. El combustible fluye a través del tubo de cruce hacia la culata No. 20 y eventualmente a la culata No. 2. Desde los inyectores, el combustible sin uso fluye de regreso al bloque. Mientras que la presión de retorno tiene aproximadamente 34 kPa (5 Psi), la válvula check de retorno del inyector abre y el combustible fluye a través del bloque de regreso al estanque de combustible. Entre las culatas No. 4 y No. 2 hay un sensor de presión del common rail de alta presión. Este sensor informa de la presión del combustible al ECM del Motor. El combustible que puede filtrarse entre las paredes de la tubería de alta presión fluye de regreso a través de la pared exterior y regresa al estanque de combustible.

La bomba de combustible de alta presión esta lubricada por el aceite del motor desde la galería del motor. Desde la galería del motor el aceite fluye a través del fondo inferior de la bomba y retorna al cárter de aceite del motor.

Este motor está equipado con una bomba eléctrica de cebado de combustible. La bomba es iniciada por el ECM del Motor y/o el switch de la bomba de cebado de combustible. Cuando el sistema de combustible ha sido revisado, la bomba de cebado de combustible es usada para cebar el sistema de combustible. La bomba de cebado de combustible permite llevar a cabo su funcionamiento con el switch ubicado en el motor.

El motor está equipado con un sensor de presión de transferencia de combustible. Este sensor es usado para detectar la restricción en los filtros de combustible primario. El sistema de combustible del motor esta también equipado con un sensor de baja y alta temperatura de combustible. Los filtros de combustible primario están equipados con el

sensor de agua en combustible. Este sensor es una entrada para el ECM del Motor alarmando al operador de excesiva agua en el combustible.

2.4. SISTEMA DEL TREN DE FUERZA : ESQUEMA GENERAL⁷

- 1.- Transmisión Power Shift
- 2.- Bomba de carga de Transmisión y barrido de Convertidor
- 3.- Convertidor de Torque
- 4.- Filtro de Transmisión
- 5.- Válvula control de transmisión
- 6.- Bomba carga de Convertidor / Lubricación de Transmisión
- 7.- Filtro Convertidor de torque
- 8.- Cardan Principal
- 9.- Enfriador Tren de Potencia

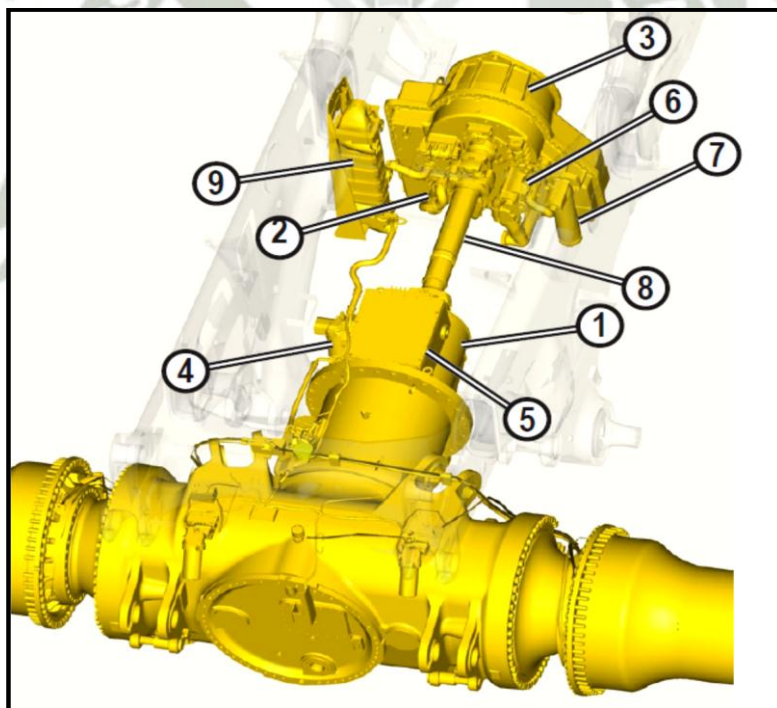


Figura N° 10: Esquema General del Sistema del Tren de Fuerza

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.20).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

⁷ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El tren de potencia del camión 797F está equipado con embragues de control electrónico (ECPC) de la transmisión (1), los cuales se controlan electrónicamente y se actúan de forma hidráulica.

La bomba de carga de transmisión y barrido de la transmisión (2) se encuentra ubicada en el costado izquierdo del convertidor de par (3), envía flujo de aceite a través del filtro de transmisión (4) hacia la válvula de control de la transmisión (5), también saca aceite desde el sumidero de la transmisión y lo envía al convertidor de torque. La bomba de carga de convertidor y barrido de la transmisión (6) está ubicada al costado derecho del convertidor de torque (3), envía aceite a través del filtro (7) hacia el convertidor de par, además envía flujo de aceite hacia la transmisión para lubricación.

El flujo de potencia desde el motor pasa a través del convertidor y por el cardan principal (8) hacia la transmisión.

La transmisión ECPC es del tipo planetarios, que contiene 7 embragues hidráulicos. La transmisión provee siete velocidades de avance y una velocidad de reversa. Desde la transmisión el flujo de energía se transfiere hacia el diferencial y los mandos finales.

El enfriador para el tren de potencia (9) está ubicado en el costado izquierdo del riel del bastidor.

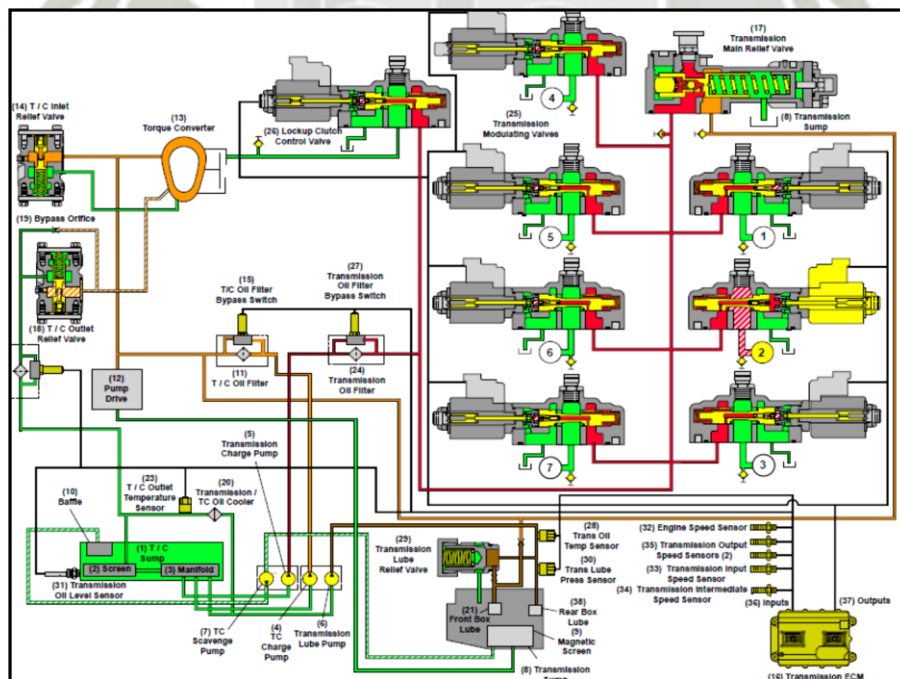


Figura N° 11: Esquema Hidráulico del Tren de Potencia

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.99).

Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Esquema Hidráulico Tren de Potencia

Esta ilustración nos enseña los componentes hidráulicos y componentes de control electrónicos del tren de potencia con la transmisión en NEUTRAL. Aceite se extrae desde el sumidero en el cuerpo del convertidor de torque (1) a través de la rejilla (2) y el colector (3), para la bomba de carga del convertidor (4), la bomba de carga de la transmisión (5) y la bomba de lubricación de la transmisión (6). La bomba de barrido del convertidor de par (7) saca aceite desde el sumidero de la transmisión (8) a través de la rejilla magnética (9) y envía el aceite a los deflectores en el sumidero del convertidor de par.

Bomba de carga del convertidor

La bomba de carga del convertidor envía flujo de aceite a través del filtro del convertidor (11) al mando de bombas (12), al convertidor de torque (13) y a la válvula de alivio de entrada del convertidor (14). En la base del filtro de aceite del convertidor está incluido un interruptor de derivación (15) quien envía señales al ECM de la transmisión (16) indicando si el filtro está taponado. El convertidor de torque recibe suministro de aceite adicional desde la válvula de alivio principal de la transmisión (17). La válvula de alivio de entrada del convertidor, limitara la presión de aceite al convertidor.

Válvula de alivio de salida del convertidor y orificio de derivación

El orificio de derivación permite que la válvula de alivio de salida mantenga una presión constante en el convertidor y reduce los pick de presión dentro del convertidor de torque.

Enfriador de transmisión y convertidor

Desde la válvula de alivio de salida del convertidor, los flujos combinados se aliviara a través de la rejilla, hacia el enfriador de convertidor y transmisión (20) y a la rejilla magnética (2) en el cárter del convertidor de torque. En el cuerpo de la rejilla del convertidor hay instalado un interruptor de derivación. Una vez enfriado el aceite fluye al cárter del convertidor y a la bomba de lubricación de transmisión.

Sensor de temperatura salida de convertidor

El suministro del convertidor de torque es monitoreado por el sensor de temperatura del convertidor de torque (23).

Bomba de carga de transmisión

La bomba de carga de la transmisión envía aceite a través del filtro de aceite de la transmisión (24), hacia las válvulas de modulación (25), a la válvula de alivio de la transmisión y a la válvula de control del embrague de traba (26). En la base del filtro de la transmisión está incluido un interruptor de derivación (27) quien envía información al ECM de transmisión sobre la condición del filtro.

Motor en marcha, Transmisión en Neutral

Con el motor en marcha el ECM de transmisión envía una señal a la válvula moduladora del embrague N° 2. El carrete de la válvula moduladora N° 2 dirige el flujo de aceite al embrague N° 2, en éste momento el embrague direccional no está energizado.

Sensor de temperatura aceite de transmisión

El sensor de temperatura de aceite de transmisión informa al ECM de transmisión sobre la temperatura del aceite de transmisión.

Válvula de alivio principal de la transmisión

La válvula de alivio principal de la transmisión limita la presión hacia las válvulas moduladoras y a la válvula de control del embrague de traba (lockup).

Válvula de alivio de lubricación de la transmisión

La bomba de lubricación de la transmisión envía flujo de aceite a los engranajes y rodamientos de la transmisión para su lubricación. La presión de lubricación está limitada por la válvula de alivio de lubricación de transmisión (29). Cerca de la válvula de alivio de la transmisión se encuentra ubicado el sensor de presión de lubricación (30) el que envía señales al ECM de la transmisión sobre la presión de la lubricación.

El sensor de nivel de aceite de transmisión (31), localizado en la carcasa del convertidor de torque, envía señales al ECM de transmisión para informar sobre el nivel de aceite de transmisión y convertidor.

2.4.1. Sub-sistema de control electrónico de la transmisión⁸

Se detalla a continuación un diagrama simplificado de todos los componentes de entrada y de salida del subsistema de control electrónico de la transmisión

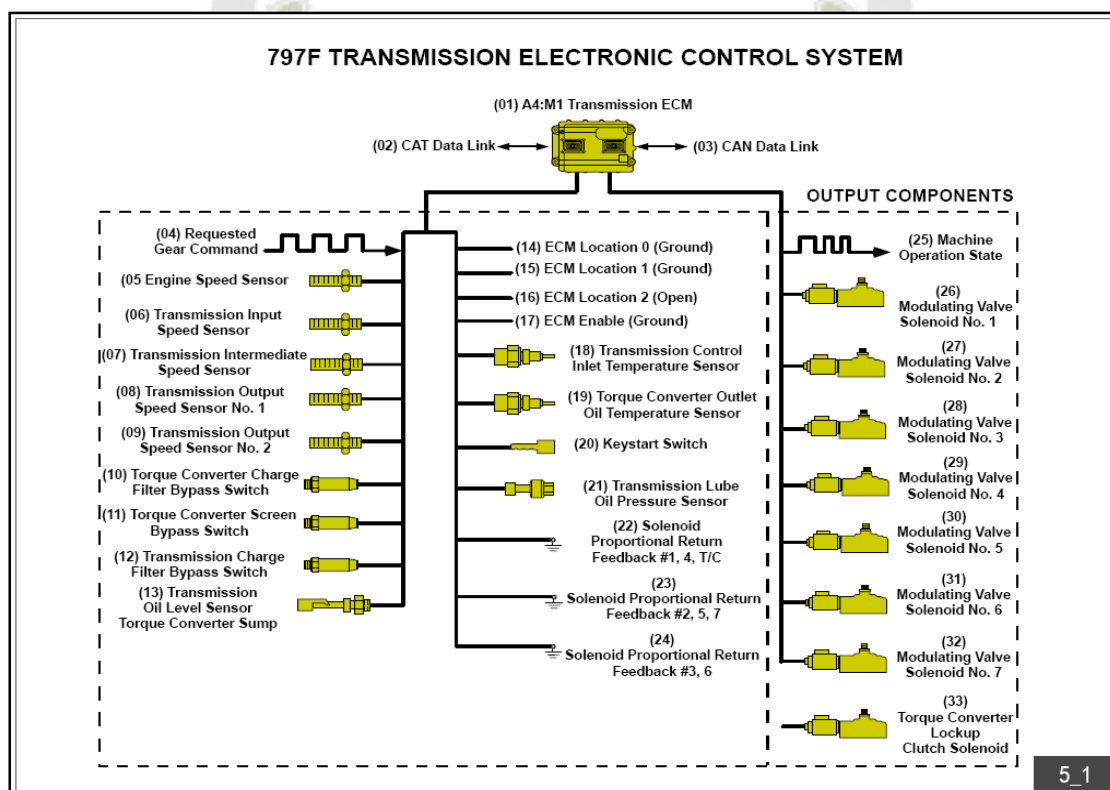


Figura N° 12: Componentes de Entrada y Salida en el Control Electrónico de la Transmisión.

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.100). Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La ilustración nos muestra los componentes de entrada y salida en el control electrónico de la transmisión.

⁸ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La transmisión ECPC es controlada electrónicamente y accionada hidráulicamente. El ECM de transmisión (1) recibe varias entradas de interruptores y sensores ubicados en la máquina y el motor. El ECM analiza todas las entradas para activar de forma correcta las válvulas moduladoras que controlan el flujo específico para los embragues. El ECM de la transmisión se encuentra ubicado detrás del panel frontal de la cabina y contiene dos conectores de 70 clavijas (pines).

Para habilitar el ECM de transmisión, los tres códigos de localización deben tener una correcta ubicación y ser conectados a tierra para correr. Cuando en el ECM están las clavijas J1-26, J1-27 y J1-32 conectados a tierra el sistema de monitoreo reconoce el ECM de la transmisión.

Entradas de retroalimentación proporcionales

Las entradas de retroalimentación proporcionales que van al ECM de la transmisión son utilizadas para advertir a los ECM sobre un problema de las bobinas o problemas con el arnés.

ECM de transmisión

Código de localización de entrada

Si uno de los solenoides de retroalimentación pierde su señal hacia el ECM de transmisión, el ECM recibe una señal de pulso ancho modulado (PWM), si el retorno de uno de las válvulas solenoides de las válvulas moduladoras está abierto el ECM no puede determinar. Con un retorno abierto de las válvulas solenoides la estrategia de cambios de la transmisión no permitirá que el ECM de transmisión enganche la marcha que está relacionada a la válvula solenoide que perdió la señal de retorno.

Sistema de control electrónico de la transmisión

Además de controlar los cambios de la transmisión y el embrague de traba del convertidor, el ECM de la transmisión controla otras funciones tales como, el control de cambios del acelerador (CTS), límite de marcha superior y cambios de dirección. Existen varios parámetros posibles de programar en el ECM de transmisión.

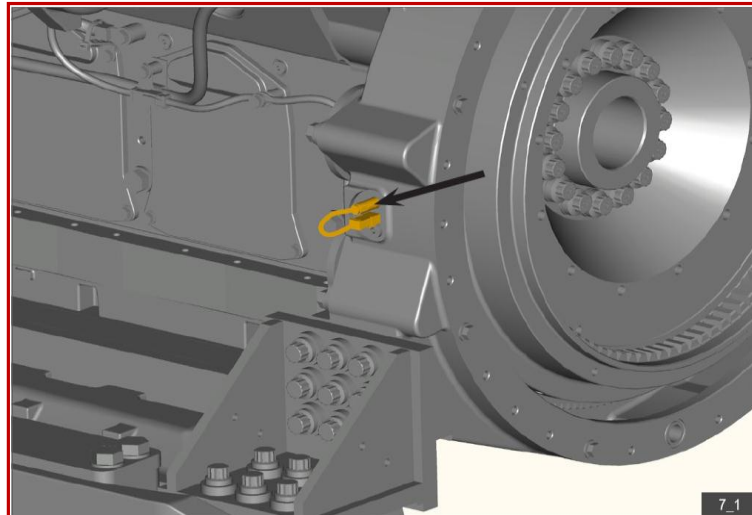


Figura N° 13: Sensor de Velocidad Motor

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.105).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Funciones controladas por el ECM de transmisión

En la ilustración se muestra el sensor de velocidad del motor, éste se encuentra ubicado en la parte trasera izquierda del motor. El sensor de velocidad de motor envía una señal de entrada al ECM de la transmisión sobre la velocidad del motor. El ECM de la transmisión utiliza los datos de velocidad de motor y velocidad de entrada de la transmisión para calcular el tiempo de resbalamiento del embrague de traba.

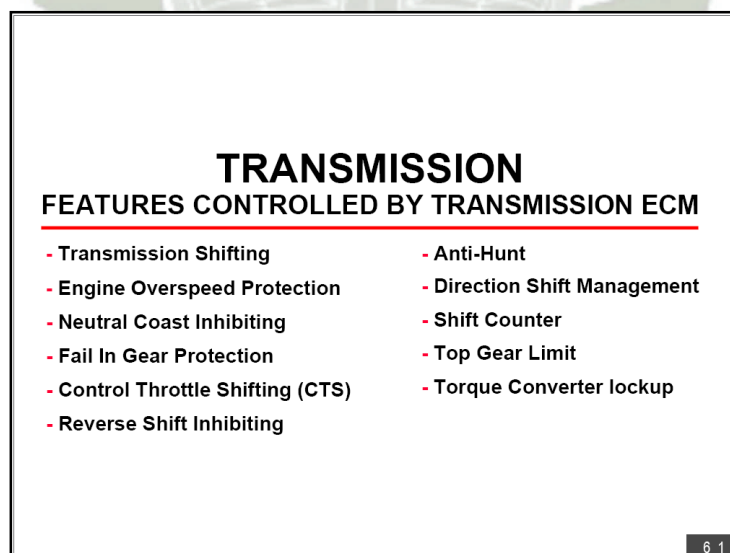


Figura N° 14: Modos de Protección de la Transmisión ECM

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.115).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.



Figura N° 15: Sensor de Velocidad de Entrada de Transmisión

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.120).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Sensor velocidad de motor (flecha)

Sensor de velocidad de entrada de transmisión (flecha)

El sensor de velocidad de entrada de la transmisión está localizado sobre la carcasa del convertidor de torque (flecha). El sensor de velocidad de entrada de la transmisión envía una señal al ECM de la transmisión indicando la velocidad de salida del convertidor de torque. El ECM de la transmisión utiliza la señal de velocidad de salida del convertidor para comprobar que la velocidad de salida de la transmisión es correcta en caso que uno de los sensores de velocidad de salida de la transmisión fallara. La señal de velocidad de entrada y salida de la transmisión también se utiliza para calcular el tiempo de resbalamiento de los embragues de la transmisión.

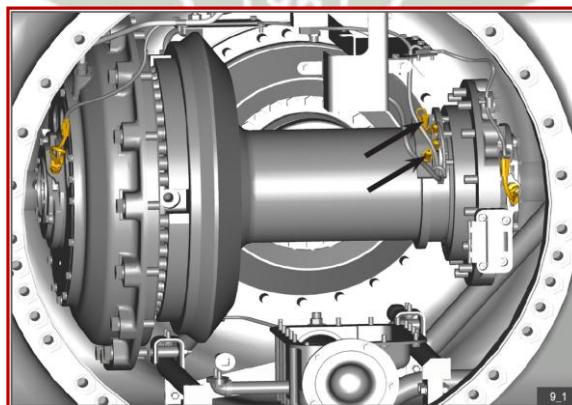


Figura N° 16: Cubierta del Diferencial Retirada

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p135).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La ilustración nos muestra la cubierta del diferencial retirada, lo que permite el acceso a los componentes del diferencial. Los sensores de velocidad de salida de la transmisión (TOS) se encuentran ubicados dentro del diferencial (flechas).

Los sensores TOS envían una señal al ECM de transmisión indicando la velocidad de salida de la transmisión, en base a estas señales de los sensores TOS el ECM de transmisión determina cuando es necesario realizar un cambio de marcha. Las señales de velocidad de entrada y salida de la transmisión como se mencionó anteriormente es utilizada por el ECM de la transmisión para calcular el tiempo de resbalamiento de la transmisión. Los sensores TOS están instalados de manera que la señal entre los sensores fuera de fase indicará si el vehículo se está desplazando hacia delante o en reversa.

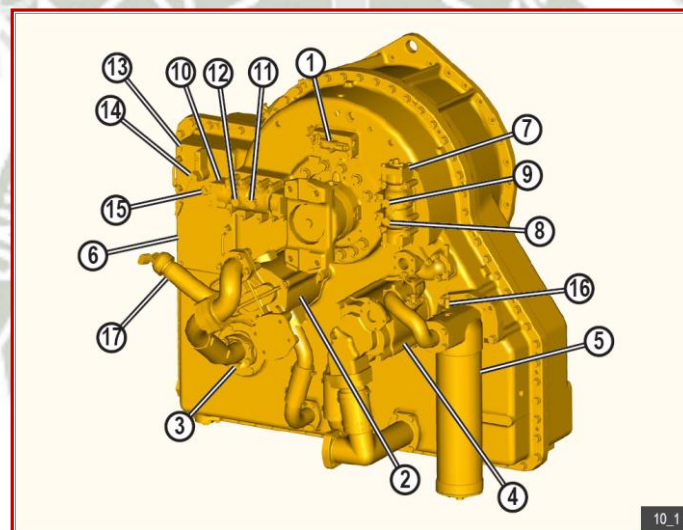


Figura N° 17: Componentes del Convertidor de Torque

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.140).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Componentes del convertidor de torque

- | | |
|--|---|
| 1. Solenoide del embrague de traba | 10. Válvula alivio de salida convertidor |
| 2. Bomba de carga de la transmisión y barrido del convertidor | 11. Puerto testeo alivio de salida |
| 3. Tapa difusor | 12. Puerto de testeo orificio de salida |
| 4. Bomba de carga del convertidor y lubricación de transmisión | 13. Tapa rejilla de salida |
| 5. Filtro de aceite de la transmisión | 14. Interruptor derivación para rejilla de salida del convertidor |
| 6. Tapa de la rejilla de succión | 15. Sensor de temperatura de salida del convertidor |
| 7. Válvula de alivio de entrada | 16. Interruptor de derivación del filtro de convertidor |

8. Puerto testeo presión alivio de entrada convertidor (P1)
9. Puerto testeo presión drenaje (P2)
17. Ducto de llenado del convertidor

El convertidor de torque proporciona un acoplamiento de fluido que permite que el motor pueda seguir funcionando con el camión detenido. En mando convertidor, el convertidor de torque incrementa el torque a la transmisión. A velocidades más altas el solenoide del embrague de traba proporciona mando directo

En neutral y reversa son de mando convertidor solamente, en primera velocidad es mando convertidor bajo los 8 Km./hrs. (5 mph) y estará en mando directo en velocidades sobre los 8 Km./hrs. (5 mph). Desde segunda a séptima velocidad serán de mando directo solamente. El convertidor de torque pasará a mando convertidor entre marchas (durante el enganche de los embragues) para proporcionar cambios de marchas suaves (modulados).

La carcasa del convertidor de par es el cárter para el suministro de aceite al convertidor y a la transmisión.

La bomba de carga de la transmisión y barrido del convertidor (2) está montada en el costado izquierdo del convertidor de torque. La bomba de carga de la transmisión extrae aceite desde el colector en la carcasa del convertidor y envía flujo de aceite a la válvula de control de la transmisión.

La bomba de barrido de transmisión envía aceite desde el cárter de la transmisión a través de un deflector (difusor de aceite) ubicado detrás de la tapa del deflector (3) en el convertidor de par.

La bomba de carga del convertidor y lubricación de la transmisión está localizada en el costado derecho del convertidor de torque, La bomba de carga del convertidor extrae aceite desde el colector en el convertidor y envía flujo de aceite a través del filtro del convertidor (5).

La bomba de lubricación de la transmisión toma aceite desde el colector en la carcasa del convertidor y fluye hacia los engranajes y rodamientos de la transmisión para su lubricación.

El interruptor de derivación del filtro del convertidor (16) provee de una señal al ECM de la transmisión sobre la restricción del filtro.

Uno de los extremos del colector de aceite es suministrado con una línea de aceite de transmisión y con una línea de retorno del enfriador de aceite del convertidor. El otro extremo del colector es alimentado con aceite a través de las rejillas magnéticas y la rejilla de succión que se encuentra detrás de la tapa (6) en la carcasa del convertidor.

Flujo de aceite desde el filtro de carga del convertidor de torque ingresa a la válvula de alivio de entrada del convertidor (7). La válvula de alivio de entrada limita la presión máxima de suministro de aceite para el convertidor. El exceso de aceite se vierte nuevamente al colector.

Normalmente la presión de alivio de entrada será mayor que la presión de alivio de salida. El caudal de aceite fluye más allá de la válvula de alivio de entrada e ingresa al convertidor. La presión de alivio de entrada (P1) es posible de medir en la válvula de alivio de entrada en el puerto de testeo (8). La presión de drenaje es posible de medir en el puerto de testeo (9) no es normalmente ocupada.

La válvula de alivio de salida mantiene una presión mínima dentro del convertidor, para mantenerlo lleno de aceite y evitar la cavitación.

La presión de alivio de salida puede ser medida en el puerto de testeo (11)

La presión de salida de refrigeración del orificio puede ser medida en el puerto de testeo (12), normalmente no se utiliza. El aceite de la válvula de salida del convertidor y flujo del orificio de salida de refrigeración irán a través de la rejilla situada detrás de la tapa (13) en el convertidor de torque. El interruptor de derivación de la rejilla de salida del convertidor de torque (14) envía información al ECM de transmisión sobre la restricción de la rejilla. El ECM de transmisión utiliza la señal del sensor de temperatura de salida del convertidor para determinar la temperatura de salida del convertidor.

El ECM de transmisión utiliza la señal del interruptor de derivación del filtro de carga del convertidor para determinar su restricción. El ducto (tubo) de llenado (17) se encuentra

ubicado en la parte trasera del convertidor de torque. Las mirillas de nivel para el aceite del convertidor de torque se encuentran ubicadas en el costado izquierdo del convertidor.

El interruptor de nivel de aceite (2) envía una señal al ECM de transmisión, informando el nivel de aceite en el cárter del convertidor de torque. El interruptor de nivel con aceite caliente (3) y el interruptor de nivel con aceite frío, también se encuentran ubicados en el costado izquierdo del convertidor de torque. Estos interruptores de nivel de aceite frío y caliente proporcionan una señal de información en el panel de llenado rápido.

Sensores de velocidad de salida de la transmisión (flechas)

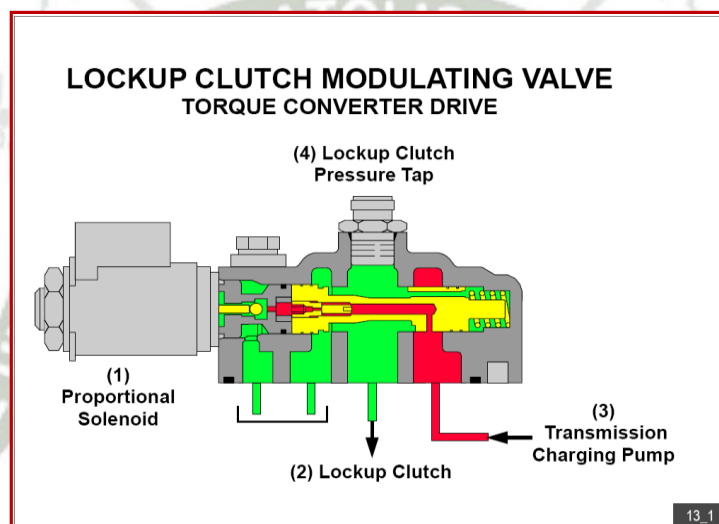


Figura N° 18: Cierre de la Válvula Moduladora de Embrague del Convertidor de Torque. **Fuente:** Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.157). Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

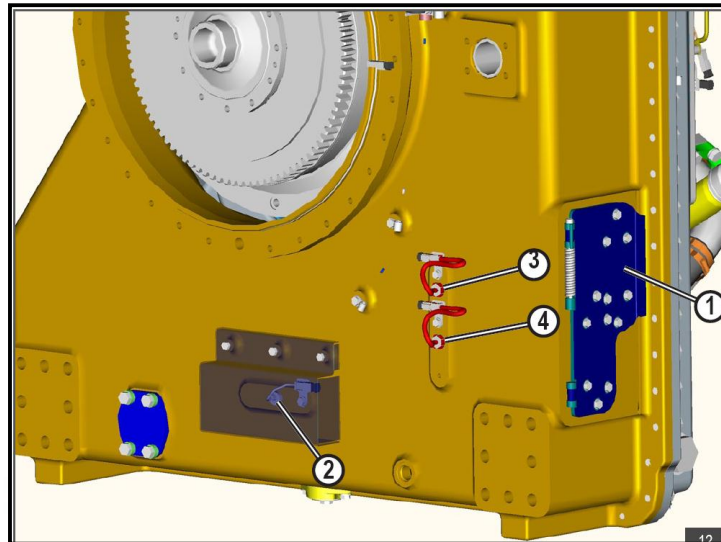


Figura N° 19: Sensores de Nivel de Aceite del Convertidor

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.182).

Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La válvula moduladora para el embrague de traba del convertidor posee un solenoide proporcional (1) recibe una señal desde el ECM de transmisión para aplicar y desaplicar el embrague de traba. En la ilustración no existe corriente en el solenoide de la válvula moduladora del embrague de traba (mando convertidor en neutral). El ECM de transmisión controla el flujo a través de la válvula moduladora, necesario para la aplicación del embrague de traba (2) cambiando la cantidad de corriente al solenoide. Si no existe ninguna señal de corriente aplicada al solenoide, la válvula moduladora bloquea el flujo de aceite al embrague de traba.

El aceite desde la bomba de carga de la transmisión fluye alrededor del cuerpo del carrete (spool) de la válvula e ingresará en el pasaje (orificio) por el interior del carrete, el aceite irá más allá del orificio calibrado llenando la cámara al costado izquierdo del carrete, como en éste ejemplo no existe ninguna señal de corriente aplicada al solenoide el resorte (muelle) ubicado a la derecha del carrete mantiene la válvula a la izquierda, bloqueando el pasaje de alimentación del embrague de traba. La bola en éste momento no está bloqueando el orificio hacia el drenaje, por lo que el aceite puede fluir de regreso al tanque.

Válvula moduladora de embrague de traba (mando convertidor)

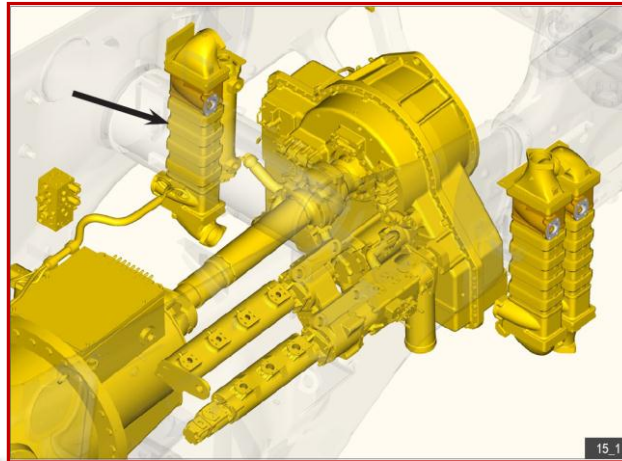


Figura N° 20: Enfriador de Aceite de Transmisión y Convertidor de Torque

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.210).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Cáster de la transmisión | 5. Cubierta de válvulas solenoides moduladoras. |
| 2. Cubierta de rejillas magnéticas. | 6. Puerto entrada de lubricación |
| 3. Puerto de entrada | 7. Válvula diferencial |
| 4. Filtro de transmisión | 8. Manguera |

Enfriador de aceite de convertidor y transmisión (flecha)

Aceite desde la rejilla de salida del convertidor de torque fluye a través del enfriador de transmisión y convertidor para llegar nuevamente al cárter del convertidor de torque

La bomba de barrido del convertidor saca aceite desde el cárter (1) a través de las rejillas magnéticas ubicadas bajo la cubierta (2) las rejillas magnéticas siempre deben ser revisadas si se sospecha de un problema con la transmisión.

El aceite desde la bomba de carga de la transmisión ingresa por el puerto (3) en el filtro de la transmisión (4) el aceite fluye más allá del filtro hacia la válvulas moduladoras para los embragues de la transmisión, localizadas bajo la cubierta (5) cuando las válvulas solenoides moduladoras están energizadas, aceite fluye hacia los embragues de la transmisión

Un interruptor de derivación (no mostrado) sobre la parte superior del filtro de transmisión informa al ECM de transmisión sobre la restricción del filtro.

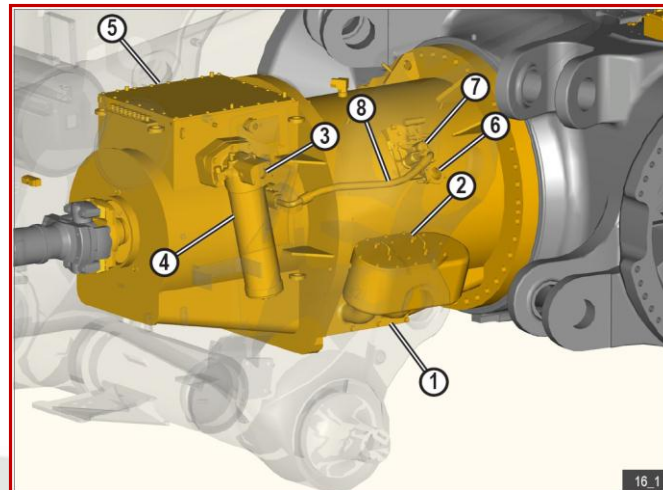


Figura N° 21: Partes de la Transmisión

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.211).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El aceite desde la bomba de lubricación de la transmisión fluye a través del puerto de entrada (6) hacia el colector y válvula diferencial de lubricación de la transmisión (7). El aceite fluye a través de la válvula hacia el módulo de lubricación trasero y por la manguera (8) al módulo de lubricación delantero. El aceite de lubricación se usa para refrigerar y enfriar los engranajes, los rodamientos y los módulos de los embragues de la transmisión.

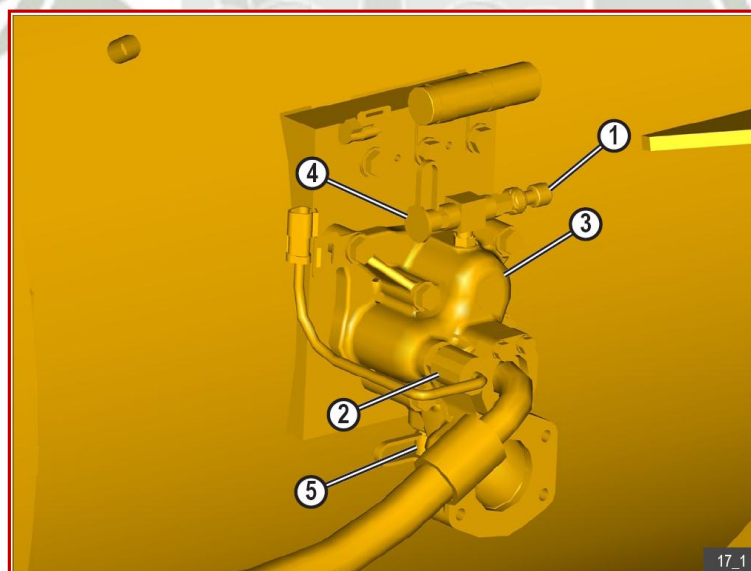


Figura N° 22: Conjunto de Lubricación de la Transmisión

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.222).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Colector de lubricación

1. Sensor de presión de suministro de lubricación
2. Sensor de temperatura de transmisión
3. Colector de válvula de lubricación
4. Puerto de testeo de lubricación
5. Puerto de testeo lubricación embragues 6 y 7.

El sensor de presión de suministro de lubricación (1) y el sensor de temperatura de la transmisión (2) están localizados en el colector de la válvula de lubricación (3), estos sensores aportan señales de entrada al ECM de la transmisión.

La válvula de alivio de lubricación de la transmisión (no mostrada) está ubicada en el colector de la válvula de lubricación.

La presión de lubricación puede ser medida en el puerto de testeo (4) por sobre el colector de lubricación.

La presión de lubricación para los embragues 6 y 7 puede ser medida en el puerto de testeo (5) ubicado bajo el colector de lubricación, normalmente la presión de lubricación será menor que el ajuste de la válvula de alivio de lubricación.

Componentes de la válvula de control de la transmisión.

1. Puerto de entrada
2. Puerto de salida
3. Válvula solenoide embrague N° 4
4. Válvula solenoide embrague N° 5
5. Válvula solenoide embrague N° 6

La ilustración nos muestra la válvula de control de la transmisión. En el camión 797F el solenoide y la válvula traba (latching) ha sido removido.

El ECM de la transmisión controla la velocidad deseada a través de su software.

Si el ECM de la transmisión detecta un problema con el hardware de la válvula de control, el ECM de transmisión cambiará la marcha disponible dirigiendo la corriente a las solenoides de las válvulas de modulación apropiadas, la válvulas moduladoras dirigirán el aceite a los embragues de la transmisión para mantener la velocidad y dirección deseada.

El flujo de aceite de la bomba de carga de la transmisión ingresará a la válvula de control de la transmisión a través del puerto (1), flujo de aceite de la válvula de alivio principal irá a través del puerto (2) hacia la entrada de convertidor.

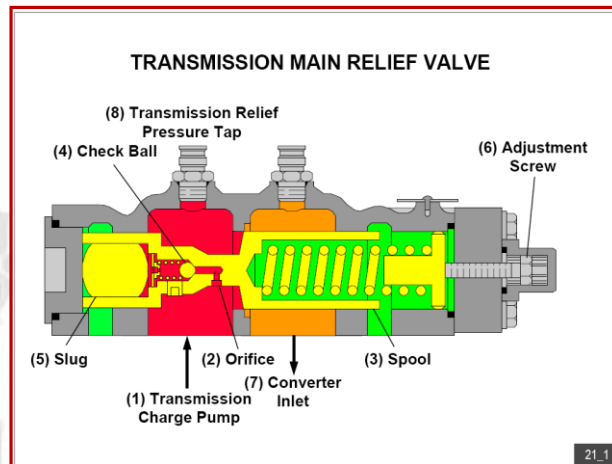


Figura N° 23: Válvula Moduladora de la Transmisión
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.232)
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

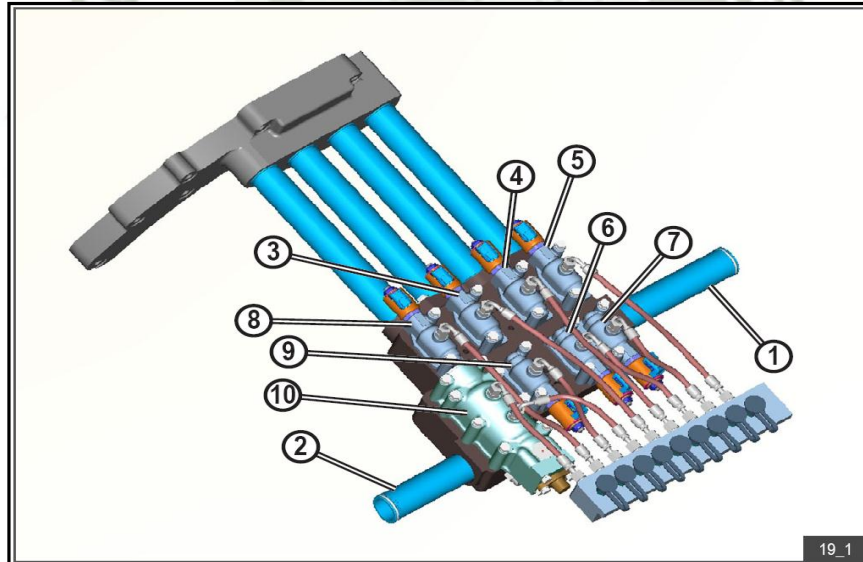


Figura N° 24: Conjunto de Válvulas modificadoras de Transmisión
(Control de Válvulas). **Fuente:** Caterpillar Inc. (2014).
Camión Volquete 797(p.240).Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Válvula de alivio principal de la transmisión

Se muestra una vista seccional de la válvula de alivio principal de la transmisión.

El suministro de la bomba de carga de la transmisión ingresa a la válvula de alivio principal de la transmisión a través del orificio (2) dentro del carrete (3) más allá de la válvula anti retorno (4) llenando la cámara del émbolo (slug) (5) la válvula de retención modula el movimiento del carrete y reduce las variaciones de presión.

La presión de aceite mueve el émbolo hacia la izquierda, como el émbolo ya no se puede desplazar más a la izquierda, en este momento el carrete comenzará a moverse a la derecha en contra de la fuerza del resorte. El émbolo reduce el área efectiva y debido a ésta reducción es posible utilizar resortes más pequeños y sensibles. La presión de alivio será igual al taraje del resorte situado en el costado derecho tras el carrete, esta presión se puede ajustar con el tornillo de ajuste (6).

2.5. SISTEMA DE DIRECCIÓN⁹

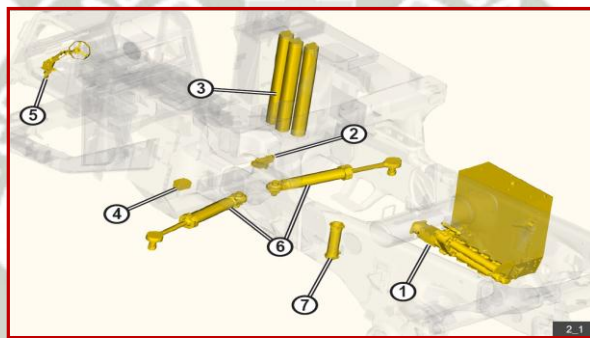


Figura N° 25: Sistema de Dirección

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.252).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Actuadores Hidráulicos del Sistema de Dirección

Dirección Secundaria

Componentes del sistema principal de Dirección

El siguiente módulo explica el funcionamiento del sistema de Dirección. Así como en otros camiones fuera de carretera de Caterpillar, el sistema de dirección usa la fuerza hidráulica para cambiar la dirección de las ruedas delanteras. El sistema no tiene conexión mecánica alguna entre el volante y los cilindros de dirección. Si el flujo de aceite se

⁹ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

interrumpe mientras el equipo aún permanece en movimiento, el sistema incorpora un sistema de dirección secundaria, la cual se realiza por medio de los acumuladores quienes suministran flujo de aceite para mantener la dirección. La ilustración nos muestra los principales componentes que conforman el sistema de la Dirección del camión 797 F.

1. Bomba de la Dirección
2. Manifold de Válvula de alivio y Solenoide de la Dirección.
3. Acumuladores de la Dirección
4. Válvula de control de la Dirección
5. HMU (Hand Metering Unit)
6. Cilindros de Dirección
7. Enfriador de aceite de Dirección y Fan.

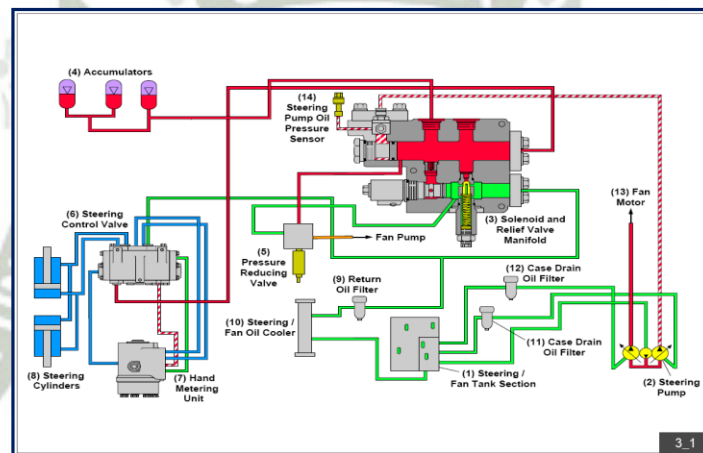


Figura N° 26: Esquema del Sistema de Dirección
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.255).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El esquema presentado corresponde al sistema de dirección del camión 797F, que es un sistema de centro cerrado que puede operar con máxima presión y mínimo flujo cuando los requerimientos de caudal se cumplan. El sistema de dirección no es un sistema sensor de carga. El aceite para la dirección y fan es suministrado desde la sección 1 del tanque hidráulico.

El aceite que suministra la bomba de dirección (2) fluye al Manifold de la válvula de alivio y solenoide de la dirección (3), a los acumuladores (4) y a la válvula reductora de presión (5), la válvula reductora de presión (5) reduce la presión en los acumuladores a una presión de señal reducida que se utiliza en los controles de la bomba del Fan y el

control de la bomba de refrigeración de frenos con la finalidad de enviar estas bombas a caudal mínimo en arranques en temperaturas frías.

La bomba de dirección (2) producirá el flujo a alta presión hasta que los acumuladores (4) estén llenos con aceite y la presión interna alcance la presión de CUT-OUT, cuando se alcance ésta presión la bomba de dirección estará en baja presión o STAND-BY. La bomba de dirección al estar operando en baja presión suministra flujo al sistema para lubricación y fugas normales en el sistema, debido a la purga térmica en la HMU la presión en los acumuladores comienza a caer gradualmente hasta la presión de CUT-IN cuando se alcanza la bomba estará en su máximo caudal.

NOTA: Cabe destacar que en la actualidad los acumuladores de la dirección son cuatro y son del tipo pistón

Sistema de Dirección 797F (No Giro)

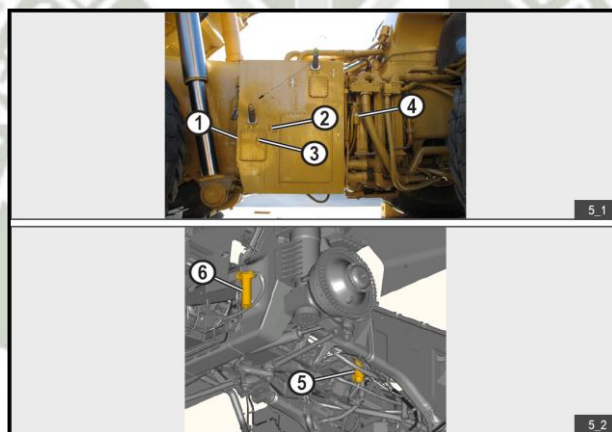


Figura N° 27: Tanque Hidráulico de Dirección
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.275).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El tanque Hidráulico está situado al costado derecho del equipo. El tanque

Es parte del tanque hidráulico de tres secciones, las tres secciones son:

1. Sección de Dirección y Fan
2. Levante y refrigeración de frenos
3. Actuación de Frenos.

Esta sección suministra aceite para los sistemas de Dirección y fan (Ventilador) (1).

Cuando el motor se encuentra detenido y el aceite se encuentre frío, se deberá observar el nivel de aceite entre las marcas FULL y ADD de la mirilla superior (2).

Si el motor se encuentra en marcha se deberá observar el nivel de aceite en la mirilla inferior (3), debido a que los acumuladores se deben llenar.

Si el motor se encuentra en marcha y el nivel de aceite no es correcto revise la carga de los acumuladores. Una baja carga de acumuladores provocará un exceso de aceite dentro de los acumuladores lo que puede provocar deficiencia en la Dirección secundaria.

Las bombas y motores de pistones poseen un drenaje de caja, parte del aceite se escapa para lubricar todas las partes móviles internas de estos componentes y retornan al tanque a través de un filtro de drenaje de caja (4).

El excedente de aceite de la Dirección y Fan retornará al tanque a través del enfriador (5) y del filtro de retorno.

Tanque Hidráulico, Lado Derecho

Sección de Dirección y fan

Mirilla Superior

Mirilla inferior

Baja carga del acumulador

Drenaje de caja

Enfriador de aceite Dirección y fan

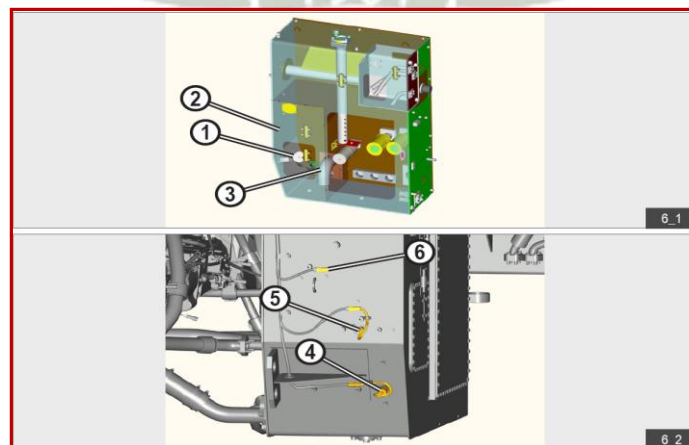


Figura N° 28: Tanque Hidráulico, Vista en Corte

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.277).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Screen

1. Sección del tanque para dirección y ventilador
2. Succión de Bomba de dirección
3. Switch nivel de aceite dirección
4. Sensor temperatura dirección
5. Switch de nivel de dirección para el panel de llenado rápido
6. Válvula de corte alto (CUT-OFF)
7. Tornillo de tope Angulo mínimo
8. Tornillo de tope de Angulo máximo

La ilustración anterior nos muestra el interior del tanque hidráulico, aceite de Dirección y del Fan, Aceite para la Dirección y para el circuito del Fan son enviados a Través de la rejilla (1). Desde la sección (2) del tanque de aceite Hidráulico.

La succión de la Bomba del sistema de dirección y ventilador (3) se encuentra por la parte posterior del tanque hidráulico en la sección correspondiente a Dirección y Fan.

El switch de nivel de aceite de dirección (4), El sensor de temperatura de aceite de la dirección (5) y el switch de nivel de aceite de dirección para el panel del llenado rápido se encuentra en la parte trasera del tanque en la sección de dirección y Fan.

El switch de nivel de aceite de dirección (4) informa al ECM de Chasis si el nivel se encuentra bajo.

El sensor de temperatura (5) informa al ECM de Chasis la condición de temperatura del aceite de Dirección y Fan.

El switch de nivel para el panel de llenado rápido (6) iluminará el indicador en el panel si el aceite de Dirección y Fan está bajo.

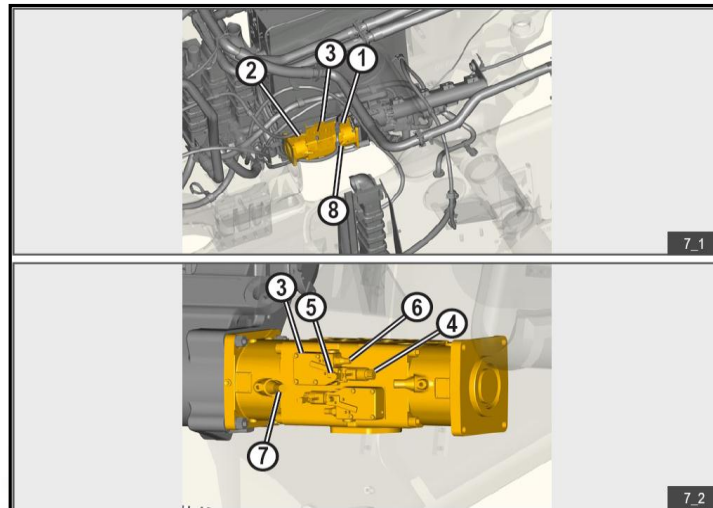


Figura N° 29: Bomba de Ventilador y Dirección

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.282).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La bomba de Dirección (1) forma parte del conjunto de dos bombas de pistones de caudal variable en la que también se incluye la bomba del Fan (2). El conjunto de bombas está montado en el mando de bombas (PTO). El mando de bombas y las bombas de Dirección y Fan se encuentran ubicadas en el lado interior del chasis en el costado derecho del equipo. Una bomba de carga se encuentra ubicada en la parte central del conjunto de bombas de Dirección y Fan, para mantener cargadas ambas bombas las cuales son de pistones y caudal variable.

La bomba de Dirección solo opera cuando el motor se encuentra en marcha y proporciona el caudal necesario para la operación del sistema a través de la carga dentro de los acumuladores de la Dirección. El componente encargado de controlar la salida de la bomba es la Válvula compensadora de presión y flujo (3). El ECM de chasis es quien controla el flujo de la bomba de Dirección mediante una señal de corriente enviada al solenoide (4) en la Válvula compensadora de presión y flujo (3). El tornillo (5) es quien controla la cantidad de corriente mínima requerida para iniciar la descarga de la bomba de Dirección, la Válvula de corte de alta presión (6) controla la máxima presión del sistema de Dirección en caso que el Sensor de presión de Acumuladores falla. El tornillo de tope de ángulo mínimo (7) se encuentra ubicado cerca de la Válvula compensadora de

presión y flujo. El tornillo de tope de ángulo máximo se encuentra en el costado opuesto de la bomba de Dirección.

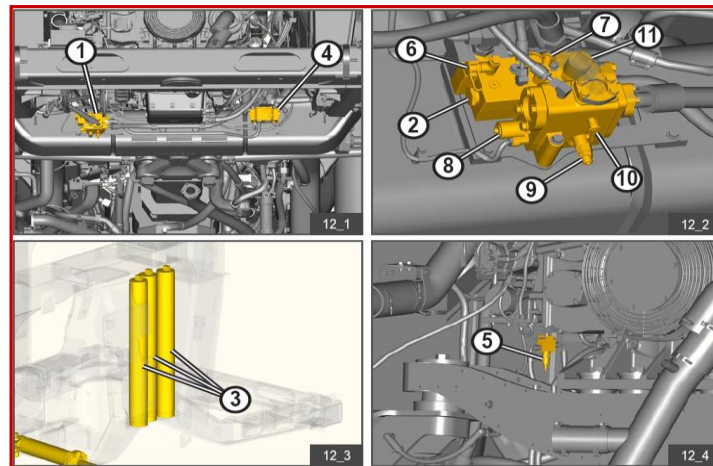


Figura N° 30: Componentes del Sistema de Dirección

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.289).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El suministro de aceite desde la bomba de dirección ingresa al Manifold de Válvula de Alivio y Solenoide de la Dirección y a través de la válvula de retención (2) hacia los Acumuladores de la Dirección (3), la Válvula de Control de la Dirección (4) y la Válvula reductora de presión (5).

La Válvula de Retención (2) evita que el flujo de los Acumuladores retorne a la bomba de Dirección cuando ésta se encuentra en STAND-BY. La presión de suministro de la bomba puede ser medida en el toma de presión (6), la presión de los acumuladores puede ser medido en la toma de presión (7). El solenoide de purga (8) descargará los Acumuladores de la Dirección cuando el equipo no se encuentre en funcionamiento. La Válvula de alivio de respaldo (9) protege el sistema de los pick de presión cuando la bomba no puede ir a STAND-BY lo suficientemente rápido o en caso que la Válvula de corte alto (CUT-OFF) no se abre o estuviera atascada cerrada. Las muestras rápidas (S.O.S) se pueden obtener en el punto (10). Para utilizar el sistema de Dirección con un Camión en mal estado podremos utilizar una unidad de potencia auxiliar (APU), la que se conectará en el Manifold de la Válvula de Alivio y Solenoide de la Dirección, en el punto (11).

La APU será capaz de suministrar el aceite necesario para cargar los Acumuladores de la Dirección.

La Válvula reductora de presión (5) reduce la presión de los acumuladores para enviar una señal de presión reducida hacia las bombas de Fan y Refrigeración de Frenos para mantenerlas en caudal mínimo (STAND-BY) durante el arranque a temperaturas frías.

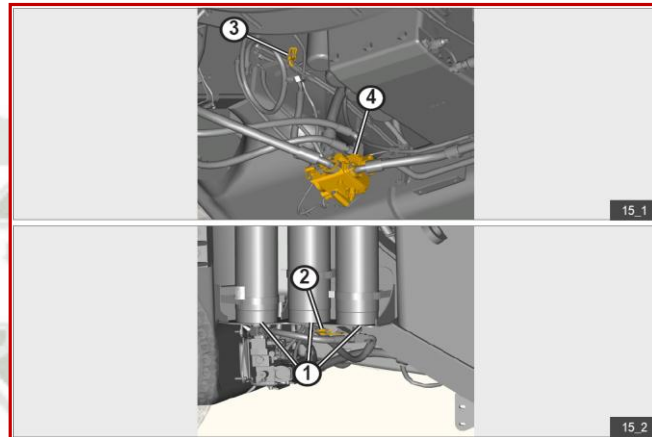


Figura N° 31: Válvula de Alivio y Solenoide de la Dirección

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.299).

Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

1. Manifold de Válvula de Alivio y Solenoide de la Dirección
2. Válvula de Retención
3. Acumuladores
4. Válvula de control de la Dirección
5. Válvula reductora
6. Punto teste suministro bomba
7. Punto teste o presión de Acumuladores
8. Solenoide de Purga Acumuladores
9. Válvula alivio de Respaldo
10. Toma muestra S.O.S.
11. Conector Dirección Suplementaria

Hay tres Acumuladores (1) para el sistema de dirección los que suministran el aceite al sistema en operación normal del equipo y de la misma manera suministran aceite al

sistema con la dirección secundaria temporal, es decir en caso que el Camión tenga una avería y no pueda operar el motor.

Dentro de cada Acumulador existen un blade de caucho los cuales son cargados con Nitrógeno, ésta carga de nitrógeno es quien suministra la energía para abastecer con aceite el sistema en operación normal o dirección secundaria, y de la misma manera suministra energía si el flujo de la bomba se detiene y el equipo aún está en funcionamiento

Para comprobar la operación de la Dirección Secundaria se debe detener el motor con el interruptor de la parada a nivel de piso y dejar la llave de contacto en la posición ON, de ésta manera el solenoide de descarga no se energiza, por lo tanto los Acumuladores no descargarán al tanque y podrá tener Dirección.

El Sensor de presión de los Acumuladores de Dirección (2) se encuentra ubicado debajo de los Acumuladores de la Dirección, es el componente encargado de censar la presión dentro de los Acumuladores, además envía una señal hacia el ECM de Chasis sobre la presión de los Acumuladores de la Dirección. El Sensor para la presión de la bomba de dirección (3) se encuentra ubicado sobre la Válvula de Alivio Y solenoide de la Dirección (4) éste sensor envía la señal al ECM de Chasis sobre la presión de la bomba de Dirección.

Acumuladores de la Dirección

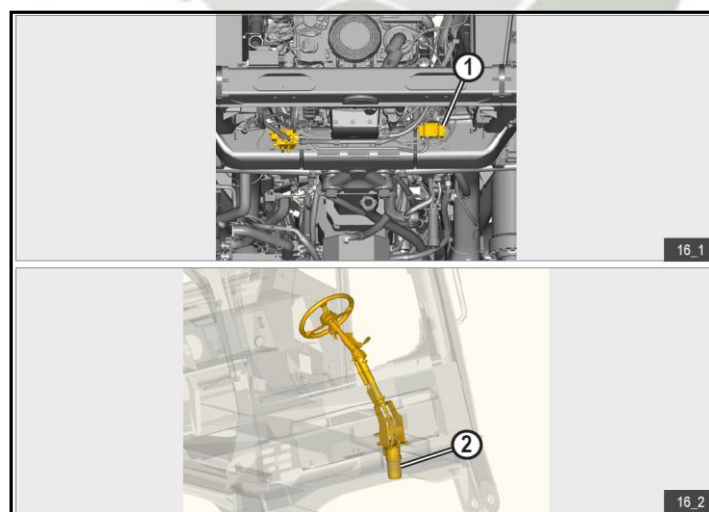


Figura N° 32: Válvula de Control de la Dirección
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.301).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La Válvula de Control de la Dirección (1) opera piloteada desde el HMU (2) ubicada en la base de la columna de la Dirección, la Válvula de Control de la Dirección está ubicada en la parte frontal delantera izquierda del travesaño delantero.

Hay cinco líneas piloto que conectan estos dos componentes, las líneas piloto se utilizan para cambiar la posición de los spool dentro de la Válvula de Control de la Dirección.

Cuatro líneas se utilizan para: suministro de bomba, retorno a tanque, giro a la derecha y giro a la izquierda, la quinta línea piloto es utilizada para la censored de carga (Load Sensing).

La cantidad de aceite que se dirige hacia la Válvula de Control de la Dirección dependerá de la velocidad con que se gire el volante, cuanto más rápido sea girado el volante, mayor será el flujo de aceite dirigido desde el HMU hacia la Válvula de Control de la Dirección y a los Cilindros de la Dirección.

1. Válvula de Control de la Dirección
2. HMU (hand meeting unit)

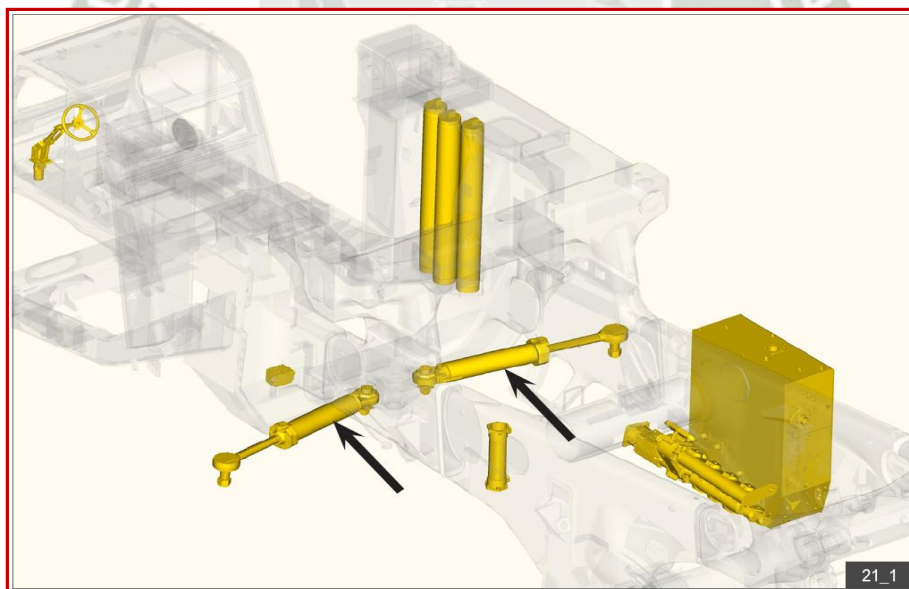


Figura N° 33: Cilindros de Dirección

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.315).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Los cilindros de dirección (flechas) están unidos a la estructura y la barra de dirección. Los cilindros de dirección reciben aceite desde la válvula de control de la dirección para girar las ruedas.

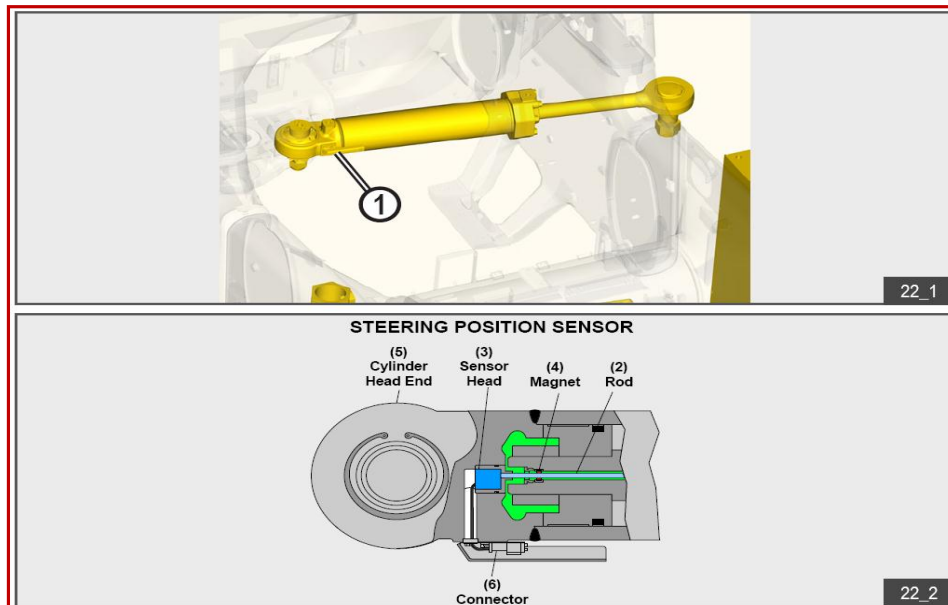


Figura N° 34: Sensores Internos del Cilindro de Dirección Derecho

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.322).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El cilindro de dirección derecho del 797F está equipado con un sensor de posición. Este sensor envía una señal de ancho pulso modulado (PWM) al ECM de freno indicando la posición del pistón del cilindro dentro de la botella.

El sensor utiliza un magneto y un eje, una vara está extendida dentro de la longitud de la botella y forman una guía de ondas. En tiempo cero, un pulso actual es transmitido por el cable por los componentes electrónicos en el sensor. En el punto donde el pulso alcanza el campo magnético del imán, un pulso es generado y enviado de regreso al sensor. Los componentes electrónicos internos convierten desde el tiempo cero al tiempo que retorna el pulso para alcanzar el sensor con una señal PWM electrónica. El ancho del pulso es directamente proporcional a la posición del imán. El sensor de frecuencia está en 500 Hz.

2.6. SISTEMA DE FRENO¹⁰

¹⁰ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Se detalla a continuación los componentes más importantes del sistema de dirección del camión 797F

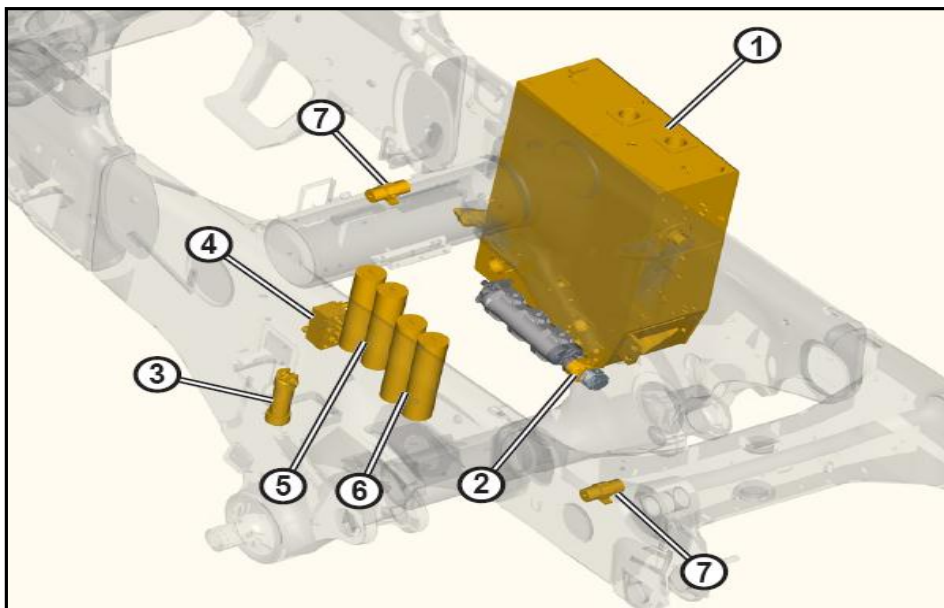


Figura N° 35: Componentes del Sistema de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.355).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Los principales componentes del sistema de actuación de freno son:

- Tanque hidráulico (1)
- Bomba de freno (2)
- Filtro de aceite de freno (3)
- Válvula de control de Freno / Chasis (4)
- Acumuladores de freno de estacionamiento (5)
- Acumuladores de freno de servicio (6)
- Ajustadores slack (7)

La válvula de control de freno de servicio (no mostrada) está localizada debajo de la cabina del operador.

2.6.1. Sistema de actuación de freno¹¹

El aceite de suministro de la bomba (1) fluye desde la bomba de actuación de freno a través de los filtros de aceite de actuación de frenos (2) a la válvula de freno / chasis (3). El aceite también fluye a través de la válvula check de la válvula de freno / chasis a la válvula de freno de servicio (4). La válvula de freno de servicio direcciona el aceite por detrás de la válvula de freno / chasis cuando el pedal está desahogado. La válvula de freno / chasis controla el flujo de aceite a los frenos de servicio (5), frenos de estacionamiento (6) y válvula de levante (7). Los ajustadores slack (8) compensan el desgaste del disco de los frenos al permitir que un pequeño volumen de aceite fluya por el ajustador y permanezca entre el ajustador y el pistón de los frenos a baja presión. La válvula TCS (9) controla el patinamiento de las ruedas controlando el aceite de los frenos de estacionamiento de las ruedas traseras.

La bomba de remolque (10) suministra aceite para liberar los frenos de estacionamiento para que el camión pueda ser remolcado. La bomba de remolque también proporciona aceite piloto a la válvula de levante si la bomba de freno falla o el motor no funciona.

Bomba de remolque

¹¹ Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

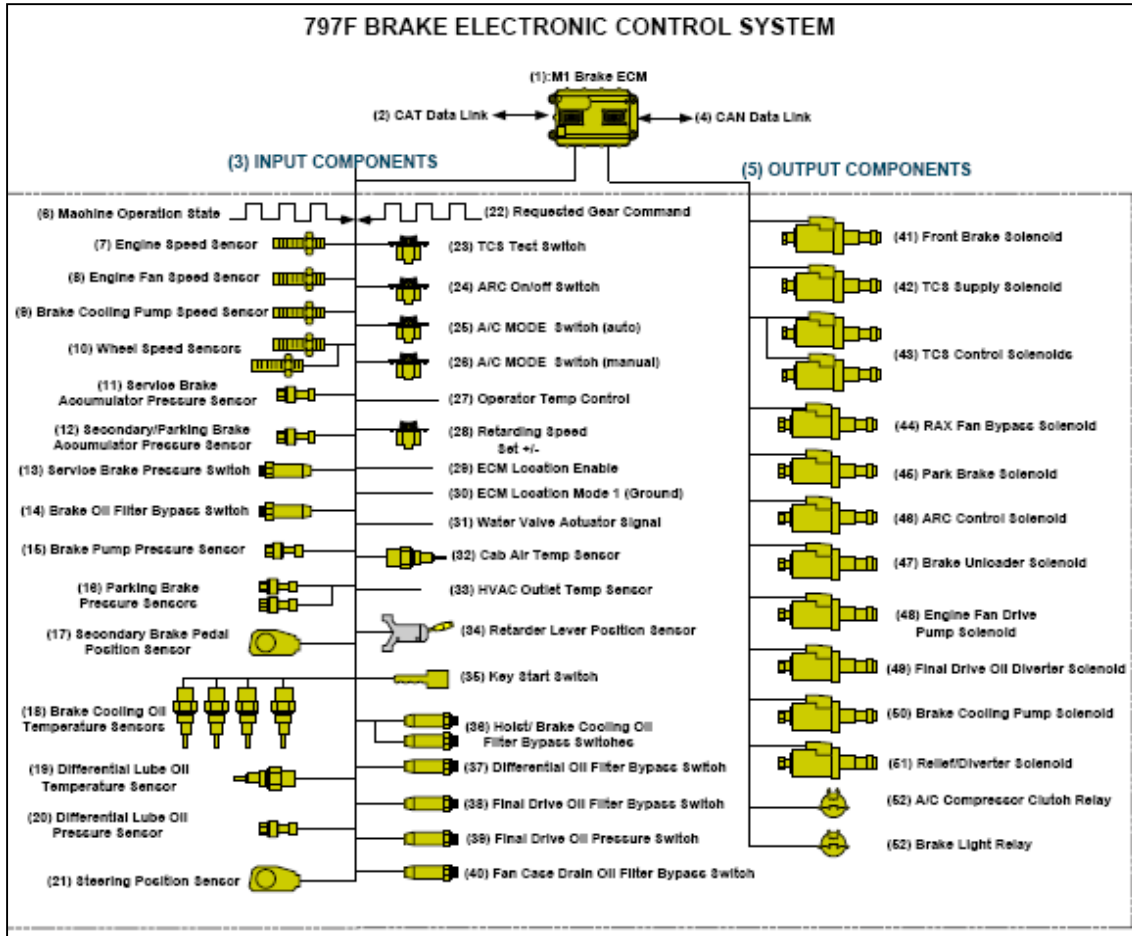


Figura N° 36: Sistema de Freno Accionamiento
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.365).
 Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

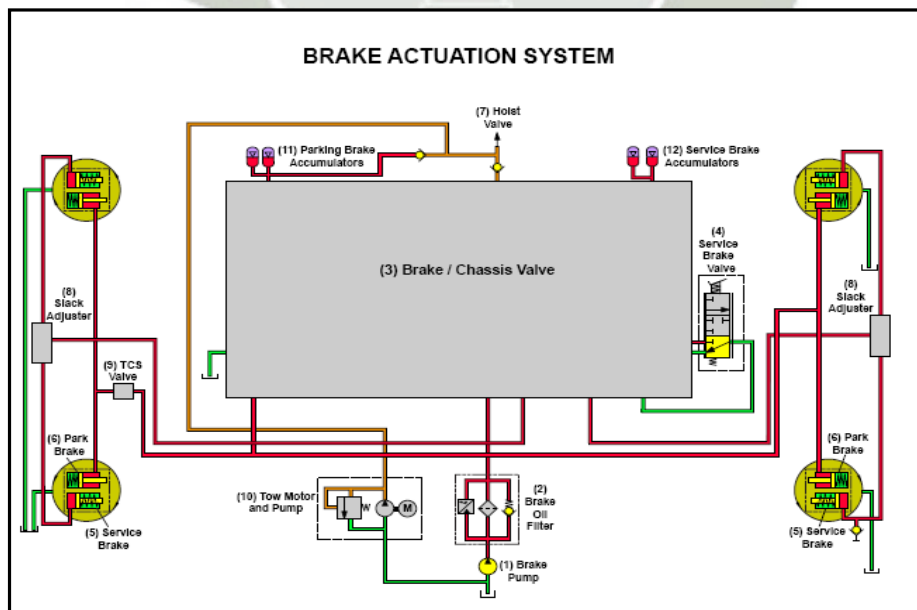


Figura N° 37: Configuración Electrónica del ECM de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.365).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

2.6.2. Componentes de entrada y salida del sistema de control electrónico de freno

La ilustración muestra los componentes de entradas y salidas del sistema de control de Freno. El ECM de Freno controla lo siguiente:

- Sistema de freno
- Sistema de lubricación RAX
- Motor de enfriamiento del Fan
- Embrague del compresor del A/C
- Luces de freno

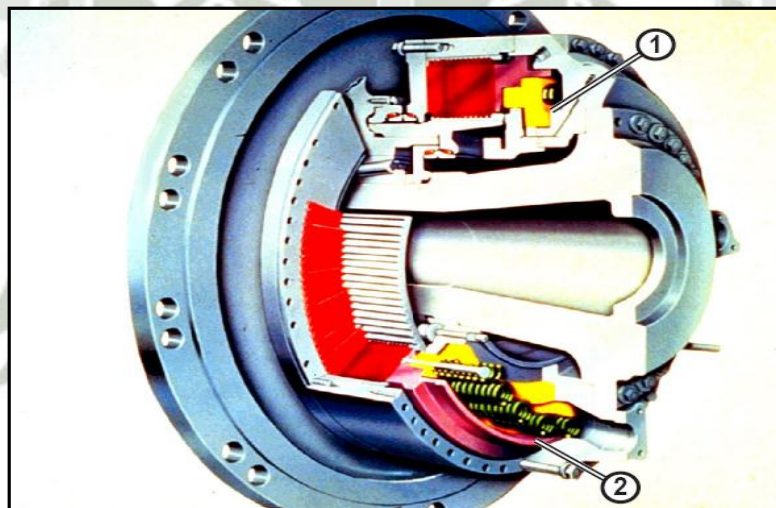


Figura N° 38: Vista en Corte de los Paquetes de Frenos en las Ruedas Delanteras

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.375).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Conjunto de freno enfriado por aceite

La ilustración en corte muestra un ensamble de freno refrigerado por aceite. Los frenos son ambientalmente sellados y libres de ajuste. El aceite continuamente fluye a través de los discos de frenos para refrigeración. Sellos Duo-Cone previenen que aceite de refrigeración fugue al exterior o sea transferido dentro de la carcasa del eje. El ajuste de los cojinetes de rueda debe ser mantenido para conservar los sellos Duo-Cone sin fugas.

Un pistón más pequeño (1) es usado para APLICAR el freno secundario y de estacionamiento. El freno de estacionamiento es APLICADO por resorte y LIBERADO hidráulicamente.

El pistón mayor es usado para APLICAR el freno de servicio. El pistón mayor también es usado para el retardador. El freno de servicio es aplicado hidráulicamente

La activación de los frenos de servicio y estacionamiento en la nueva serie “F” es controlado por la nueva válvula freno / chasis (no mostrada). La producción serie “D” los frenos de servicio son aplicados hidráulicamente por aire sobre aceite al sistema de frenado.

Los frenos de servicio en el camión con el retardador adicional tienen tres discos y platos más. El retardador estándar en los frenos frontales es equipado con 10 discos en los frontales y 15 discos en los traseros. El retardador adicional tiene 13 discos en los frontales y con 15 discos en los traseros estándar.

Componentes del sistema de actuación de freno

El tanque hidráulico está localizado al lado derecho del camión. El tanque hidráulico consta de tres secciones. Las tres secciones del tanque son:

- Actuación de Freno
- Levante y Refrigeración de Freno
- Dirección y Fan

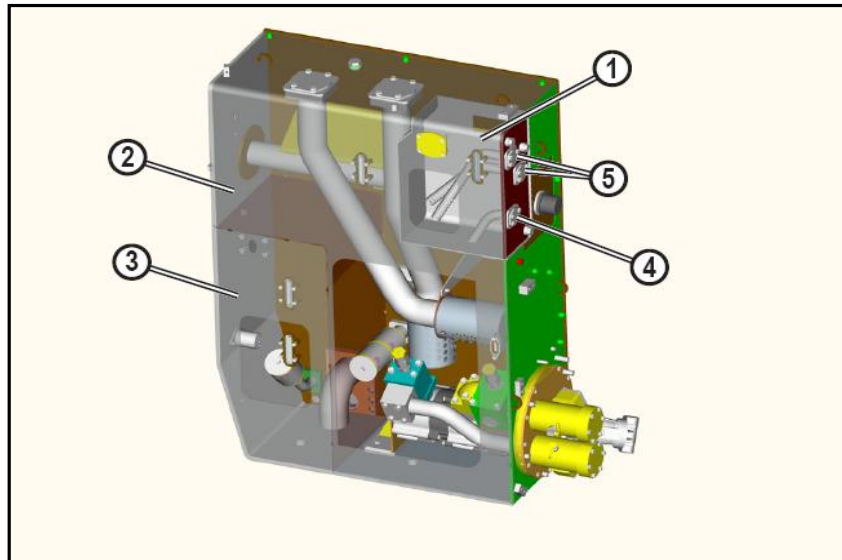


Figura N° 39: Vista en Corte del Tanque Hidráulico

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.382).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El nivel de aceite del sistema de actuación de freno es chequeado en la mirilla (1) en el lado derecho superior del tanque. Remover la tapa de llenado (2) de actuación de freno para llenar la sección de actuación de freno y la sección de levante / refrigeración de freno.

Interior del tanque hidráulico

1. Sección actuación de freno
2. Sección de levante y refrigeración de freno
3. Sección de dirección y fan
4. Puerto de succión de actuación de freno
5. Puertos de retorno

Esta ilustración muestra el interior de las tres secciones del tanque hidráulico. La sección de actuación de freno (1) contiene el aceite para el sistema de actuación de freno. La sección de levante y refrigeración de freno (2) contiene aceite para el sistema de levante y refrigeración de freno. La sección de dirección y fan (3) contiene aceite para el sistema de dirección y el sistema del motor del fan.

Para el llenado del tanque en la sección de levante y refrigeración de freno, agregue aceite a través del tubo de llenado de la sección de actuación de freno. El aceite fluirá a través

de la sección de actuación de freno y llenara de aceite la sección del tanque de levante y refrigeración de freno.

Para llenar la sección del tanque de dirección y fan, agregar aceite a través del tubo de llenado.

La bomba de actuación de freno saca aceite del tanque a través del puerto de succión (4). El retorno de aceite al tanque de la válvula freno / chasis y desde el filtro de levante y refrigeración de freno es por los puertos de retorno (5).

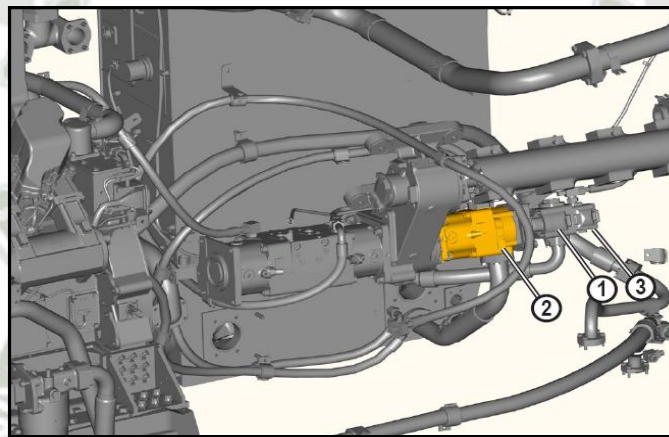


Figura N° 40: Bomba de Enfriamiento de Frenos
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.397).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Dentro del bastidor lado derecho

1. Bomba actuación de freno
2. Bomba de mando de refrigeración de freno
3. Bomba de mando de lubricación del eje trasero

La bomba de actuación de freno (1) es montada en la bomba de refrigeración de freno (2). La bomba de actuación de freno es una bomba de desplazamiento fija que proporciona aceite para operar los frenos de servicio y los frenos de estacionamiento / secundario.

La bomba de mando de lubricación del eje trasero (3) es montada en la bomba de actuación de freno.

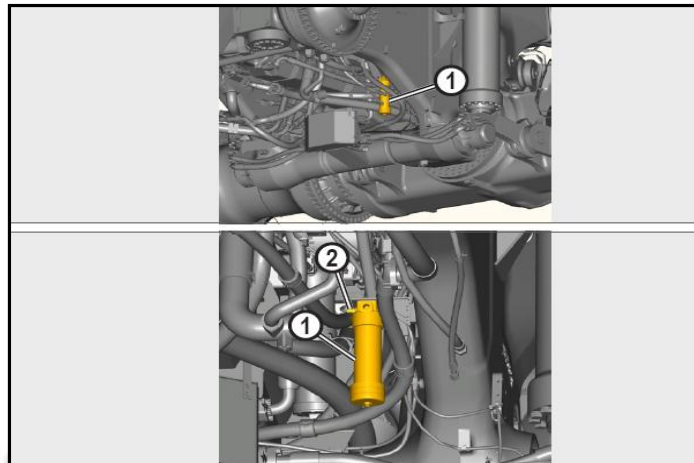


Figura N° 41: Filtro de Accionamiento de Frenos
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.400).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

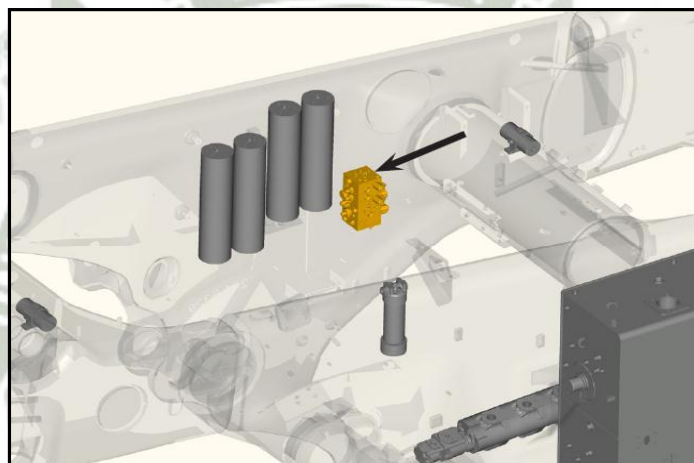


Figura N° 42: Válvula de Frenos
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.410).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Dentro del bastidor lado izquierdo

1. Filtro de actuación de freno
2. Interruptor de derivación del filtro de aceite

El filtro de aceite de freno (1) está localizado en el lado izquierdo dentro del bastidor.

El aceite de la bomba de freno fluye a través del filtro de freno al sistema de actuación de freno. El filtro de aceite de freno está equipado con una válvula de derivación y un

interruptor de derivación (2) en la base del filtro. El interruptor de derivación envía una señal al ECM de Freno si hay restricción en el filtro.

El camión 797-F está equipado con un sola válvula freno / chasis(flecha) múltiple localizada debajo de la caja del camión en el lado izquierdo. La válvula de cabina de freno ha sido eliminada. La válvula de freno / chasis es un block con orificios estratégicamente perforados para direccionar el flujo de aceite desde la bomba de actuación de freno a los frenos de servicio y frenos de estacionamiento.

Otras funciones de la válvula de freno / chasis son:

- Control del retardador automático
- Suministro de aceite piloto a la válvula de levante
- Cargar los acumuladores de freno de estacionamiento y servicio
- Purgar los acumuladores
- Descarga de la bomba de freno (limita el suministro de la bomba a la presión de desactivación)
- Suministra señal de aceite a la válvula TCS

La válvula de freno / chasis también incluye dos sensores de presión de acumuladores y un sensor de presión de la bomba de freno, que envían señales al ECM de Freno indicando las presiones de freno.

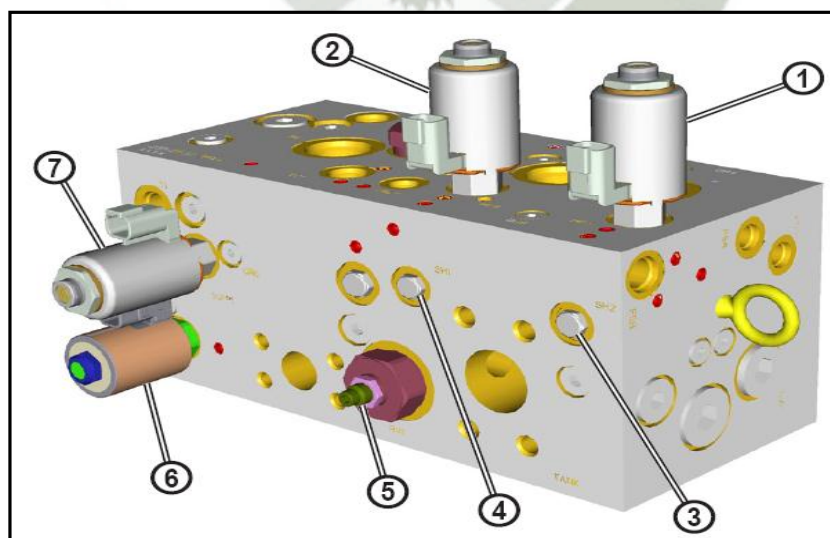


Figura N° 43: Componentes de la válvula de freno

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.415).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Válvula de Freno / Chasis lado derecho

1. Solenoide del ARC freno trasero
2. Solenoide del ARC freno delanteros
3. Válvula lanzadera freno de servicio delanteros
4. Válvula lanzadera freno servicio traseros
5. Válvula de alivio
6. Solenoide de purga de los acumuladores
7. Solenoide de freno de estacionamiento

Los componentes visibles en el lado derecho y superior de la válvula de freno / chasis son:

- Solenoide del ARC de los frenos traseros (1)
- Solenoide del ARC de los frenos delanteros (2)
- Válvula lanzadera de los frenos de servicio delanteros (3)
- Válvula lanzadera de los frenos de servicio traseros(4)
- Válvula de alivio (5)
- Solenoide de purga de los acumuladores (6)
- Solenoide de freno de estacionamiento (7)

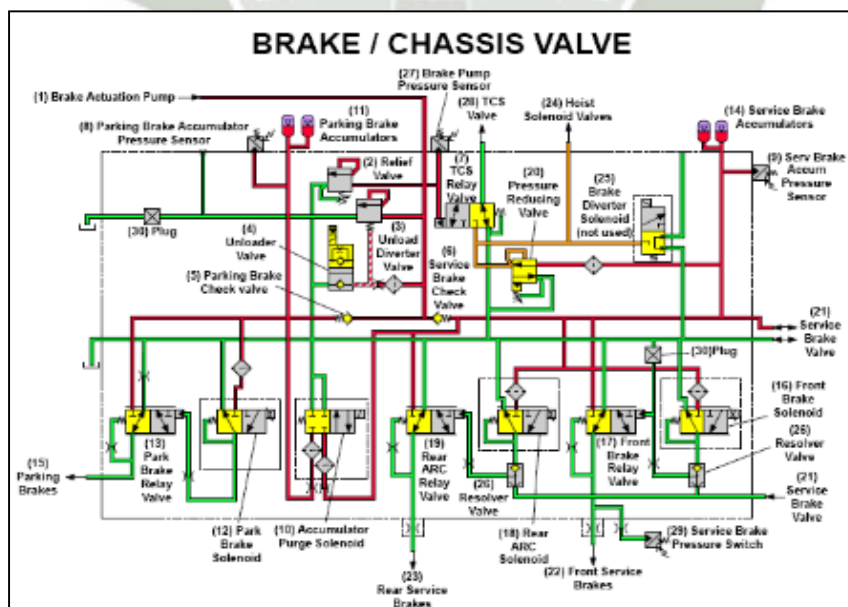


Figura N° 44: Esquema Interno de la Válvula de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.422).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La ilustración muestra el esquema de la válvula de freno / chasis cargando los acumuladores, freno de estacionamiento aplicados y frenos de servicio desaplicados.

El aceite de la bomba de actuación de freno (1) fluye dentro de la válvula de freno / chasis y a los siguientes lugares:

- Válvula de alivio (2)
- Válvula de derivación de descarga (3)
- Válvula solenoide de descarga (4)
- Válvula check de freno de estacionamiento (5)
- Válvula check de freno de servicio (6)
- Válvula relé del TCS (7)

La válvula de alivio limita la presión del sistema de freno. La presión del sistema de freno aumenta hasta cargar los acumuladores aproximadamente a 20.685 ± 670 kPa (3000 ± 100 psi) basado en la señal del sensor del acumulador del freno de estacionamiento (8) o el sensor de presión del acumulador del freno de servicio (9).

Circuito del flujo de aceite en el freno de servicio

Cuando los acumuladores están cargados, el ECM de Freno envía una señal a la válvula solenoide de descarga. La válvula solenoide de descarga y la válvula de derivación de descarga trabajan juntas para descargar la bomba de actuación de freno cuando los acumuladores están cargados. La válvula solenoide cambia hacia abajo y la presión del aceite entre al orificio y la válvula solenoide de descarga, que también es la señal de aceite para la válvula de derivación, luego disminuye aproximadamente a la presión de tanque. La presión de aceite del sistema es más alta que la presión de la señal y la fuerza del resorte de la válvula de descarga de derivación. La válvula de freno / chasis ahora está en presión de desactivación (cut-out), la presión de activación (cut-in) es aproximadamente a 13.790 kPa (2000 psi)

El flujo de aceite a través de la válvula check del freno de estacionamiento va hacia.

- Solenoide de purga de acumuladores (10)
- Acumuladores de freno de estacionamiento (11)
- Solenoide de freno de estacionamiento (12)
- Válvula relé de freno de estacionamiento (13)

El solenoide de purga de los acumuladores libera la presión de los acumuladores de los frenos de estacionamiento (11) y de los acumuladores de frenos de servicio (14) cuando el motor es apagado. Los acumuladores de estacionamiento suministran aceite a los frenos de estacionamiento (15). El solenoide de freno de estacionamiento dirige el aceite a la válvula relé cuando es comandado por el ECM de freno. La válvula relé de freno de estacionamiento dirige el aceite desde los acumuladores de freno de estacionamiento a los frenos de estacionamiento.

El flujo de aceite a través de la válvula check del freno de servicio va hacia:

- Solenoide de purga de los acumuladores (10)
- Acumuladores de freno de servicio (14)
- Solenoide de frenos delanteros (16)
- Válvula relé de frenos delanteros (17)
- Solenoide del ARC freno traseros (18)
- Válvula relé del ARC frenos traseros (19)
- Válvula reductora de presión (20)
- Válvula de freno servicio (21) (no ubicada en la válvula de freno / chasis

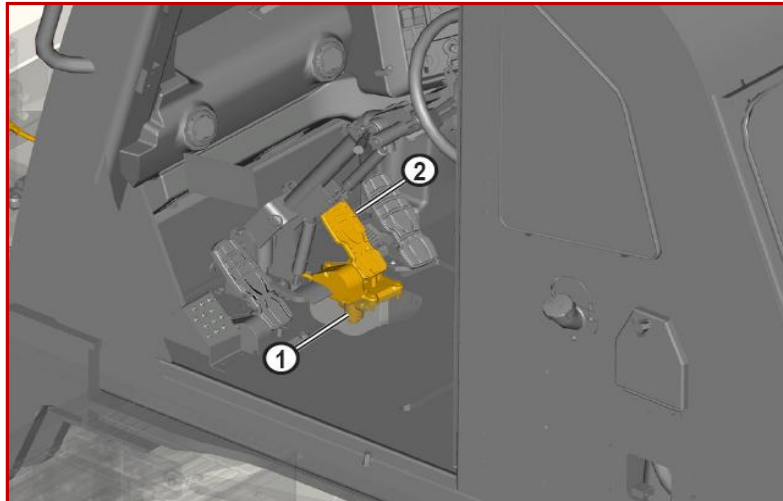


Figura N° 45: Pedal y Sensor de Freno de Servicio

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.455).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Pedal de la Cabina

1. Válvula de freno de servicio
2. Pedal de freno de servicio

La válvula de freno de servicio (1) está ubicada debajo del pedal de freno de servicio (2) en la cabina.

La válvula de freno de servicio dirige el suministro de aceite de la válvula de freno / chasis a la válvula lanzadera en la válvula de freno / chasis.

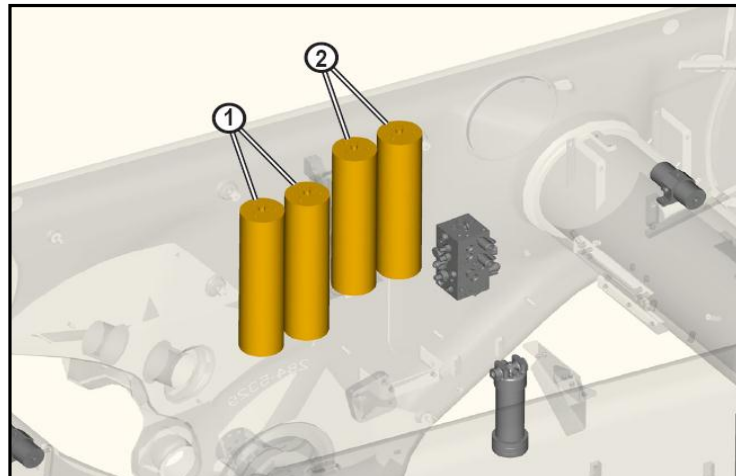


Figura N° 46: Acumuladores de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.462).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Lado izquierdo del camión

1. Acumuladores de freno de servicio
2. Acumuladores de freno de estacionamiento

El camión 797-F tiene cuatros acumuladores. Los acumuladores de freno de servicio (1) y los acumuladores de freno de estacionamiento (2) están ubicados debajo de la caja del camión en el lado izquierdo.

Los acumuladores almacenan el aceite del sistema de actuación de freno.

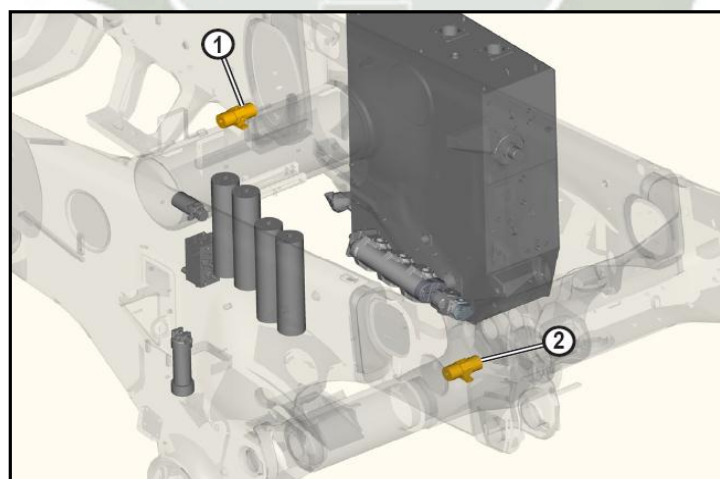


Figura N° 47: Ajustadores Slacks de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.475).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Ajustadores slack

1. Ajustadores slack delantero
2. Ajustadores slack trasero

El 797- F tiene dos ajustadores slack. Los ajustadores slack (1) está ubicado sobre el bastidor central. El ajustador slack trasero (2) está ubicado sobre la caja del eje trasero. Los ajustadores slack compensan el desgaste del disco de los frenos al permitir que un pequeño volumen de aceite fluya por el ajustador slack y permanezca entre el ajustador slack y el pistón de los frenos a baja presión. Los ajustadores slack mantienen una presión leve sobre el pistón de freno en todo momento.

Componentes del Sistema de Refrigeración de Freno

1. Bomba de engranaje de tres secciones
2. Mallas de refrigeración de frenos
3. Enfriador de frenos delanteros
4. Enfriadores de frenos Traseros
5. Filtro aceite levante / Refrigeración de freno
6. Bomba de mando de refrigeración de freno
7. Motor de mando de refrigeración de freno
8. Malla de refrigeración de freno
9. Enfriadores de frenos delanteros
10. Enfriadores de freno trasero
11. Filtro aceite levante / Refrigeración de freno

La presión de aceite de refrigeración de freno mantiene un pequeño espacio libre entre los discos de freno. La presión de freno de servicio puede ser testeada en los toma de presión (no mostrados) en los ajustadores slack.

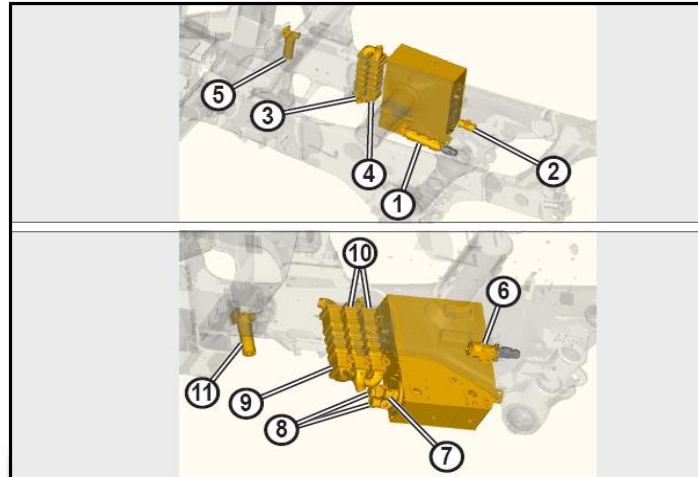


Figura N° 48: Sistema de Enfriamiento de Frenos
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.482).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Sistema de Refrigeración de Freno

El sistema de refrigeración de freno suministra aceite a los enfriadores de freno de servicio y estacionamiento.

El 797-F el arreglo de retardación en plano / subiendo (ilustración superior) está equipado con un enfriador menos que el arreglo de retardación en descenso cargado (ilustración inferior). El aceite de refrigeración de los frenos comparte la misma sección del tanque que el aceite de levante.

Los componentes del sistema de refrigeración de freno con el arreglo de retardando en plano / subiendo son:

- Bomba de engranaje de tres secciones (1)
- Malla de refrigeración de freno (2)
- Enfriador de freno delantero (3)
- Enfriador de freno trasero (4)
- Filtro de aceite de levante / refrigeración de freno (5)

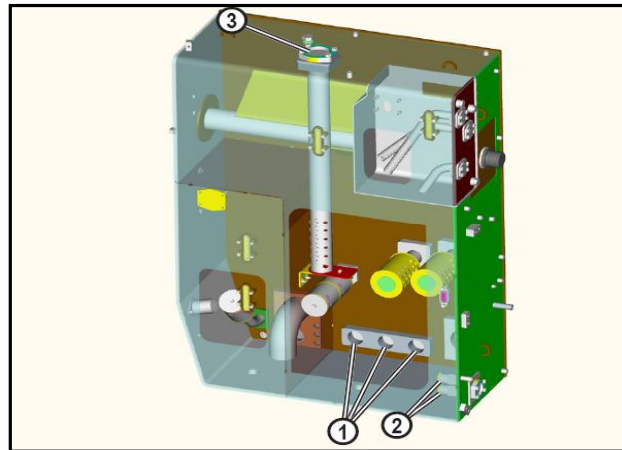


Figura N° 49: Vista en Corte de Tanque Hidráulico

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.498).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Bomba de refrigeración de freno

- 1.- Puertos de la bomba de refrigeración de freno
- 2.- Válvulas de alivio
- 3.- Puerto de retorno de refrigeración de freno

En el con el arreglo retardando en plano / subiendo la bomba de refrigeración de frenos de tres secciones envía aceite desde el tanque hidráulico a través de los puertos (1) de la bomba de refrigeración de freno de tres secciones que están en el fondo del tanque.

Las válvulas de alivio (2) en el tanque hidráulico mantienen una presión mínima del sistema hidráulico de refrigeración de freno.

El aceite de refrigeración de los frenos vuelve a través del puerto (3) de retorno de refrigeración de los freno en la parte superior del tanque.

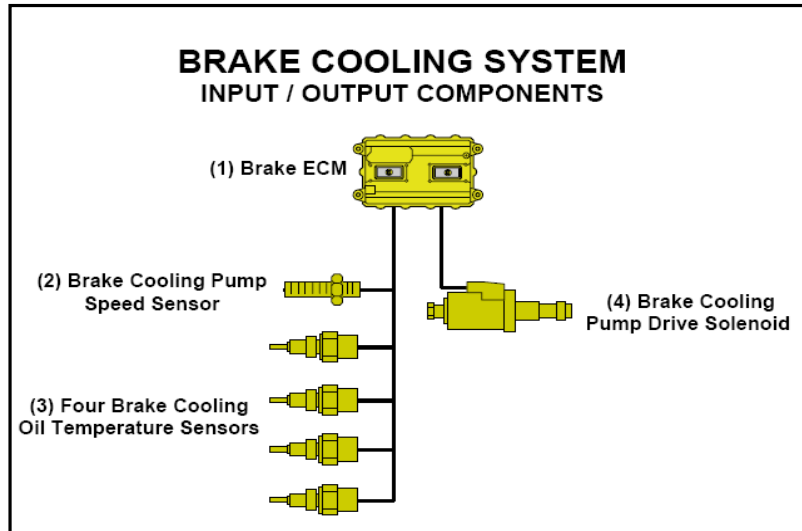


Figura N° 50: Señales de Entrada y Salida al ECM de Enfriamiento de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.510).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Componentes de entradas / salidas

1. Sistema de refrigeración de freno
2. Señales de entrada al ECM de freno

La ilustración muestra los componentes de entrada y salida el sistema de control electrónico de freno que están relacionados con el sistema de refrigeración de freno.

El ECM de Freno (1) recibe señales de entrada del sensor de velocidad de la bomba de refrigeración (2) y de los cuatros sensores de temperatura de aceite de refrigeración (3). Hay un sensor de temperatura para medir cada estación de freno.

El ECM de Freno monitorea la temperatura de la transmisión y del convertidor a través del ECM de la Transmisión y la temperatura de aire en el múltiple de entrada, la temperatura del refrigerante del motor y la temperatura de aceite motor vía el ECM de Motor.

La información de la velocidad de la bomba de refrigeración de freno y el sensor de temperatura es usada por el ECM de Freno para controlar la velocidad del motor de refrigeración de freno a través del solenoide de mando de la bomba de refrigeración de freno (4).

Cuando la temperatura del aceite es menor que 102° C (215° F), el solenoide de la bomba de mando de refrigeración de freno es desenergizado y el pistón de la bomba se va a baja presión de reserva. Cuando la temperatura del aceite es mayor a 102° C (215° F) pero menor que 107° C (225° F), el ECM de Freno envía una señal PWM al solenoide de la bomba de refrigeración de freno para modular el flujo de aceite de refrigeración de freno desde la bomba. Cuando la temperatura de aceite de los frenos es mayor a 107° C (225° F), el solenoide de la bomba de mando de refrigeración de freno es energizado para proporcionar máximo flujo de refrigeración de frenos desde las bombas.

La bomba de mando de refrigeración de freno (1), ubicada en la parte trasera inferior del mando de bomba, es una bomba de tipo pistón de desplazamiento variable. La velocidad de la bomba de refrigeración de freno es controlada observando el flujo desde la bomba al motor de refrigeración de frenos. El ECM de Freno controla el flujo de aceite de la bomba de mando de refrigeración de freno energizando el solenoide de desplazamiento(2)

El solenoide de desplazamiento mueve el carrete de la válvula de compensador de flujo y presión (3) para controlar el flujo de salida de la bomba y fluir al pistón actuador de ángulo mínimo. El tornillo de ajuste de la corriente (4) controla la corriente mínima requerida para iniciar el término de la carrera de la bomba.

La válvula CUT-OFF de presión máxima (5) controla la máxima presión del sistema de mando de refrigeración de freno.

El tornillo de ángulo mínimo del plato (6) está ubicado cerca de la válvula compensadora de flujo y presión. El tornillo de ángulo máximo del plato (7) está ubicado al otro lado de la bomba.

2.7. SISTEMA DE LEVANTE¹²

A Continuación se detalla los principales componentes del sistema de levante de tolva del camión 797F.

El sistema de levante de camión 797-F es controlado electrónicamente por el ECM de Chasis.

¹² Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797. Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El sistema de levante opera similar al camión 797-B

Los sistemas principales del sistema de levante son:

1. Bomba de levante
2. Malla de levante
3. Válvula de Control de Levante y Enfriamiento de Frenos
4. Cilindros de levante
5. Tanque aceite hidráulico

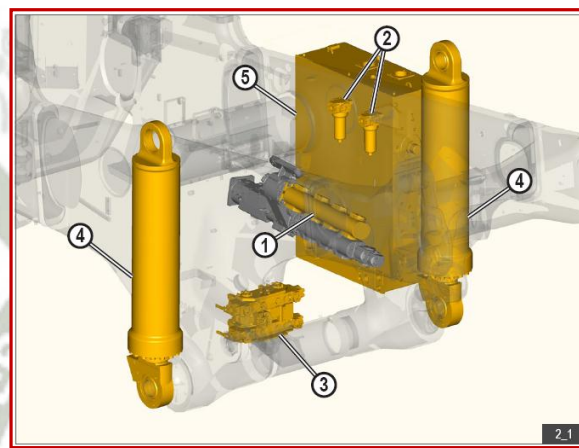


Figura N° 51: Sistema de Levante

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.540).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

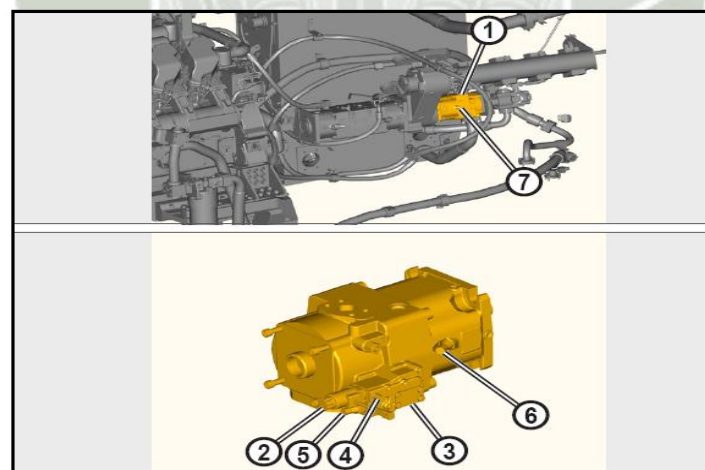


Figura N° 52: Bomba de Enfriamiento de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.568).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El sistema de levante puede ser habilitado o deshabilitado por la herramienta de servicio E.T. La bomba del sistema de levante (1) succiona aceite del tanque hidráulico enviándolo a través de las mallas (2) a la válvula de control de levante y enfriamiento de frenos (3). La válvula de levante usa aceite de presión reducida del freno desde la válvula de freno del chasis (4) como aceite piloto para actuar el carrete direccional de la válvula de levante. Cuando los cilindros de levante (5) están subiendo o bajando el ECM Chasis energiza el solenoide ON/OFF (6) de aceite piloto del levante, los dos solenoides de derivación de la bomba de levante (7) y dos de los cuatro solenoides de control del levante (8).

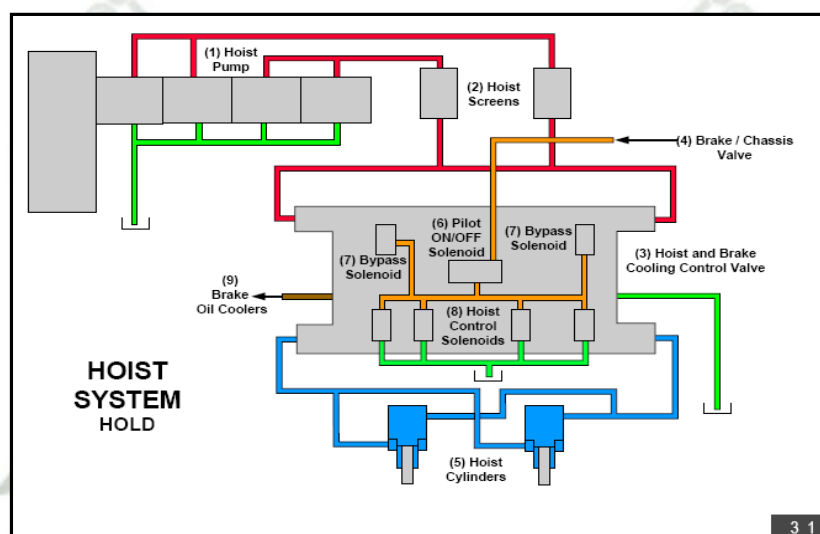


Figura N° 53: Esquema del Sistema de Levante

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.588).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

Un solenoide de control es energizado para suministrar aceite a los cilindros de levante y otro solenoide es energizado para drenar el aceite de los cilindros de levante.

Cuando la válvula de levante está en posición FIJA, AMORTIGUAR o FLOTANTE, el ECM Chasis des energiza los dos solenoide de derivación de la bomba de levante y todo el flujo de aceite de la bomba de levante es enviado a los frenos a través de los enfriadores de freno (9).

Las dos válvulas de alivio de la bomba y las dos válvulas de alivio de líneas están ubicadas en la válvula de control de levante y enfriamiento de frenos. Las válvulas de alivio de la

bomba limitan la presión del sistema de levante. Las válvulas de alivio de líneas también limitan la presión el sistema y están seteadas más altas que las válvulas de alivio de la bomba. Si la válvula de levante está en posición FIJA y un extremo carga la caja, las válvulas de alivio de líneas se abrirán.

Dos cilindros hidráulicos son usados para levantar la caja desde el bastidor del camión. Cuando la palanca de levante es movida a la posición subida, el suministro del aceite fluye al lado cabeza de los cilindros de levante y mueve los cilindros para extender los dos paños.

El aceite del lado vástago de los cilindros fluye a través de la válvula de levante al tanque.

Cuando la caja está siendo levantada, aproximadamente a 40°, el ECM Chasis envía una señal a los solenoides de levantamiento para mover el carrete a la posición SOBRE el CENTRO.

Cuando la palanca de levante es movida a la posición bajada o flotante y los cilindros están extendidos, el suministro entra al lado vástago de los cilindros de levante y bajando el segundo paño de los cilindros. El aceite del lado cabeza de los cilindros de levante fluye a través de la válvula de levante al tanque hidráulico.

Componentes de entradas y salidas del control electrónico del chasis

En la ilustración se muestran los componentes de entradas y salidas del Sistema de Control Electrónico del Chasis.

El ECM Chasis (1) controla el sistema de levante y otras funciones de la máquina.

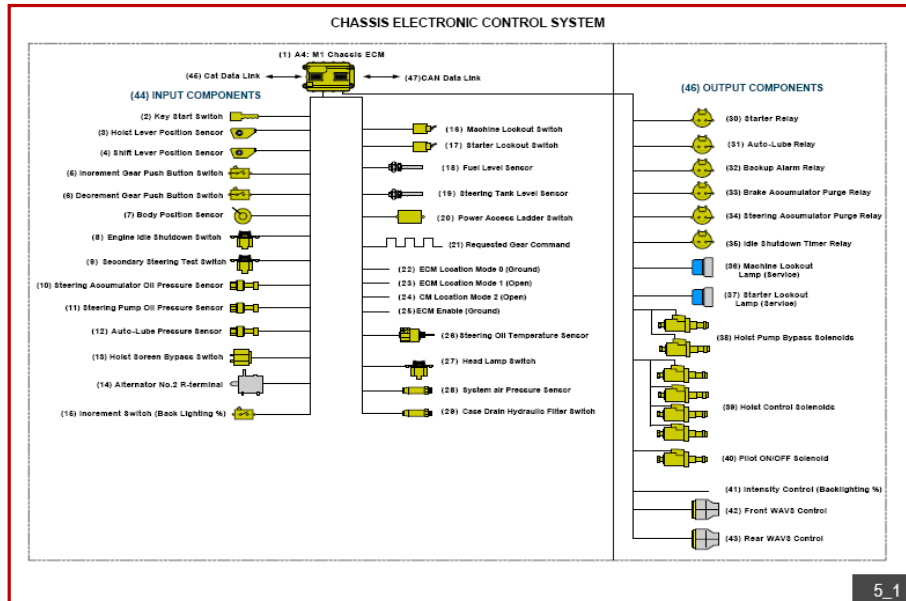


Figura N° 54: Esquema de Señales de Entrada y Salida del ECM de Chasis
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.602).
 Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.



Figura N° 55: Palanca de Posición de Tolva
Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.655).
 Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El operador controla la palanca de levante. Las cuatro posiciones de la palanca de levante son LEVANTAR, FIJA, FLOTANTE y BAJAR. La válvula de levante tiene un ajuste referencial para la posición de SNUB. El operador no realiza la posición AMORTIGUAR porque la posición en la palanca no está provista. Cuando la caja está siendo bajada justo antes de que la caja haga contacto fuerte con el bastidor, el ECM Chasis envía una señal

al solenoide de levante para mover el carrete de la válvula de levante para la posición BAJAR AMORTIGUAR. En la posición BAJAR AMORTIGUAR la velocidad de la caja flotante es reducida para prevenir que la caja no golpee contra el chasis.

Cuando la caja está subiendo justo antes de que los cilindros de levantamiento se extiendan completamente, el ECM Chasis envía una señal a los solenoides para mover los carretes de la válvula de levantamiento a la posición SUBIR AMORTIGUAR. En la posición de SUBIR AMORTIGUAR la velocidad de subida es reducida para que los pistones del cilindro de levantamiento no hagan un contacto fuerte en las cabezas de los cilindros.

El camión normalmente debe operarse con la palanca de levantamiento (flecha) en la posición FLOTANTE. Cuando el camión se desplaza con la palanca de levantamiento en posición FLOTANTE, se asegura que la caja esta sobre el bastidor y los topes de apoyo del bastidor y no sobre los cilindros de levantamiento.

Si la transmisión está en posición RETROCESO cuando la caja está subiendo, se usa el sensor de la palanca de levantamiento para cambiar la palanca a NEUTRO.

La transmisión permanecerá hasta que: La palanca de levantamiento se mueva a la posición FIJA o LIBRE, la palanca de cambio haya tenido un ciclo afuera de NEUTRO.

Sensor de posición de la caja (flecha)

El sensor de posición de la caja (flecha), está localizado en el bastidor cerca del pasador pivote de la caja. Cuando la caja está subiendo, el sensor de posición de la caja envía una señal al ECM Chasis indicando la posición de la caja. Esta señal es usada para limitar la velocidad superior que pueda hacer la transmisión cuando la caja se encuentra en posición arriba.

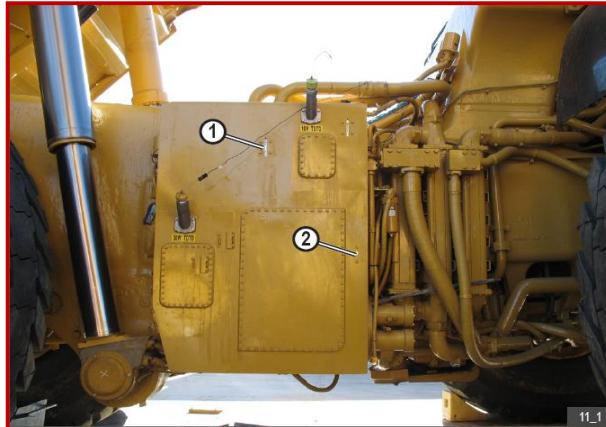


Figura N°56: Mirillas de Aceite Hidráulico de Levante

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.656).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El valor límite de velocidad con la caja levantada es programable de primera a tercera usando la herramienta de servicio E.T. El ECM viene calibrado de fábrica con el valor de primera velocidad. Cuando la maquina sale del sitio de descarga, la transmisión no hará el cambio de velocidad hasta que la caja no este abajo Si la transmisión ya está con una velocidad mayor de la velocidad superior cuando se sube la caja, no se llevara ninguna acción limitante.

La señal de posición de la caja se usa también para controlar la posición AMORTIGUAR de la válvula de levantamiento. Cuando la caja está bajando, el ECM de Chasis envía señales a los solenoides de levantamiento para desplazar los carretes de la válvula del sistema de levantamiento a la posición AMORTIGUAR. En la posición AMORTIGUAR, la velocidad de la caja se reduce para prevenir que la caja haga un contacto fuerte con el bastidor.



Figura N° 56: Sensor de Posición de Tolva

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.667).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El tanque hidráulico está localizado al lado derecho del camión. El tanque hidráulico está dividido en tres secciones. Estas secciones son:

- Actuación de Freno
- Levante y Enfriamiento de freno
- Dirección y Fan.

El nivel de levante y enfriamiento de freno es normalmente medido en la mirilla indicadora superior (1). El nivel debe ser medido primero con el aceite frío y el motor detenido.

La mirilla inferior (2) es usada para medir el nivel cuando los cilindros de levantamiento se encuentran en la posición SUBIDA. Cuando los cilindros de levante están bajando, el nivel del aceite hidráulico se incrementa. Después que los cilindros de levante han bajado, chequear el nivel de aceite en la mirilla superior.

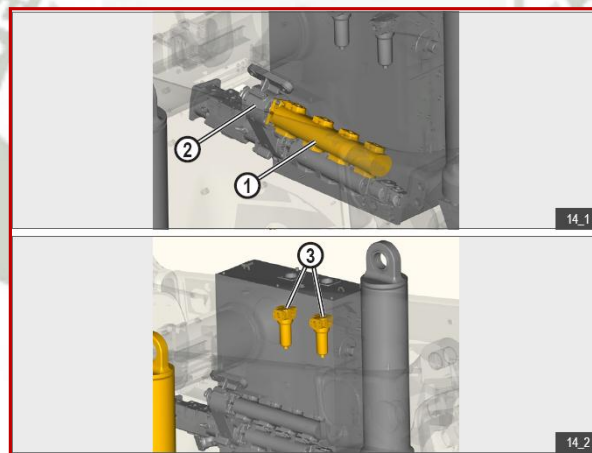


Figura N° 57: Bomba de Engranajes del Sistema de Levante

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.675).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

El aceite es suministrado al sistema de levantamiento por la bomba de cuatro secciones (1) localizada en la parte superior trasera del mando bomba (2). El aceite fluye a través de las mallas (3) a la válvula de control de levantamiento y enfriamiento de freno.

Un interruptor de derivación (no mostrado) instalado en las mallas de levante informan al ECM si las mallas se encuentran con restricción. El ECM se comunica con el sistema de monitoreo para alertar al operador.

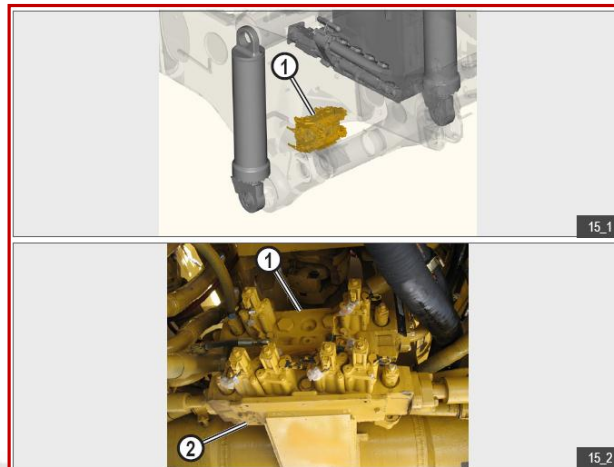


Figura N° 58: Válvula de Control de Levante y Enfriamiento de Frenos

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.688).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

La válvula de control de levantamiento y enfriamiento de freno (1) está montada en la placa (2). La válvula de control de levantamiento y enfriamiento de freno envía el aceite a los cilindros de levante o al sistema de enfriamiento de freno.

La vista se muestra los dos cilindros usados para levantar o bajar la caja.

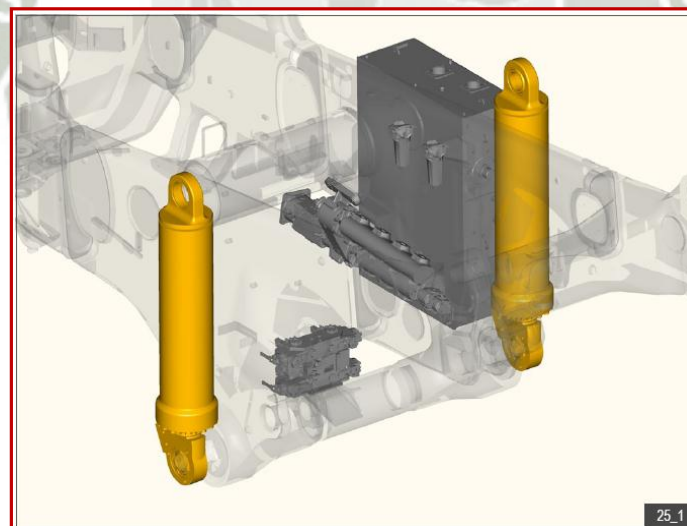


Figura N° 59: Cilindros de Levante

Fuente: Caterpillar Inc. (2014). Camión Volquete 797(p.689).
Peoria, Illinois USA: NYSE CAT.

CAPITULO III

FUNDAMENTO TEÓRICO DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO

3.1. INTRODUCCIÓN

El concepto de mantenimiento ha pasado por un proceso de evolución, del concepto de mantenimiento podemos encontrar infinidad de definiciones diferentes según los criterios de cada autor. Intentando homogeneizar diferentes criterios, podemos definir el mantenimiento como el conjunto de actividades que se realizan sobre un componente, sistema o equipo para asegurar que continúe desempeñando las funciones que se esperan de él, dentro de su contexto operacional.

El objetivo fundamental del mantenimiento, por tanto, es preservar la función y la operatividad, optimizar el rendimiento y aumentar la vida útil de los activos, procurando una inversión óptima de los recursos. Este enfoque del mantenimiento es resultado de una evolución importante a través del tiempo.

- En las últimas dos décadas se han realizado importantes avances en el desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento.
- El progreso en el área de mantenimiento ha sido motivada por el aumento en el número, tamaño, complejidad y variedad de los activos físicos, la conciencia creciente del impacto del mantenimiento en el medio ambiente, la seguridad del personal, la rentabilidad del negocio, y la calidad de los productos.
- Las fallas imprevistas suelen tener efectos adversos sobre el medio ambiente y puede resultar en accidentes graves. Los estudios demuestran la estrecha relación entre las prácticas de mantenimiento y la ocurrencia de accidentes graves.
- La rentabilidad está estrechamente relacionada con la disponibilidad y fiabilidad de los equipos, mientras que la calidad del producto depende mucho de la condición de los equipos.
- El mayor desafío para un ingeniero de mantenimiento consiste en aplicar una estrategia de mantenimiento tal que:

- Maximiza la disponibilidad y eficiencia de los equipos,
- Controla la velocidad de deterioro del equipo,
- Garantiza una operación segura y respetuosa del medio ambiente, y
- Minimiza el costo total de la operación.

3.2. ANTECEDENTES

En la literatura se encuentran varios estudios relacionados con el tema, a continuación se describen algunos de aplicación en la priorización de mantenimientos.

(Vesely, Belhadj, & Rezos, 1994) este planteamiento se basa en la evaluación probabilística del riesgo conocido por sus siglas en inglés como-PRA, el cual es útil para priorización de mantenimiento. Consiste en la identificación de situaciones importantes que permitan priorizar los mantenimientos a partir de la relación de dos variables, una determina la importancia del equipo a ser mantenido dentro de la instalación y la otra determina el impacto que se producirían si el mantenimiento no se lleva a cabo de manera efectiva. La priorización de los mantenimientos se basa en el impacto que puede causar si el componente falla, si el impacto en el riesgo es insignificante, quiere decir que el mantenimiento del componente no es importante ya que el riesgo no es sensible para el buen funcionamiento del componente. Debe tenerse en cuenta que pueden surgir casos en las decisiones de mantenimiento de un componente que se pueden clasificar como a la vez importante y poco relevante en función de los efectos de no hacer el mantenimiento, estos casos necesitan una consideración especial.

(Vaurio, 1995) describe un procedimiento sistemático para determinar exactamente el intervalo de pruebas y mantenimiento relacionando la seguridad de los equipos y sus componentes. La medida del riesgo es el tiempo promedio de la tasa de accidentes. El método se basa en reducir el mínimo costo de intervenir la instalación con la restricción que la frecuencia promedio de accidentes se mantiene por debajo un criterio establecido. Se modelan como eventos básicos las fallas en componentes, las causas más comunes de falla y los errores humanos, la probabilidad de falla es función de los intervalos de prueba y mantenimiento. Las

características de este trabajo son: reducción al mínimo de los costos en la instalación, además de minimizar el riesgo o la falta de disponibilidad, así como el riesgo de falla de los equipos y componentes, inclusión de intervalos de mantenimiento preventivo y costos, además de las pruebas de rutina o inspección, tiempos de espera y la causa común de falla en componentes y errores humanos.

(Khan & Abbasi, 2000) la metodología planteada utiliza el análisis del árbol de fallos, conocido por sus siglas en inglés como-FTA se basa en la construcción de un árbol hipotético de eventos con sucesos iniciadores. Dentro de las ramas se asignan otros sub eventos, propagando la falla dando origen a la causa principal evento. Ha sido una técnica que se utiliza tradicionalmente en la identificación de riesgos en las instalaciones nucleares y las empresas de la energía, combinando el peligro potencial falla y la probabilidad de ocurrencia, es de las técnicas más utilizadas ya que estima la frecuencia y probabilidad de accidente o fallos. La articulación sistemática del árbol de fallas está asociada con la asignación de probabilidades a cada fallo. El ejercicio es también llamado a veces la evaluación del riesgo probabilística. Los árboles de fallos constituyen una técnica ampliamente utilizada en los análisis de riesgos debido a que proporcionan resultados cualitativos y cuantitativos, su aplicación requiere tiempo, lo que limita su ámbito de aplicación. Por otra parte, permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un accidente y una idea sobre las posibles causas de dicho accidente. Como FTA se centra en las probabilidades de eventos, también es a menudo llamado "el análisis probabilístico del riesgo", el cual tiene los siguientes aportes: Permite descubrir las causas de las fallas de forma deductiva. Indica los elementos importantes y las fallas más relevantes. Proporciona una ayuda gráfica, mostrando la dependencia de fallas. Mediante los análisis cuantitativos y cualitativos permite concentrarse en la causa de falla en determinado momento. Permite tener una información sobre el comportamiento del sistema.

(Khan & Haddara, 2003) propone una nueva metodología para la inspección y el mantenimiento basado en el riesgo, la aplicación de la metodología se ilustra en un sistema de aire acondicionado como caso de estudio. Integra la evaluación cuantitativa de los riesgos y la evaluación con técnicas de análisis de confiabilidad.

La intervención del equipo se dio con la determinación de la prioridad basada en el riesgo total considerando elementos económicos, de seguridad y medio ambiente, a partir de estos resultados se desarrolla un plan de mantenimiento para reducir el riesgo no-tolerable. Se describieron los elementos más importantes que identifican cada una de la metodología que pueden ser definidas para una empresa de transmisión, se destacan el mantenimiento centrado en confiabilidad su aporte en disminuir los costos, el mantenimiento basado en condición introduce elementos que permiten identificar los modos de falla de forma temprana y con el análisis de riesgo se pueden apoyar la toma de decisiones para enfocar mejor los recursos. En el capítulo siguiente se plantea la fundamentación metodológica del cómo desarrollar la metodología considerando los aspectos mencionados.

3.3. PRIMERA GENERACIÓN

La primera generación cubre el período entre 1930 y la Segunda Guerra Mundial. En esta época la industria estaba poco mecanizada y por tanto los tiempos fuera de servicio no eran críticos, lo que llevaba a no dedicar esfuerzos en la prevención de fallos de equipos. Además al ser maquinaria muy simple y normalmente sobredimensionada, los equipos eran muy fiables y fáciles de reparar, por lo que no se hacían revisiones sistemáticas salvo las rutinarias de limpieza y lubricación. El único mantenimiento que se realizaba era el de “Reparar cuando se averíe”, es decir, mantenimiento correctivo.



Figura N° 60: Características de Mantenimiento de la Primera Generación

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)(p.102). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

3.4. SEGUNDA GENERACIÓN

La Segunda Guerra Mundial provocó un fuerte aumento de la demanda de toda clase de bienes. Este cambio unido al acusado descenso en la oferta de mano de obra que causó la guerra, aceleró el proceso de mecanización de la industria. Conforme aumentaba la mecanización, la industria comenzaba a depender de manera crítica del buen funcionamiento de la maquinaria. Esta dependencia provocó que el mantenimiento se centrara en buscar formas de prevenir los fallos y por tanto de evitar o reducir los tiempos de parada forzada de las máquinas. Con este nuevo enfoque del mantenimiento, apareció el concepto de mantenimiento preventivo. En la década de los 60, éste consistía fundamentalmente en realizar revisiones periódicas a la maquinaria a intervalos fijos. Además se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento con el objetivo de controlar el aumento de los costes de mantenimiento y planificar las revisiones a intervalos fijos.

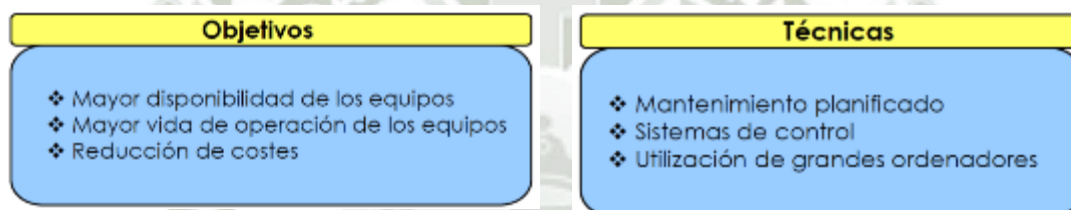


Figura N° 61: Características de Mantenimiento de la Segunda Generación

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.110). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

3.5. TERCERA GENERACIÓN

Se inició a mediados de la década de los setenta, cuando se aceleraron los cambios a raíz del avance tecnológico y de las nuevas investigaciones. La mecanización y la automatización siguieron aumentando, se operaba con volúmenes de producción muy elevados, cobraban mucha importancia los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción. Alcanzó mayor complejidad la maquinaria y aumentaba nuestra dependencia de ellas, se exigían productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolidó el desarrollo del mantenimiento preventivo.

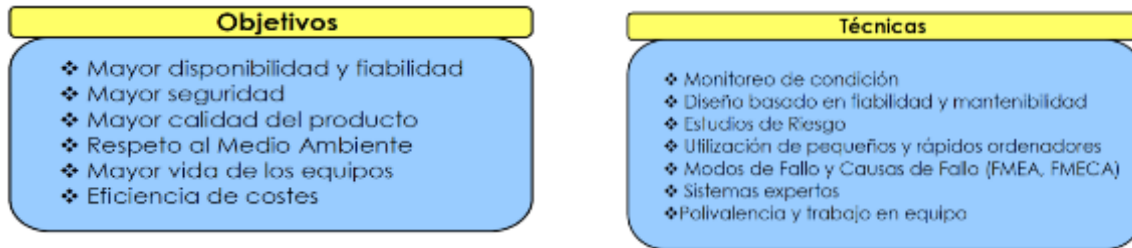


Figura N° 62: Características de Mantenimiento de la Tercera Generación
Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM).
 (p.135). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

3.6. NUEVAS TENDENCIAS DEL MANTENIMIENTO

En los últimos años hemos vivido un crecimiento muy importante de nuevos conceptos de mantenimiento y metodologías aplicadas a la gestión del mantenimiento. Hasta finales de la década de los 90, los desarrollos alcanzados en la Tercera Generación del mantenimiento incluían:

- Herramientas de ayuda a la decisión, como estudios de riesgo, modos de fallo y análisis de causas de fallo.
- Nuevas técnicas de mantenimiento, como el monitoreo de condición
- Equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad.
- Un cambio importante en pensamiento de la organización |hacia la participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad.



Figura N° 63: Características de Mantenimiento de la Cuarta Generación
Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM).
 (p.155). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

A estos usos, se han ido añadiendo nuevas tendencias, técnicas y filosofías de mantenimiento hasta nuestros días, de tal forma que actualmente podemos hablar de una cuarta generación del mantenimiento. El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallos utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias del fallo, sino que se debe encontrar la causa de ese fallo para eliminarlo y evitar así que se repita.

Asimismo, existe una preocupación creciente en la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que resulta clave tomar en cuenta estos valores desde la fase de diseño del proyecto.

A continuación vamos a ver cómo han evolucionado las expectativas del mantenimiento que John Moubray describía en su tercera generación del mantenimiento:

- a. Disponibilidad y Fiabilidad de los Equipos** La disponibilidad y la fiabilidad de una máquina se siguen viendo en nuestros días como buenos indicadores de rendimiento para el mantenimiento. Las expectativas del mantenimiento en estas áreas se han mantenido e incluso aumentado en los últimos 15 años.
- b. Mayor Seguridad:** La seguridad sigue siendo una expectativa importante del mantenimiento, particularmente en el sentido de poder operar los equipos con seguridad. Tradicionalmente, la seguridad se centraba en eventos de alta frecuencia y pequeñas consecuencias. En los últimos años se está ampliando el estudio a eventos que aunque presentan una frecuencia muy baja traen consigo consecuencias muy graves (catástrofes industriales).
- c. Respeto del Medio Ambiente:** En los últimos años hemos vivido una creciente sensibilización por parte de la opinión pública hacia la protección el medio ambiente, empujando a la creación de más y más fuertes normas y regulaciones medio ambientales. Las industrias deben centrarse en minimizar el impacto medioambiental de sus operaciones y dar una imagen de producción limpia. Para poder alcanzar estas expectativas, el papel del mantenimiento debe ser el de asegurar que los equipos funcionen correctamente conforme a las normas y regulaciones ambientales.



Figura N° 64: El Mantenimiento con el Medio Ambiente, ahora es una Obligación.

Fuente: MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (p.122). Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición

d. Mayor Calidad del Producto: En un mercado global, asegurar que el producto reúna todas las especificaciones de calidad sigue siendo un punto clave. Para las organizaciones que operan con “commodities”, la calidad del producto es una de las pocas vías de diferenciar su producto respecto a sus competidores. El mantenimiento debe asegurar que el producto fabricado presenta los requisitos de calidad que han sido definidos para ese producto.



Figura N° 65: El Mantenimiento asegura Productos Fabricados con Estándares de Calidad. **Fuente:** Fernandez, S. (2007).

Los Proyectos de Inversión. Evaluación Financiera.(129).Costa Rica: Editorial. Tecnología de Costa Rica

e. Eficiencia de Costes: La tercera generación de mantenimiento buscaba la optimización de sus gastos, para con ello colaborar en minimizar los costes totales de la organización. Esto es cierto, sólo en teoría. A pesar de las ventajas que podría tener conseguir mayor eficiencia en los costes del mantenimiento, la realidad ha

sido que en muchas industrias- sobre todo en las intensivas en capital- lo que se ha hecho es minimizar la plantilla y conseguir un “mantenimiento esbelto” (Lean Maintenance) dentro de la organización, más que buscar un correcto nivel de gastos en mantenimiento. A parte de estas características descritas anteriormente, existen otros dos temas importantes dentro del mantenimiento actual cuya importancia ha aumentado de manera muy importante en los últimos años:

- La Gestión del Riesgo
- Los nuevos Patrones de Fallo

3.7. GESTIÓN DEL RIESGO

La Gestión del Riesgo cada día cobra más importancia la identificación y control de los posibles sucesos que presentan una baja probabilidad pero consecuencias graves, sobretodo en organizaciones que operan en industrias con riesgo.

El mantenimiento se está viendo como un participante clave en este proceso. En el pasado, este tipo de sucesos se controlaban simplemente con una extensión de los Sistemas de Gestión de Seguridad y Medio Ambiente implantados en cada empresa. Sin embargo, existe una creciente percepción de que la aplicación de estos sistemas de gestión a los sucesos de “baja probabilidad / consecuencias graves” no es efectiva, por lo que es necesario desarrollar otras metodologías.

El accidente en la refinería de Longford, en Australia en 1998, ocurrió a pesar de que contaban con un Sistema de Seguridad de Mantenimiento de Clase Mundial. Como este desastre, otras muchas organizaciones han padecido accidentes de baja probabilidad y consecuencias graves en los últimos años a pesar de tener implantados sistemas apropiados de control. Estos sucesos, han puesto de manifiesto las limitaciones que presentan las actuales metodologías de gestión del riesgo como:

- Valoración Cuantitativa del Riesgo (Quantitative Risk Assessment”).
- Valoraciones Probabilísticas de Seguridad (Probabilistic Safety Assessments - PSA)

Se identificaron los siguientes problemas asociados a este tipo de metodologías:

- Dificultad para identificar todos los factores potenciales de riesgo.
- Problemas con las incertidumbres en los modelados de los sistemas, especialmente para obtener datos probabilísticos realistas para eventos de baja frecuencia.
- Problemas para determinar las relaciones causa-efecto. A menudo éstas no son demostrables.
- La incertidumbre provocada por el factor humano, a menudo no se puede modelar.
- Problemas de complejidad y acoplamiento. El acoplamiento y la complejidad interactiva entre los componentes de un sistema anulan cualquier modelo completo de fallos potenciales de un sistema.
- El valor de la vida. El problema moral de asignar un valor monetario a la vida humana.

Para otros autores, el problema fundamental es que las probabilidades que se asignan a los modos de fallo individuales están basadas en análisis no corroborados experimentalmente. Esto es especialmente cierto para las incertidumbres que aparecen debido a relaciones causa-efecto ocultas o desconocidas. Con el objetivo de superar estas debilidades, las “Organizaciones Altamente Confiables” han desarrollado una serie de puntos culturales claves dentro de la organización a tener en cuenta:

1. Preocupación ante los fallos.
2. Sensibilidad en las operaciones.
3. Compromiso de resistencia.
4. Respeto de la experiencia.
5. Proporcionar una guía clara de cómo operar de manera que se evite el riesgo.
6. Utilizar advertencias y alarmas cuando el peligro es inminente.
7. Restablecer el sistema a una situación estable cuando este se encuentra en una situación anormal.
8. Interponer barreras de seguridad entre el accidente y las pérdidas potenciales.
9. Proporcionar vías de escape y rescate por si el accidente no es contenible.

3.8. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO

Hoy en día existen infinidad de diferentes herramientas, técnicas, metodologías filosofías de mantenimiento. Algunas de las más utilizadas entre otras pueden ser:

- Mantenimiento Autónomo / Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Mejoramiento de la Confiabilidad Operacional (MCO).
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)// (MCC).
- Mantenimiento Centrado en Confiabilidad en Reversa (MCC-R)
- Análisis Causa raíz (ACR)
- Análisis de Criticidad (AC)
- Optimización Costo Riesgo (OCR)
- Inspección Basada en Riesgo (RBI)(IBR)
- Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR).



Figura N° 66: Tipos de Mantenimiento de Última Generación

Fuente: MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (p.165). Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición

3.9. MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO (MBR)

A partir de los primeros años de la década de los 90, el Mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total, mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos.

En el mantenimiento basado en el riesgo se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica

el mantenimiento como fuente de beneficios, frente al antiguo concepto de mantenimiento como "mal necesario". La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo coste. (Khan & Haddara 2004)

Se requiere un cambio de mentalidad en las personas y se utilizan herramientas como:

- Ingeniería del Riesgo: Determinar consecuencias de fallos que son aceptables o no.
- Análisis de Fiabilidad: Identificar tareas preventivas factibles y rentables.
- Mejora de la Mantenibilidad: Reducir tiempos y costes de mantenimiento.

Como técnica de análisis cuantitativa, basada en las finanzas, el MBR establece el valor relativo de varias tareas de mantenimiento y sirve como una herramienta para la mejora continua. El mantenimiento basado en el riesgo define oportunidades para una mejora paulatina, eliminando las tareas de menos valor e introduciendo las tareas que abordan las áreas comerciales de alto riesgo. El mantenimiento basado en el riesgo evalúa el riesgo comercial actual y analiza los costos y beneficios de las acciones a tomar para mitigar las fallas.

El concepto del riesgo ha tomado mucha importancia en los últimos años, siendo común el uso de términos como "exposición al riesgo", "gestión de riesgos", "análisis de riesgos", etc.

Cuando hablamos de riesgo, nos pueden surgir una serie de preguntas como:

1. ¿El riesgo es una medida natural?
2. ¿Se puede medir el riesgo de forma directa?
3. ¿En qué unidades se mide el riesgo?
4. ¿Se puede disminuir o aumentar el riesgo?
5. ¿Todos los riesgos son malos?
6. ¿Que entendemos por modificación del riesgo?

Parece que cuanto más conocemos sobre el mundo en el que vivimos, más aprendemos sobre los peligros existentes. Los avances tecnológicos nos permiten ser conscientes de los posibles desastres que podrían ocurrir. Esta mayor conciencia del riesgo provoca que cada vez haya más interés en mitigarlo o gestionarlo mediante diferentes tipos de análisis. Aun así, una única cosa es segura, es imposible eliminar todos los riesgos por completo y en muchos casos no sería ni aconsejable. Un ejemplo claro, serían las empresas. Una empresa es una organización que toma riesgos para obtener una ventaja competitiva respecto a sus competidores y un beneficio. Si una empresa cubriera todos sus riesgos desaparecería como tal, ya que toda búsqueda de beneficio tiene un riesgo asociado y sin riesgo no hay beneficio. (Khan & Haddara 2004)

El término riesgo se asocia generalmente a aspectos negativos, como a la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseable o incluso a catástrofes. Así, se habla del riesgo a tener un accidente, o del riesgo a desarrollar un cáncer de pulmón debido al tabaco pero no se habla del riesgo a ganar la lotería. (Khan & Haddara 2004)

El riesgo es siempre futuro. Si algo ha ocurrido ya, el riesgo asociado a ese evento ya no existe. Por tanto el riesgo se refiere únicamente a cosas que pueden pasar y así cuanto más conocimiento tengamos sobre él, más posibilidades tendremos de evitar posibles desastres que pueden ocurrir. Nuestra sociedad tecnológica, cada día más consciente de los peligros y sus riesgos, aplica continuamente sistemas para reducirlos. De esta forma, usamos el cinturón de seguridad, evitamos conducir de noche, etc. El hecho es que el análisis de riesgos es una característica natural e innata a la existencia humana. El riesgo no se puede medir directamente sino que debe ser calculado. El riesgo no es un fenómeno natural sino un parámetro que requiere la integración de al menos dos cantidades: La posibilidad y el tipo de evento.

3.9.1. Definición de riesgo

Toda actividad conlleva un riesgo, y una actividad exenta de él representa inmovilidad total. Pero aun así, si todos nos quedáramos en casa sin hacer nada y se detuviera toda actividad productiva y de servicios, aún existirían riesgos, no cabe duda que menores, pero existirían. El riesgo cero no existe.

Podemos definir el riesgo como:

La probabilidad de que un peligro (causa inminente de pérdida) asociado a una actividad determinada, ocasione un incidente con consecuencias factibles de ser estimadas.

La Real Academia de la Lengua nos proporciona una definición más genérica: (Del it. *risico* o *rischio*, y este del ár. clás. *rizq*, lo que depara la providencia).

1. Contingencia o proximidad de un daño.
2. Cada una de las contingencias que pueden ser objeto de un contrato de seguro

De forma subjetiva, el riesgo se puede describir como la percepción de un peligro. La forma de percepción que tienen las personas de los peligros influye en la percepción que tienen del riesgo asociado. Así, las personas están dispuestas a aceptar riesgos más elevados cuando ellas mismas tienen control sobre el proceso. De esta forma, las personas se sienten mucho más seguras conduciendo un automóvil que viviendo cerca de una central nuclear aunque la tasa de mortalidad sea mucho mayor en el caso de los accidentes de automóviles. Esto ocurre porque la conducción del automóvil es algo que pueden controlar. (Khan & Haddara 2004)

3.9.2. Concepto del riesgo y su importancia en el mantenimiento

Podemos considerar al Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM) como la evolución del RCM (Mantenimiento Basado en la Fiabilidad), RCM está basado en el estado del equipo y en su importancia dentro del sistema, pero está limitado por la dificultad para cuantificar los problemas que el equipo presenta, donde se puede apreciar la calidad del mantenimiento basado en el riesgo en los siguientes puntos que se indican:

Uno de los objetivos de una estrategia de mantenimiento es la minimización de los riesgos, tanto para los seres humanos y el ambiente, causado por el fallo inesperado del equipo.

- Utilizando un enfoque basado en riesgo se asegura una estrategia, que responde a esos objetivos.
- Este enfoque utiliza la información obtenida del estudio de los modos de fallo y sus consecuencias económicas.

- El análisis de riesgos es una técnica para identificar, caracterizar, cuantificar y evaluar de la pérdida de un evento.

La norma API RP 580 define el riesgo como la combinación de la probabilidad de que se produzca un suceso durante un determinado periodo de tiempo y las consecuencias de que ese suceso ocurra. En términos matemáticos lo define como:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad de Falla} \times \text{Consecuencia}$$

Pudiendo obtener un valor económico (si la consecuencia está valorada económicamente) o una clasificación utilizando una matriz de riesgos.

Una definición equivalente se obtiene sustituyendo la probabilidad por la frecuencia y la consecuencia por la severidad:

$$\text{Riesgo} = F \times S$$

En este caso, “F” representa la esperanza matemática de la pérdida en un determinado periodo de tiempo o lo que es lo mismo, la probabilidad de ocurrencia de la pérdida en dicho periodo.

Estos efectos se pueden medir en distintas unidades: en términos económicos, en pérdida de vidas humanas, en daños personales, etc. Así si un accidente se produce con una frecuencia de una vez cada 5 años y provoca en cada ocasión quince muertos, el riesgo será de:

$$\text{Riesgo} = \frac{1}{5} \times 15 = 3 \frac{\text{Muertos}}{\text{año}}$$

Si para este mismo accidente, las pérdidas económicas ascienden a 300 millones de euros, el riesgo será:

$$\text{Riesgo} = \frac{1}{5} \times 300 = 60 \frac{\text{Millones euros}}{\text{año}}$$

F.I. Khan y M.M. Haddara proponen una metodología para la realización de planes de Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM) que se compone de tres fases:

- **Fase 1:** Estimación del riesgo, teniendo en cuenta una estimación de las consecuencias de cada fallo y la probabilidad de que ese fallo se produzca, que incluye la utilización de Análisis de Árbol de Fallos (FTA).
- **Fase 2:** Evaluación del riesgo, definiendo un nivel de riesgo aceptable y comparando los riesgos estimados de cada fallo con ese valor.
- **Fase 3:** Planificación del mantenimiento, optimizando el plan de mantenimiento para reducir la probabilidad de los fallos que sobrepasan el criterio de aceptación, reduciendo así su riesgo.

En esta última fase podemos utilizar las propuestas de medidas de reducción de riesgos que propone la norma ISO 17776, entre las que destacan la prevención, la detección y el control.

Encontramos por lo tanto en RBM una metodología más sencilla que RCM, que requiere también de un estudio previo de fiabilidad pero que incluye una valoración económica del riesgo, lo que permite realizar análisis financieros y facilita la elección de tareas preventivas y predictivas así como la toma de decisiones sobre acciones más complejas, como pueden ser la cantidad de repuestos necesarios, su localización, la realización de cambios en el diseño de los equipos o cambios en los procedimientos de trabajo.

Estimación del Riesgo

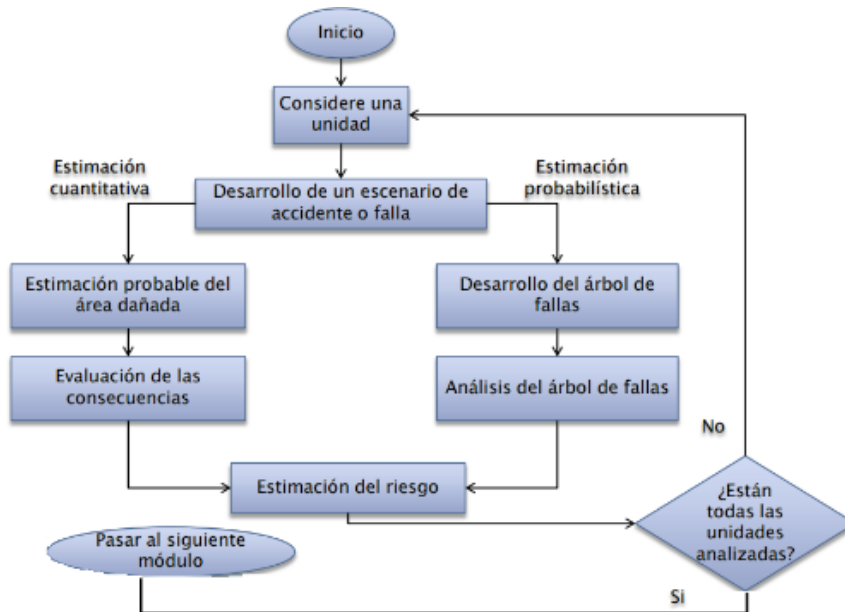


Figura N° 67: Estimación del Riesgo

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.170. Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

Evaluación del Riesgo

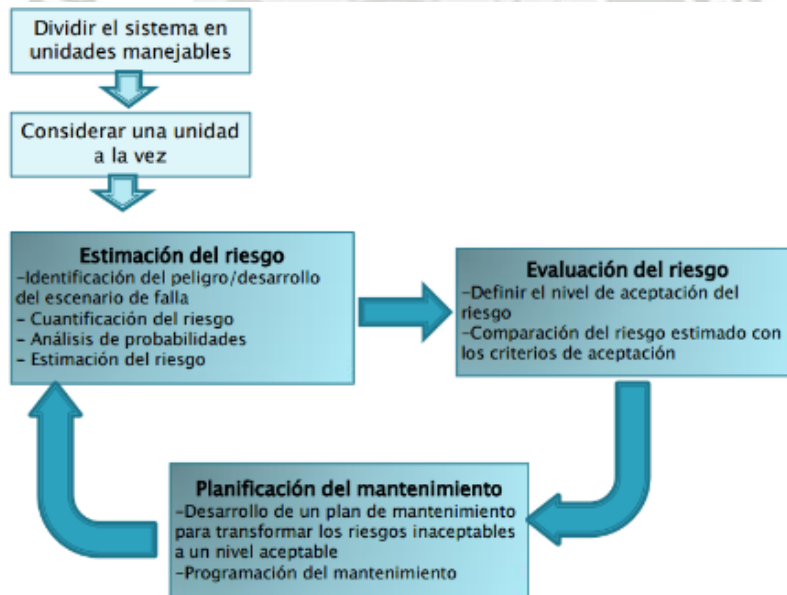


Figura N° 68: Evaluación del Riesgo

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.189). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

Planificación del Mantenimiento

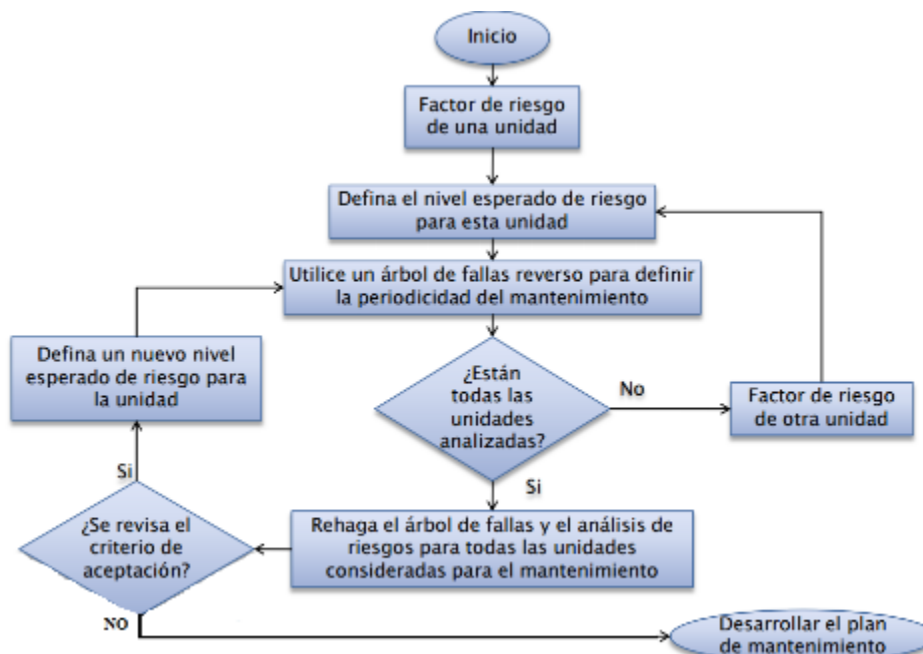
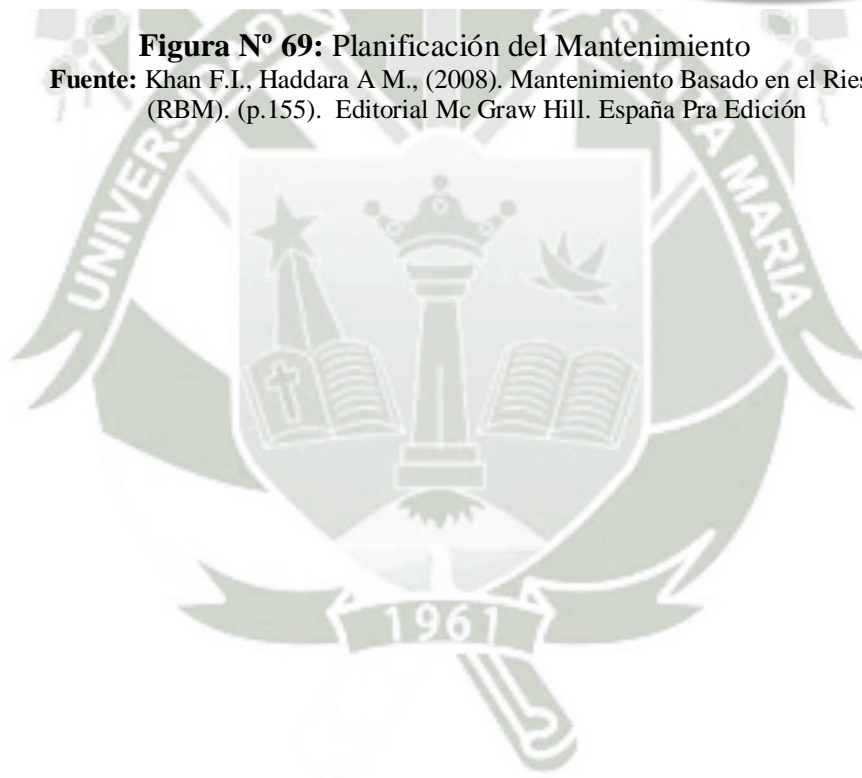


Figura N° 69: Planificación del Mantenimiento

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.155). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición



CAPITULO IV

METODOLOGÍA IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO

4.1. METODOLOGÍA PARA SU IMPLEMENTACIÓN

Un prerequisite para implementar este esquema es obtener una jerarquía de la planta bien adaptada que facilite la identificación de funciones, mecanismos de degradación y fallos.

Los pasos que se deben tomar para desarrollar una jerarquía de la planta se describen más adelante. Posteriormente se describe los métodos para identificar los mecanismos de degradación más probables y para desarrollar escenarios en los cuales se combinan la evaluación de la probabilidad de fallo y de las consecuencias del fallo, luego se describen métodos para evaluar la probabilidad de fallo (PdF) y las consecuencias de fallo (CdF), respectivamente. Finalmente se evalúa como desarrollar la valoración del riesgo y como identificar nuevas actividades de inspección y mantenimiento.

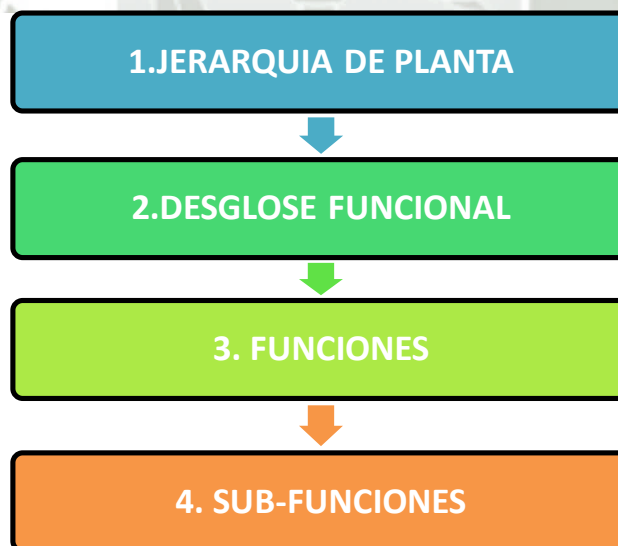


Gráfico N° 1: Jerarquía de Funciones

Fuente: RASCHE, T. (1999). Desarrollo de una Metodología Mantenimiento Basado en Riesgos: Aplicación en la Industria Minera. (89). EEUU: Editorial Universidad de Aberdeen.

4.2. PASO 1 : ESTABLECER JERARQUÍA DE LA PLANTA

Este es un prerequisite para una valoración eficiente del riesgo y para la planificación del mantenimiento y la inspección, ya que la planta se encuentra dividida en secciones controlables. Asignar funciones y sub-funciones a los elementos físicos de la planta simplifica la identificación de los modos de fallo.

Una vez identificados, los modos de fallo se utilizan posteriormente para encontrar las causas de fallo, las causas raíz y los mecanismos de daño.

4.3. PASO 2 : DESARROLLAR UN DESGLOSE FUNCIONAL

El primer paso es definir una jerarquía técnica para los equipos de la planta. La jerarquía técnica es un desglose jerárquico de la planta. El siguiente paso será definir las funciones de cada uno de los elementos dentro de la jerarquía establecida.

Varios estándares industriales proporcionan guías sobre cómo desarrollar la jerarquía técnica de la planta:

- ISO 14224 (Estándar OREDA) Proporciona una guía para las industrias petrolíferas y las de gas natural.
- KKS Kraftwerk Kennzeichen System, es un sistema de identificación para plantas de generación de energía eléctrica (Alemanas y danesas)
- ISO 3511 es un estándar para la medida y el control de equipos usados en los procesos industriales.

Los estándares también definen límites funcionales para algunos sistemas y componentes como sistemas de seguridad, bombas, compresores, turbinas, etc. La definición de límites funcionales para equipos auxiliares es más complicada ya que no existe una práctica aceptada para estos; esto varía según el sector industrial, el ambiente, el contexto operativo, etc.

Es posible definir la función en cada nivel en la jerarquía técnica. Para el caso del análisis de RBM los niveles más utilizados son Sistema, Subsistema, Equipo, Componente o Elemento, tal y como se muestra en el Gráfico N°2.

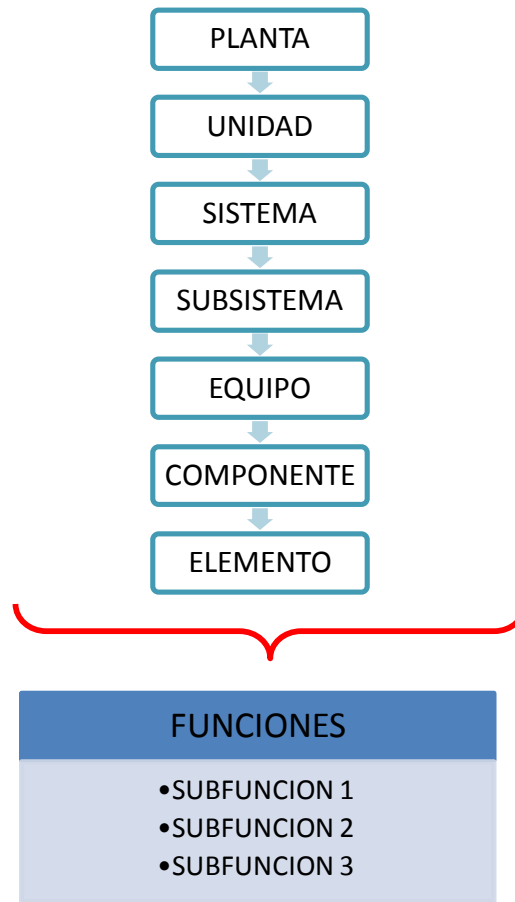


Gráfico N° 2: Niveles de Funciones de un Activo
Fuente: Fernández, S. (2007). Los Proyectos de Inversión. Evaluación Financiera.(165). Costa Rica: Editorial. Tecnología de Costa Rica

La elección de la jerarquía técnica y de las funciones es importante para conseguir un análisis satisfactorio del RBM. Si el grado de detalle es bajo (pocas funciones), entonces el número de modos de fallo por función será elevado y el programa de mantenimiento será difícil de manejar. Por el contrario, si el nivel de detalle es elevado (muchas funciones diferentes), entonces el esfuerzo necesario para desarrollar el análisis RBM será grande y el resultado del plan de inspección y mantenimiento será muy detallado.

Sub-funciones: Si un elemento o componente tiene más de una función, se le podrían asignar sub-funciones, Las sub-funciones pueden cubrir aspectos como:

- Integridad medioambiental
- Integridad estructural

- Seguridad
- Control / contenido
- Confort
- Protección
- Apariencia
- Economía/eficiencia

Cuadro N° 1: Desglose Funcional de una Bomba

	Función 1	Función 2
Función	Bompear	Transmitir
Elemento	Bomba	Eje de transmisión
Funcionamiento estándar	Bompear el medio desde la entrada hasta la salida	Transmitir potencia desde un punto A a un punto B
Nivel de funcionamiento	Mantiene a la salida una presión de X Bar	Proporciona un par en el punto B de X Nm/s
Sub funciones	Almacenamiento	Almacenar el medio dentro de la bomba (aspectos económicos, de seguridad, salud y medioambiente)

Fuente: Fernández, S. (2007). Los Proyectos de Inversión. Evaluación Financiera.(144).Costa Rica: Editorial. Tecnología de Costa Rica

4.4. PASO 3 : LISTAR LOS MODOS DE FALLO

Una vez que se ha establecido la jerarquía técnica y que las funciones de cada sistema, subsistema y componente han sido definidas, se deben identificar los modos de fallo.

Un modo de fallo es cualquier estado donde una función definida no puede desarrollar su rendimiento estándar esperado. Una misma función podría tener uno o varios modos de fallo. Si la jerarquía técnica y las funciones han sido bien elegidas resultará sencillo listar los modos de fallo.

El Cuadro N°1 ilustra la relación entre la jerarquía técnica y las funciones. Para fallos que presentan un alto riesgo puede resultar eficiente a nivel de costes, desarrollar un análisis de los mecanismos de fallo.

El modo de fallo más común considerado en el RBM, son las fugas externas. En este caso el análisis se hace basándose en los mecanismos de daño y en la causa raíz, los cuales son herramientas muy útiles para descubrir el lugar de la fuga.

Cuadro N° 2: Modos de fallo de una Bomba Transmisión

	Bomba	Transmisión
Modos de fallo	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo al arrancar • Fallo mientras está funcionando • Fuga externa • Vibración • Baja presión de salida • Fuga interna 	<ul style="list-style-type: none"> • Fallo de transmisión de potencia • Vibración

Fuente: MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (p.119). Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición

4.5. PASO 4: LISTAR LAS CAUSAS DE FALLO

Causas de fallo: Una causa de fallo es una razón potencial de un modo de fallo. En el análisis, para cada modo de fallo se deben listar todas las posibles causas de fallo.

El cuadro N°3 muestra como la causa del fallo se relaciona con los modos de fallo, las funciones y con la jerarquía técnica. La lista de causas de fallo puede estar asociada a modos de fallo incluidos en el programa de mantenimiento actual, a modos de fallo que se han observado en las instalaciones en el pasado o a modos de fallo que no han sido nunca observados en la planta.

Se debe tener en cuenta que los fallos más importantes son a menudo aquellos para los que no está preparada una organización.

La metodología RBM busca prever estos fallos. La lista de causas de fallo deberá incluir todas las causas probables para identificar los modos de fallo, incluyendo aspectos como desgaste o deterioro, impacto de los factores humanos, diseño, etc. Los factores humanos son muy importantes ya que la falta de preparación o incluso el desconocimiento son una fuente muy importante de fallos.

Cuadro N° 3: Desglose Funcional de una Bomba Eje de Transmisión

Bomba		Eje de transmisión	
Modos de Fallo	Causa del fallo	Modos de Fallo	Causa del fallo
Fallo al arrancar	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación defectuosa • Fallo de alimentación 	Fallo de transmisión de potencia	<ul style="list-style-type: none"> • Rotura del eje • Rotura de cojinetes • Rotura del acoplamiento
Fallo mientras está funcionando	<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueado por suciedad • Cuerpo extraño en el impelente • Rotura del impulsor o de una parte de él 	Vibración	<ul style="list-style-type: none"> • Desequilibrio • Fallo en los cojinetes • Fallo en el acoplamiento
Fuga externa	<ul style="list-style-type: none"> • Fuga en una brida • Fuga en el "stuffing box" o caja de empaquetadura • Ensamblaje o empaquetado incorrecto del "stuffing box" o caja de empaquetadura • Fuga en el sellado mecánico • Sellado presurizado 		

Fuente: MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (p.189). Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición

4.6. PASO 5 : LISTAR LOS POSIBLES MECANISMOS DE DAÑO

Mecanismos de daño: Un mecanismo de daño es una razón subyacente asociada a una causa de fallo. Si los mecanismos de daño asociados a una causa de fallo son conocidos, entonces esto simplifica la identificación de actividades efectivas para prevenir las causa de fallo y por tanto también para prevenir que ocurra el fallo.

El cuadro N°4 muestra la relación entre la jerarquía técnica y los mecanismos de daño.

Cuadro N° 4: Modos de Fallo y Causas de Fallo de una Bomba de Dirección

BOMBA DE DIRECCIÓN	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> • Ruidos excesivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en rodamiento • Falta de aceite de dirección • Aceite con otro grado de viscosidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del fluido 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en los sellos del labio
<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del aceite de dirección
<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste acelerado de dientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación del fluido • Intervalos de cambio de aceite de dirección inadecuados
<ul style="list-style-type: none"> • Cavitación 	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas obstruidas • Carga inadecuada de los acumuladores de dirección.
<ul style="list-style-type: none"> • Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo nivel de aceite • Obstrucción de enfriador de aceite
<ul style="list-style-type: none"> • Fuga externa 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala instalación de los sellos toricos

Fuente: MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (p.191). Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición

4.7. PASO 6: PRIORIZACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO E INSPECCIÓN

El RBM utiliza el riesgo, como la combinación de probabilidad y consecuencia de fallo, para priorizar las actividades de mantenimiento e inspección. La evaluación de

la probabilidad y las consecuencias del fallo se pueden combinar con el modelo “Bow tie” desarrollado por la compañía SHELL.

Dicho modelo se muestra en la Figura 70. El modelo “Bow tie” identifica mediante un árbol de fallos los posibles accidentes, circunstancias y eventos que conducen a un riesgo y mediante un árbol de eventos muestra las consecuencias y las áreas de daño a las que conducen los posibles eventos. Se considera un escenario, a los mecanismos de daño que conducen a un evento potencial con unas consecuencias (de seguridad, de salud, Medio ambientales o económicas). Se deben estudiar todos los escenarios realistas y estimar la probabilidad de ocurrencia de todos los eventos considerados. En esta sección trataremos la evaluación de la probabilidad de fallo, la evaluación de las consecuencias del fallo, el modelo “Bow-tie” y la elección de los diferentes escenarios. En las secciones subsecuentes se realizará una descripción detallada de cómo valorar la probabilidad y las consecuencias de fallo.

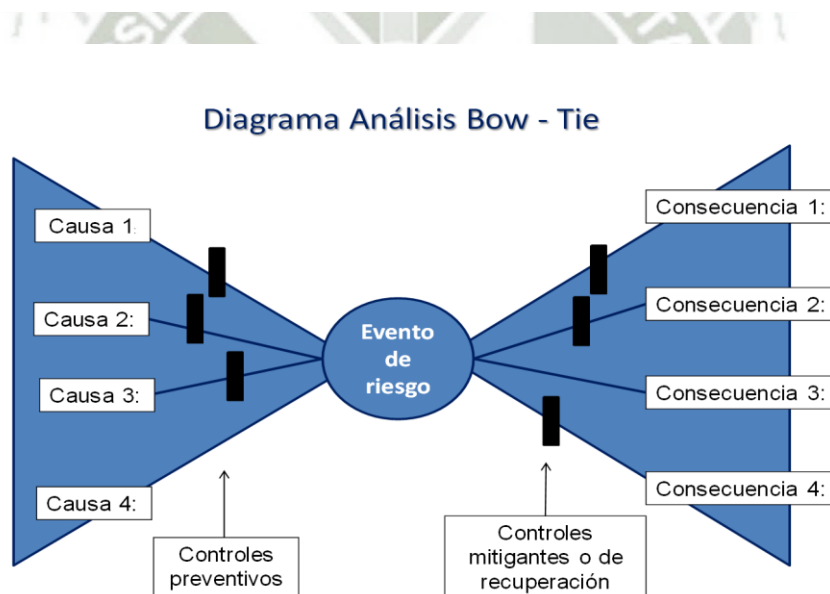


Figura N° 70: Modelo Bow-Tie

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.190). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

Análisis con árbol de fallos: El análisis mediante árbol de fallos o Fault Tree Análisis (FTA) se utiliza para describir como un mecanismo de degradación puede conducir a un modo de fallo. Esta técnica de análisis de riesgos ha sido tradicionalmente utilizada por instalaciones nucleares, aeronáuticas y espaciales, extendiéndose posteriormente su

empleo a la evaluación de riesgos de otras industrias como la química, electrónica, petroquímica, etc.

Se trata de un método deductivo de análisis que parte de la previa selección de un suceso o evento no deseado, sea éste un accidente de gran magnitud (explosión, fuga, derrame, etc.) o sea un suceso de menor importancia (fallo de un sistema de cierre, etc.) para averiguar en ambos casos los orígenes de los mismos. Seguidamente, de manera sistemática y lógica se representan las combinaciones de las situaciones que pueden dar lugar a la producción del evento no deseado, conformando niveles sucesivos de tal manera que cada suceso esté generado a partir de sucesos del nivel inferior, siendo el nexo de unión entre niveles la existencia de operadores lógicos (AND, OR, etc..).

El árbol se desarrolla en sus distintas ramas hasta alcanzar una serie de mecanismos de degradación básicos, los cuales no precisan de otros anteriores a ellos para ser explicados.

El árbol de fallos proporciona apoyo tanto durante la identificación de los mecanismos dominantes de degradación como durante la identificación de actividades para mitigar estos mecanismos.

Para ser eficaz, el árbol de fallos debe ser elaborado por personas profundamente conocedoras de la instalación o proceso a analizar y que a su vez conozcan el método y tengan experiencia en su aplicación, por lo que, si se precisa, se deberán constituir equipos de trabajo pluridisciplinarios (técnico de seguridad, ingeniero del proyecto, ingeniero de proceso, etc.).



Figura N° 71: Árbol y Eventos de Fallas

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.199). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

Asimismo, los árboles de fallos también se usan para evaluar la probabilidad de fallo en sistemas y componentes donde la probabilidad de fallo es una combinación de varios factores o eventos subyacentes.

Por tanto, la explotación de un árbol de fallos puede limitarse a un tratamiento cualitativo o extenderse hasta una cuantificación de probabilidades de ocurrencia del evento estudiado cuando existen fuentes de datos relativas a las tasas de fallo de los distintos componentes.

Análisis con árbol de sucesos

El análisis mediante árbol de sucesos o eventos o Event Tree Análisis (ETA) se utiliza para combinar varias consecuencias diferentes de un modo de fallo con una consecuencia típica o esperada. Por ejemplo, la consecuencia económica asociada a una fuga en un tanque, depende fuertemente del tamaño de la fuga, de si hay ignición, etc. El árbol de eventos se usa en este caso para determinar una consecuencia económica típica asociada a una fuga.

Esta técnica del árbol de sucesos, desarrolla un diagrama gráfico secuencial a partir de sucesos "iniciadores" o desencadenantes de incidencia significativa y por supuesto, indeseados, para averiguar todo lo que puede acontecer, y en especial, comprobar si las medidas preventivas existentes o previstas son suficientes para limitar o minimizar los efectos negativos. Evidentemente tal suficiencia vendrá determinada por el correspondiente análisis probabilístico que esta técnica también acomete.

El árbol de sucesos ha sido muy utilizado tradicionalmente en las industrias nuclear, aeronáutica y química.

El árbol de eventos se puede utilizar para analizar las consecuencias de un fallo o como apoyo al análisis de expertos. El nivel de detalle introducido en un árbol de eventos depende del nivel de riesgo que se quiera estudiar.

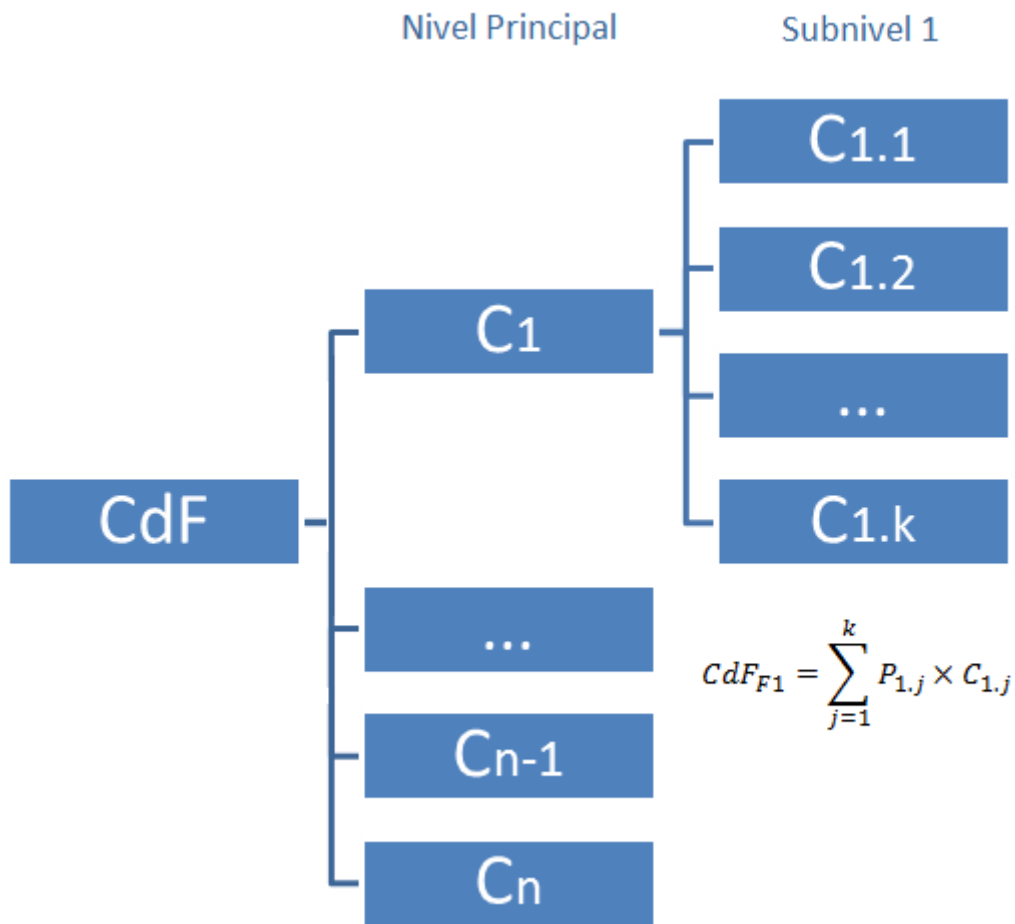


Figura N° 72: Árbol de Eventos de Modos de Fallos según Niveles
Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM).
 (p.201). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

Para equipos estáticos se pueden encontrar en la literatura ejemplos de árboles e inputs estadísticos. Asimismo, existen numerosas herramientas informáticas para determinar las consecuencias de fallo. El proceso de desarrollo general de los árboles de sucesos consta de las siguientes etapas:

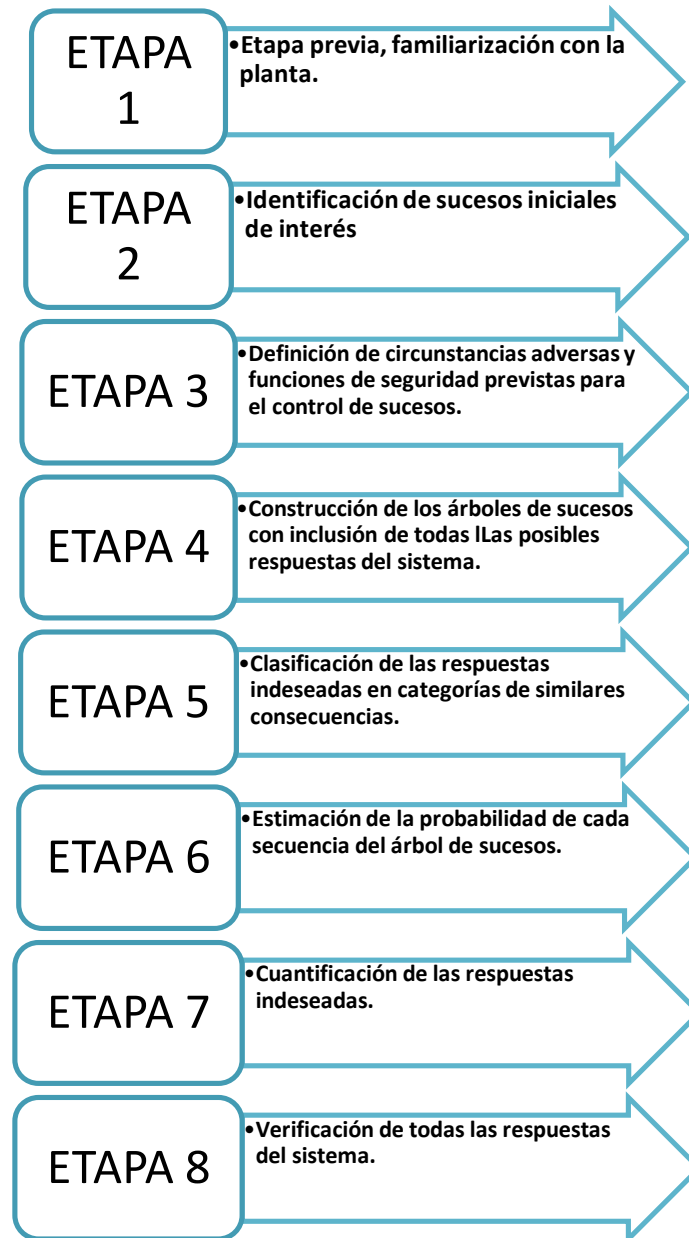


Figura N° 73: Etapas de los árboles de sucesos

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.211). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

El RBM utiliza el riesgo, como la combinación de probabilidad y consecuencia de fallo, para priorizar las actividades de mantenimiento e inspección. La evaluación de la probabilidad y las consecuencias del fallo se pueden combinar con el modelo “Bow tie”.

El modelo “Bow tie” identifica mediante un árbol de fallos los posibles accidentes, circunstancias y eventos que conducen a un riesgo y mediante un árbol de eventos muestra las consecuencias y las áreas de daño a las que conducen los posibles eventos.

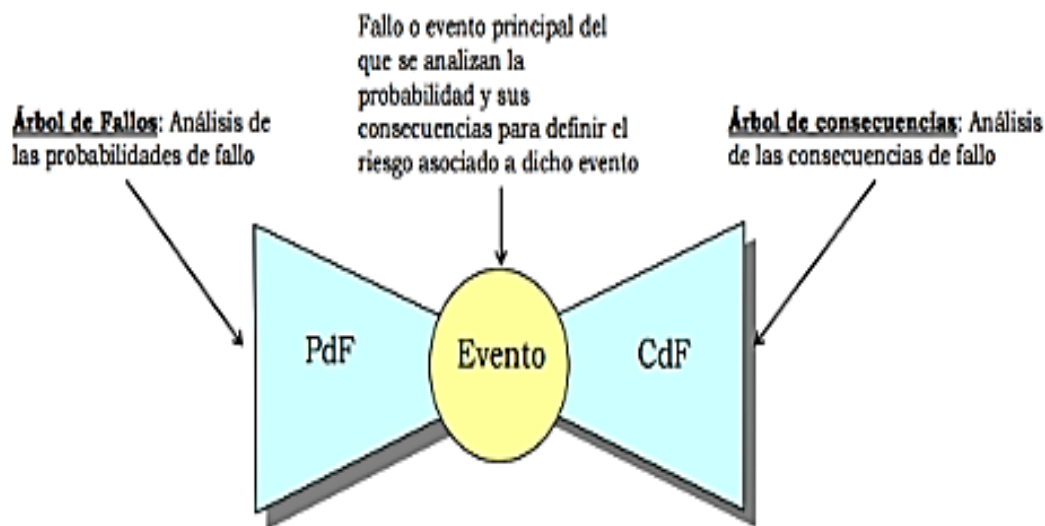


Figura N° 74: Evento PdF y CdF

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.222). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

4.9. PASO 7: ANÁLISIS DE LOS ESCENARIOS

Escenario creíble y escenario del caso peor

Supongamos que el modelo “Bow-tie” se ha desarrollado para un modo de fallo, es decir, que el árbol de fallos y el árbol de sucesos ha sido dibujado.

Entonces se pueden definir los diferentes escenarios para el correspondiente modo de fallo, trazando diferentes rutas desde la causa raíz/mecanismo de daño hasta la consecuencia en el modelo “Bow-tie”.

Se pueden definir diferentes tipos de escenarios basados en cómo se combinan la causa raíz/mecanismos de degradación con las consecuencias.

Escenario creíble peor: Combina un mecanismo de daño/causa raíz dado con la consecuencia más severa a la que el mecanismo de daño podría conducir.

Escenario esperado: Combina el mecanismo de daño/causa raíz con la consecuencia esperada o más típica a la que el mecanismo de daño podría conducir.

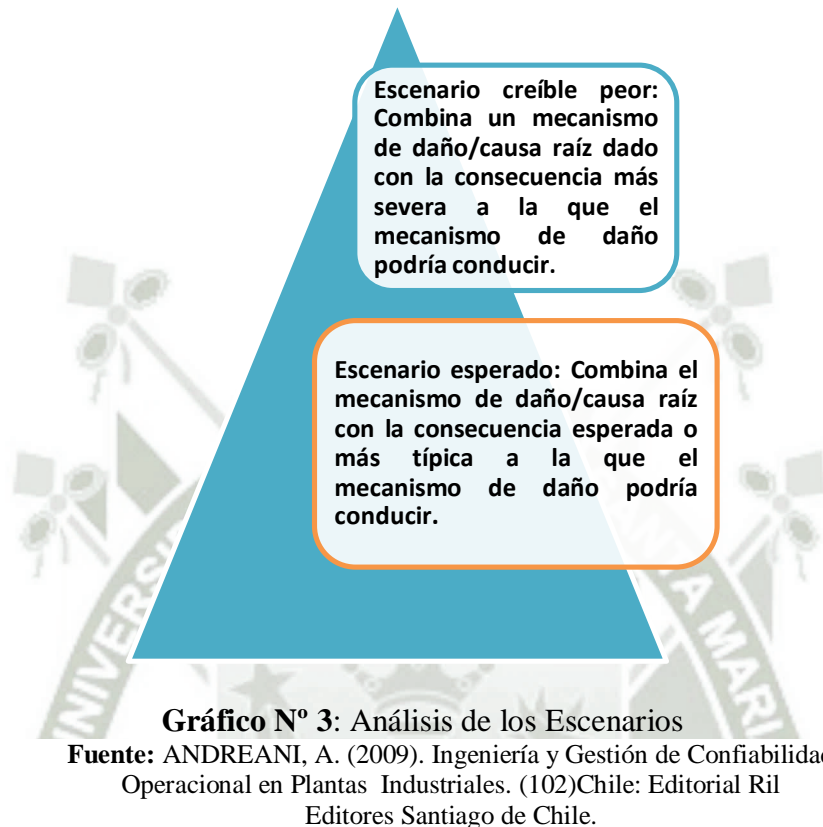


Gráfico N° 3: Análisis de los Escenarios

Fuente: ANDREANI, A. (2009). Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. (102)Chile: Editorial Ril Editores Santiago de Chile.

4.10. PASO 8 : OBTENER LA PROBABILIDAD DE FALLO

En la primera parte de este caso de aplicación se mostraba como desarrollar la jerarquía técnica para una planta y como identificar las funciones, los modos de fallo, las causas de fallo y las causas raíz. Una vez se hayan identificado los modos de fallo (para los componentes activos) y los mecanismos creíbles de degradación para los componentes estáticos, el siguiente paso en la evaluación del riesgo es determinar la Probabilidad de Fallo (PdF).

La probabilidad de fallo se define como la probabilidad de que ocurra el modo de fallo (de acuerdo con el modo de fallo dado) en un intervalo de tiempo definido T.

Se pueden utilizar varios métodos para calcular la PdF:

1. **Enfoque analítico:** Consiste en estimar la PdF utilizando modelos matemáticos y/o datos estadísticos para los procesos de degradación.
2. **Solicitud experta:** Consiste en dejar al equipo de expertos en RBM (compuesto por personal clave de la planta con conocimiento experto de los equipos) evaluar la PdF.

Tasa de Fallos. Mecanismos de Degradación

Durante la planificación de la inspección y el mantenimiento es importante considerar como la PdF varía en función del tiempo.

Podemos utilizar la tasa de fallos para definir este concepto.

Antes de definir la tasa de fallos, hagamos un repaso a los conceptos básicos de fiabilidad:

Llamaremos T a la variable aleatoria continua que describe los tiempos de fallo de un determinado componente.

T = Tiempo transcurrido hasta que se produce el fallo.

Función de Densidad de Probabilidad (F.D.P) f(t): La función de densidad representa la probabilidad de que el componente falle en el instante de tiempo t. Esta representado por

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

Función de Falla F(t). La función de distribución representa la probabilidad de que el componente falle en el periodo de tiempo comprendido entre 0 y t.

La Función de Fiabilidad R(t) o Función de Supervivencia S(t), es la complementaria de la Función de Distribución de T y determina la probabilidad de que el componente “sobreviva” hasta el instante de tiempo t, o lo que es lo mismo la proporción de dispositivos iniciales que seguirán funcionando correctamente en el instante t.

Se llama vida media o tiempo medio hasta el fallo (Mean Time To Failure o MTTF) de un dispositivo a la esperanza de la variable aleatoria T.

La Tasa de Fallos o Tasa de Riesgo $h(t)$: Se define como la probabilidad que tiene un componente de fallar en el instante siguiente al dado $(t+\Delta t)$, si éste ha sobrevivido desde el instante 0 hasta el tiempo t .

Es una medida de lo propenso que resulta un componente a fallar en función de su edad.

La tasa de fallos se puede obtener a partir de otras distribuciones estadísticas de tiempo hasta el fallo, como la función de fiabilidad o la función de supervivencia vista anteriormente.

Modelado de la Tasa de Fallos

Los modelos estadísticos que más comúnmente se utilizan para modelar el tiempo transcurrido hasta el primer fallo (tasa de fallos vistas en el apartado anterior) son:

- Distribución Exponencial
- Distribución de Weibull
- Modelos basados en la tasa de degradación (Modelos físicos)

Distribución Exponencial: se utiliza para modelar el tiempo transcurrido entre dos sucesos aleatorios no muy frecuentes cuando la tasa de ocurrencia, λ , se supone constante.

En fiabilidad se usa para describir los tiempos de fallo de un dispositivo durante su vida útil, cuando a lo largo de ésta la tasa de fallos es (aproximadamente) constante.

$$R(t) = e^{-\lambda t} ; \quad h(t) = Z(t) = \lambda = \text{cte.}$$

Una tasa de fallos constante significa que, para un dispositivo que no haya fallado con anterioridad, la probabilidad de fallar en el siguiente intervalo infinitesimal es independiente de la edad del dispositivo. Por tanto, las etapas de vida útil de los patrones de tasas fallos vistos con anterioridad que presenten un $h(t) = \text{cte.}$ se pueden ajustar a una distribución exponencial.

La tasa de fallos λ es el parámetro que caracteriza a esta distribución.

Este valor es la inversa del tiempo medio que transcurre hasta el fallo (o entre dos fallos consecutivos, MTBF, si el dispositivo sigue funcionando):

$$\text{MTBF} = 1/\lambda = /h(t)$$

Distribución de Weibull:

Se ha comentado anteriormente que la distribución exponencial se utiliza a menudo para modelar los tiempos de fallo cuando la tasa de riesgo ($h(t)$) es constante. Si, por el contrario, la probabilidad de fallo varía con el tiempo, resulta más apropiada una Weibull (de hecho la exponencial puede verse como un caso particular de la Weibull).

La distribución de Weibull nos permite estudiar, cuál es la distribución de fallos de un componente clave de seguridad que pretendemos controlar, y que a través de nuestro registro observamos que los fallos varían a lo largo del tiempo, y dentro de lo que se considera tiempo normal de uso.

El método no determina cuáles son las variables que influyen en la tasa de fallos, tarea que quedará en manos del analista, pero al menos la distribución de Weibull facilitará la identificación de aquellos y su consideración, aparte de disponer de una herramienta de predicción de comportamientos.

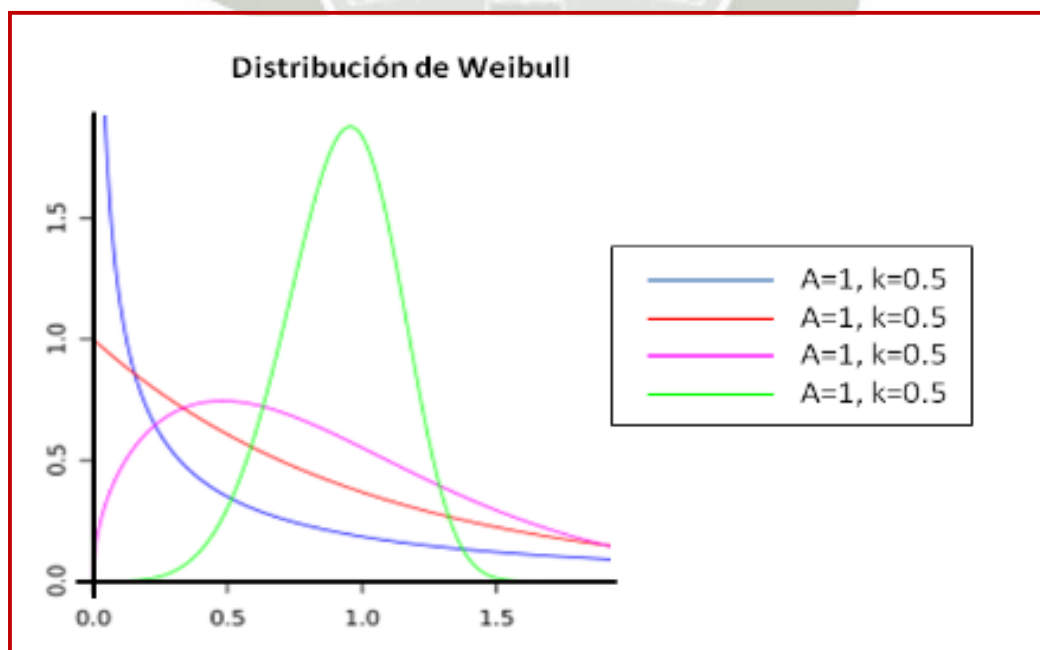


Figura N° 75: Función Densidad de Probabilidad Weibull

Fuente: ANDREANI, A. (2009). Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. (122)Chile: Editorial Ril Editores Santiago de Chile.

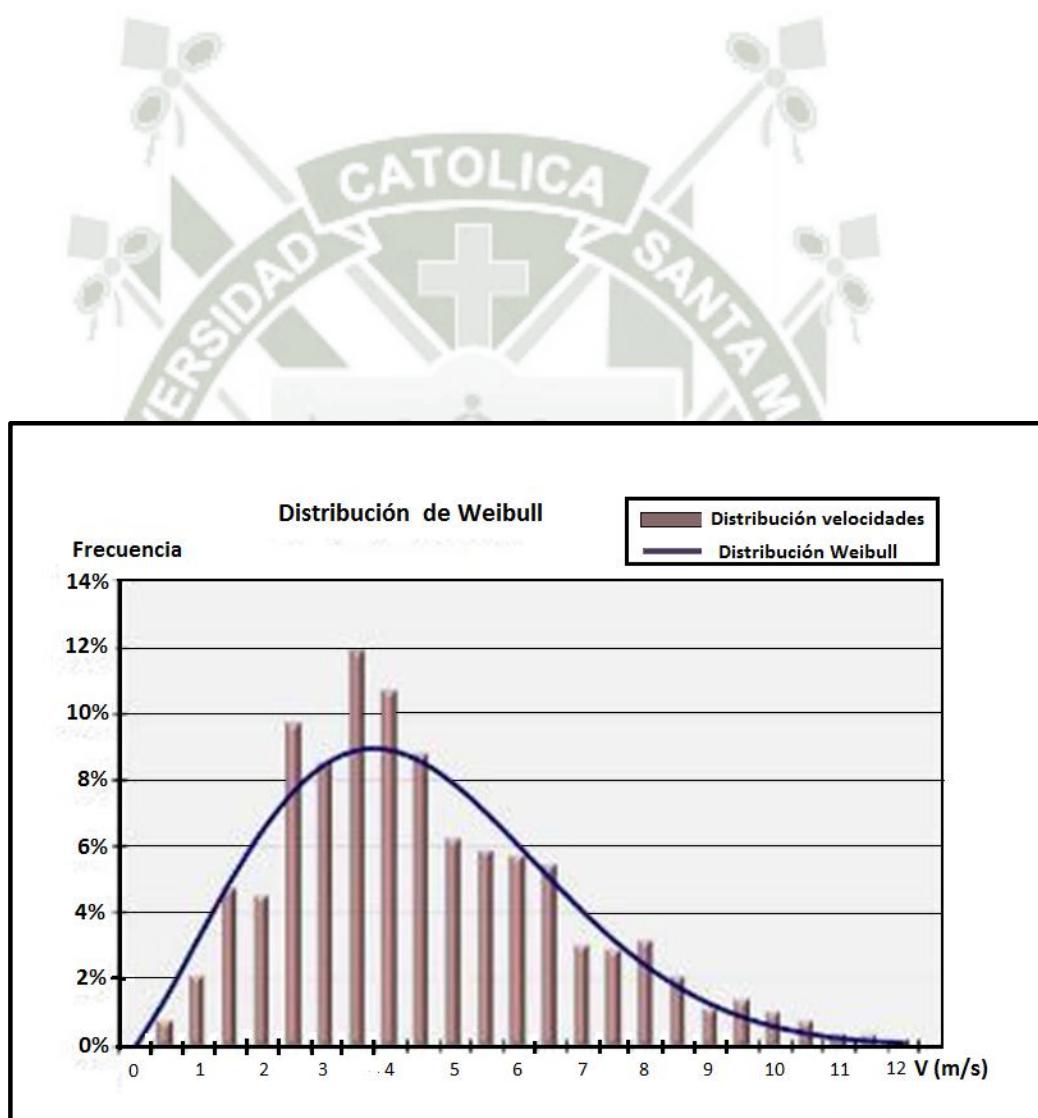


Figura N° 76: Distribución Weibull

Fuente: ANDREANI, A. (2009). Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. (123)Chile: Editorial Ril Editores Santiago de Chile.

Esta metodología es útil para aquellas empresas que desarrollan programas de mantenimiento preventivo de sus instalaciones.

La distribución Weibull es tan flexible que, eligiendo adecuadamente sus parámetros, permite describir las tres etapas de la función tasa de fallos (curva de la bañera). Esta distribución viene caracterizada por la función densidad de probabilidad como se muestra:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}; \quad R(t) = e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta}$$

Distribución Log normal: La F.D.P. de una distribución normal es no nula en todo el eje real (y no sólo en el semieje positivo). Por este motivo, el uso de la normal implicaría, que el fallo puede producirse antes del instante de tiempo $t=0$.

Para evitar esta inconveniencia que presenta la distribución normal, se puede utilizar en su lugar la distribución Log-normal.

Se dice que una variable aleatoria T sigue una distribución Log normal (de base e), de parámetros γ (localización) y α (escala), cuando su logaritmo neperiano $Y = \text{Log}(T)$ se distribuye de forma normal con media γ y desviación típica α .

Inversamente, dada una variable aleatoria $Y \approx N(\mu, \sigma)$, la variable aleatoria

$T = e^Y$ seguirá una distribución Log normal (base e) de parámetros $\gamma = \mu$ (localización) y $\alpha = \sigma$ (escala), cuya f.d.p. será:

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(\ln t - \mu)^2}{2\sigma^2}\right]}$$

La distribución log normal tiene principalmente las siguientes aplicaciones:

1. Representa la evolución con el tiempo de la tasa de fallos, $h(t)$, en la primera fase de vida de un componente, la correspondiente a los fallos infantiles en la "curva de la bañera"
2. Permite fijar tiempos de reparación de componentes.
3. Describe la dispersión de las tasas de fallo de componentes, ocasionada por diferente origen de los datos, distintas condiciones de operación, entorno, bancos de datos diferentes, etc.

4.11. PASO 9: EVALUACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLO

La metodología del RBM debe combinar la evaluación el riesgo para equipos estáticos y dinámicos, por tanto el riesgo debe ser medido de la misma forma para todos los equipos ya sean estáticos o dinámicos.

La probabilidad de fallos se define como la probabilidad de que ocurra un fallo en el período de tiempo definido por el análisis función de distribución:

$$PdF_T = F(T) = P(f < T) = \text{Probabilidad de que el equipo falle antes del instante T}$$

Representa la evolución con el tiempo de la tasa de fallos, $h(t)$

Permite fijar tiempos de reparación de componentes.

Describe la dispersión de las tasas de fallo de componentes, ocasionada por diferente origen de los datos, distintas condiciones de operación,

Gráfico N° 4: Evaluación Probabilidad de Fallo

Fuente: MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. (p.185). Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición

4.12. PASO 10: EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS DE FALLO

La valoración de las consecuencias de fallo (CdF) tiene como objetivo principal evaluar el impacto de los modos de fallo.

Si la ocurrencia de un fallo tiene consecuencias importantes, se realizarán esfuerzos muy considerables para eliminar o minimizar dichas consecuencias. Esto es especialmente importante en el caso de que el fallo pueda herir o matar a alguien o incluso si puede provocar efectos serios en el medio ambiente.

Ocurre lo mismo con fallos que interfieren en la producción o que pueden causar daños secundarios.

Por otro lado, si el fallo únicamente tiene unas consecuencias menores, puede ser que no se realice ninguna acción proactiva y simplemente se corrija el fallo cada vez que ocurre.

Para el desarrollo de esta metodología, vamos a dividir las consecuencias de fallo en cuatro categorías de acuerdo con el efecto del fallo:

- **Consecuencias en la seguridad.** Consecuencias instantáneas en personas, fuera o dentro del área de la planta.
- **Consecuencias en la salud.** Consecuencias a largo plazo en personas, fuera o dentro del área de la planta.
- **Consecuencias en el negocio.** Impacto económico que ocasiona el fallo. Pueden ser costes directos como interrupción de la producción, horas hombre requeridas para la producción, piezas de repuesto, etc. o costes indirectos.
- **Consecuencias medioambientales.** Consecuencias ecológicas locales o globales.

Consecuencias en la Seguridad

Un modo de fallo presenta consecuencias en la seguridad cuando provoca una pérdida de funcionalidad u otra circunstancia que pueda herir o matar a alguien.

Existe un sentimiento creciente entre los trabajadores, dirigentes, clientes y entre toda la sociedad en general, de que la muerte o la lesión de alguna persona debido a una actividad

industrial no es tolerable. Por tanto, se debe hacer todo lo posible para eliminar cualquier accidente que provoque consecuencias en la seguridad de la personas.

En el caso del medio ambiente nos encontramos ante la misma situación. El análisis de consecuencias en la seguridad debe estudiar los diferentes tipos de accidentes potenciales en establecimientos industriales que pueden producir fenómenos peligrosos para las personas.

Los accidentes potenciales se seleccionan a partir de un análisis e identificación de riesgos. Podemos clasificarlos en los siguientes:

- Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: líquidos o gases en depósitos y conducciones.
- Evaporación de líquidos derramados.
- Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles.
- Incendios de charco o "pool fire".
- Dardos de fuego o "jet fire".

Salud

Para la evaluación de las consecuencias en la salud, no existe un modelo similar al presentado en el caso del análisis de seguridad. Si se desarrollara un modelo similar al utilizado en el caso de la seguridad, se deberían identificar los aspectos que afectan a la salud y trasladarlos a un "índice de salud" que represente los efectos que un evento provocaría en la salud de las personas a largo plazo. Factores a tener en cuenta podrían ser el tamaño del escape, el tiempo de exposición y el área afectada.

Consecuencias Medioambientales

No existe un modelo aceptado para evaluar las consecuencias medioambientales como en el caso de las consecuencias de seguridad.

Un modelo para la evaluación de las consecuencias medioambientales que provoca un evento debería tener en cuenta:

- Los efectos a largo plazo de las emisiones

- Características de la sustancia emitida (Se dispone de una clasificación de sustancias)
- Cantidad de sustancia (masa) liberada
- Tiempo de exposición
- Posibilidad de mediación
- Área afectada
- Tiempo de descomposición de la sustancia en el ambiente

Las consecuencias medioambientales se pueden analizar considerando los costes asociados las emisiones: costes por multas y correcciones. Las multas se pueden considerar como el coste del daño medioambiental que la sociedad define.

Las emisiones podrían también tener graves consecuencias de marketing, las cuales también deben ser incluidas en la evaluación de las consecuencias medioambientales.

En un árbol de decisión utilizado para determinar las consecuencias medioambientales. En este modelo se incluyen los siguientes costes:

Penalización. Depende de la legislación y su aplicación

Publicidad. Depende del tamaño del incidente, del tipo de incidente, de los efectos visibles, la preocupación posterior, etc.

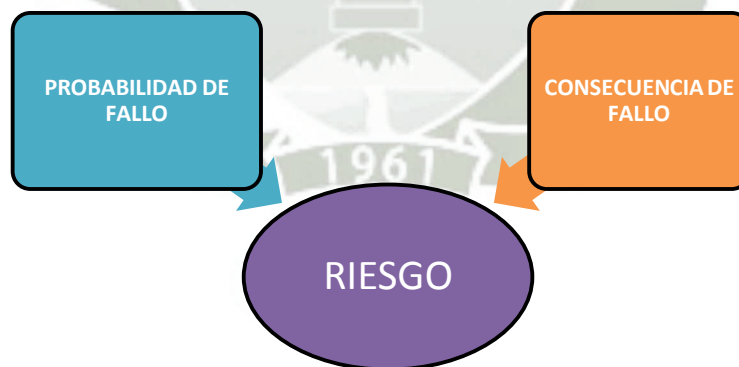


Gráfico N° 5: Secuencia Evaluación de Consecuencia de Fallo

Fuente: ACUÑA, J. A. (2003). Ingeniería de Confiabilidad.(101). Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Costes de reparación:

Salud: Cuidado de la salud de los afectados, corrección de los agentes contaminantes del área.

Tierra: Eliminación de la tierra contaminada, utilización de técnicas “in-situ”, aislamiento de la tierra contaminada.

Aguas subterráneas: Eliminación o limpieza de aguas subterráneas contaminadas, eliminación de tierra, implementación e técnicas in-situ, aislamiento de tierras contaminadas.

La escala de severidad permite clasificar los fallos según sus consecuencias (desde las que no tienen ninguna consecuencia más que su reparación, a las que tienen consecuencias catastróficas). Esta escala tiene en cuenta las consecuencias de los fallos sobre cuatro aspectos fundamentales:

- Consecuencias en la Seguridad
- Consecuencias en la Salud
- Consecuencias en el Medio Ambiente
- Consecuencias económicas

OBJETIVOS DE LA MATRIZ DE RIESGOS:

La matriz de riesgos se utiliza para identificar en la fase de evaluación los equipos de alto riesgo y realizar una evaluación detallada de los programas de inspección y mantenimiento. A partir de ella se puede:

- Obtener valoraciones de riesgo para las principales funciones y modos de fallo. (Este es un método muy útil para documentar los riesgos identificados).
- Identificar los equipos más críticos, sobre los cuales, se deberán tomar acciones de reducción de riesgos.
- Determinar programas formativos que deben realizar los empleados.
- Evaluar los programas actuales de inspección y mantenimiento y sugerir la implantación de nuevos programas.

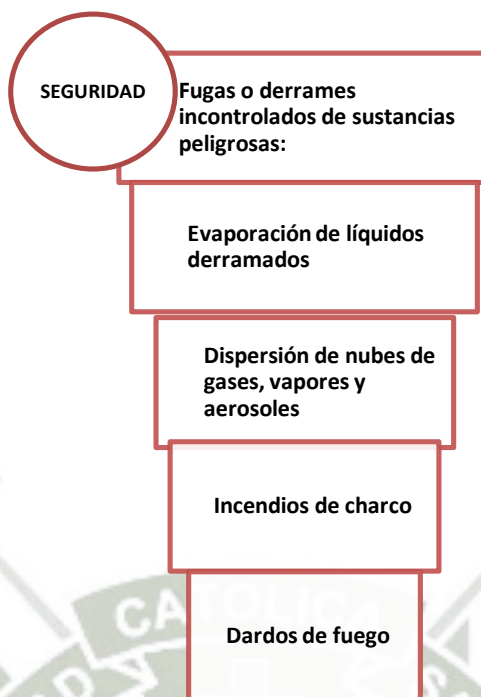


Gráfico N° 6: Secuencia de la Matriz de Riesgos

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.89). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

		CONSECUENCIAS					
		VALORACION	A	B	C	D	E
PROBABILIDAD	MUY ALTA						
	ALTA						
	MODERADA						
	BAJA						
	MUY BAJA						

Figura N° 77: Matriz de Riesgos

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.123). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

4.13. PASO 11: REDACTAR ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO Y REDUCCIÓN DE RIESGOS

Un objetivo fundamental del RBM es la identificación de actividades que reduzcan los niveles de riesgo. La reducción del riesgo se consigue mediante:

- Reducción de la probabilidad del fallo (1).
- Reducción de las consecuencias del fallo (2).
- Una combinación de ambas (3).

Las actividades de mantenimiento e inspección influyen fundamentalmente en la probabilidad de fallo. Sin embargo, conseguir modificar las consecuencias del fallo normalmente implica realizar cambios de diseño, lo cual no se consigue fácilmente en la fase operacional.

Las actividades de reducción de riesgos se basan en encontrar tareas de prevención o rediseño que desplacen los fallos correspondientes a la zona “H” de la matriz, hacia la zona “S” o “M” (reduciendo así, su severidad o su probabilidad).

Asimismo, se puede plantear reducir el gasto en las tareas correspondientes a fallos de la zona “L”, tratando de llevarlas a la zona “M” (estamos dispuestos a aceptar una probabilidad y/o un riesgo mayor).

El marco de decisión, a la hora de reducir riesgos debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Oportunidad para eliminar causas de fallo
- Riesgo del personal durante la ejecución de las actividades de inspección y mantenimiento
- Riesgo de introducir nuevas causas de fallo.

La experiencia en la industria petroquímica demuestra que eliminando las causas de fallo, se puede mejorar considerablemente el rendimiento de la planta. Las razones de esto, es que si se consigue erradicar las causas de fallo también eliminamos el correspondiente fallo lo que lleva a aumentar el tiempo de disponibilidad de la planta y a disminuir el mantenimiento. De esta forma las actividades restantes de mantenimiento se pueden

realizar de manera más eficiente y se puede aumentar la proporción de actividades de mantenimiento programado.

Si no se puede sustituir una actividad de mantenimiento por técnicas de monitorización, se pueden tomar medidas organizativas como la formación con el fin de reducir los riesgos del personal durante el mantenimiento y los riesgos de introducir fallos durante el mantenimiento.

Hemos visto anteriormente que a partir de los resultados obtenidos en la matriz de riesgo, podemos definir diferentes estrategias de mantenimiento, dependiendo de la criticidad del componente o equipo.

A continuación se listan las diferentes estrategias que se pueden tomar:

- Mantenimiento rutinario
- Prueba/Inspección regular de funcionamiento (elementos stand-by)
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo y basado en condición

CAPITULO V

IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO AL SISTEMA POWER SHIFT CAMIÓN MINERO CAT 797F

5.1. INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Perú las empresas mineras dedicadas a la extracción de minerales específicamente concentrados de cobre y molibdeno, cuentan con una diversidad de máquinas y equipos donde cada una cumple sus funciones respectivas para la obtención integral del producto final o parcial.

Para la implementación del mantenimiento basado en el riesgo hemos seleccionado el sistema de transmisión por ser uno de los más relevantes en el volquete minero CAT modelo 797F y además debemos resaltar que este tipo de activo su importancia radica en el acarreo de material en bruto, para después el material será procesado en una serie de pasos

El detalle se presenta a continuación:

Cuadro N° 5: Empresas Mineras que cuentan con el Camión Minero CAT Modelo 797F

Ítem	Nombre del Centro Minero	Ubicación	Extracción
1	Antamina	Región Ancash	Tajo abierto concentrados cobre
2	Toromocho	Región Junín	Tajo abierto concentrados cobre
3	Antapaccay	Región Cuzco	Tajo abierto concentrados cobre
4	Cuajone	Región Moquegua	Tajo abierto concentrados cobre
5	Toquepala	Región Tacna	Tajo abierto concentrados cobre

Fuente: Ferreyros S.A. Soporte Técnico Minería (2016)

Luego especificamos en el siguiente Cuadro N°6, la cantidad de camiones mineros CAT modelo 797F que operan en cada uno de los centros mineros principales de nuestro País, así como otros indicadores de redundancia fundamental.

Cuadro N° 6: Relación de Camiones Mineros CAT Modelo 797F en los Centros Mineros de País

Ítem	Centro Minero	Modelo	Marca	Cantidad	Disponibilidad promedio	Criticidad	Total Lote
1	Antamina	797F	CAT	1	90%	1	117
2	Toromocho	797F	CAT	28	88%	1	28
3	Antapaccay	797F	CAT	19	88%	1	54
4	Cuajone	797F	CAT	18	92%	1	61
5	Toquepala	797F	CAT	20	92%	1	87

Fuente: Ferreyros S.A. Soporte Técnico Minería (2016)

5.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO BASADO EN EL RIESGO AL SISTEMA POWER SHIFT DEL CAMIÓN MINERO CAT MODELO 797

Se desarrollan los siguientes pasos:

5.2.1. Paso 1: Jerarquía de planta

Este es un prerequisite para una valoración eficiente del riesgo y para la planificación del mantenimiento y la inspección, ya que la mina se encuentra dividida en secciones controlables.

Asignar funciones y sub-funciones a los elementos físicos de la mina simplifica la identificación de los modos de fallo. Una vez identificados, los modos de fallo se utilizan posteriormente para encontrar las causas de fallo, las causas raíz y los mecanismos de daño.

5.2.2. Paso 2: Realizar un desglose funcional

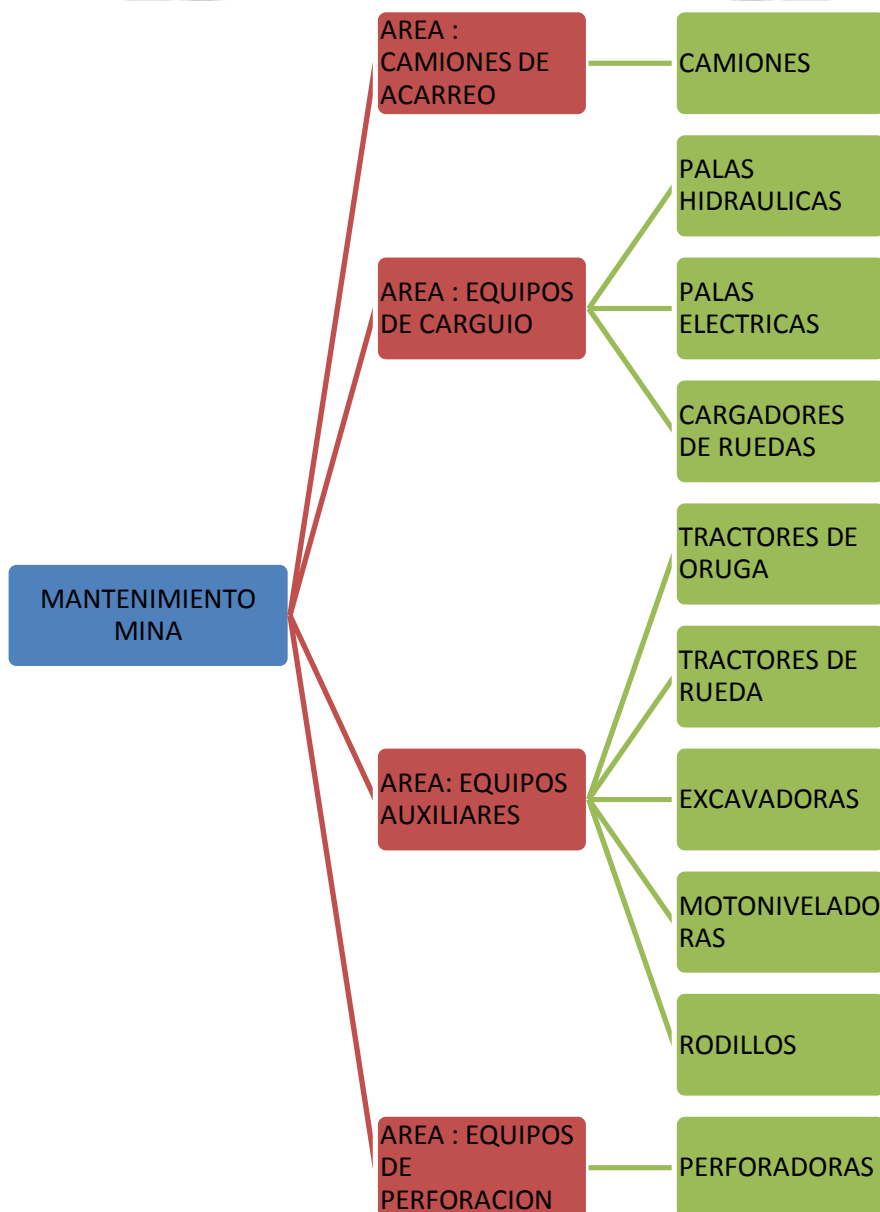
Este paso se refiere a definir una jerarquía técnica para los equipos de la mina. La jerarquía técnica es un desglose jerárquico de la planta.

El siguiente paso será definir las funciones de cada uno de los elementos

Dentro de la jerarquía establecida.

Gráfico N° 7: Distribución Mantenimiento Mina las Áreas de los Equipos

Fuente: Elaboración propia



Dentro de la diversidad de equipos con los que cuentan las empresa mineras se decide aplicar la metodología de mantenimiento basado en el riesgo a los camiones de acarreo Caterpillar modelo 797F , por considerarse un equipo de criticidad 1, a sus costos de mantenimiento y disponibilidad histórica.

Se detalla el Cuadro N°6 el histórico de la disponibilidad en los últimos 12 meses referente a la flota de camiones camión 797F.

A continuación se desarrolla un desglose funcional de sistemas, componentes y partes principales del camión de acarreo Gráfico N°8. Dichos sistemas, subsistemas, componentes y partes serán analizados al detalle posteriormente.

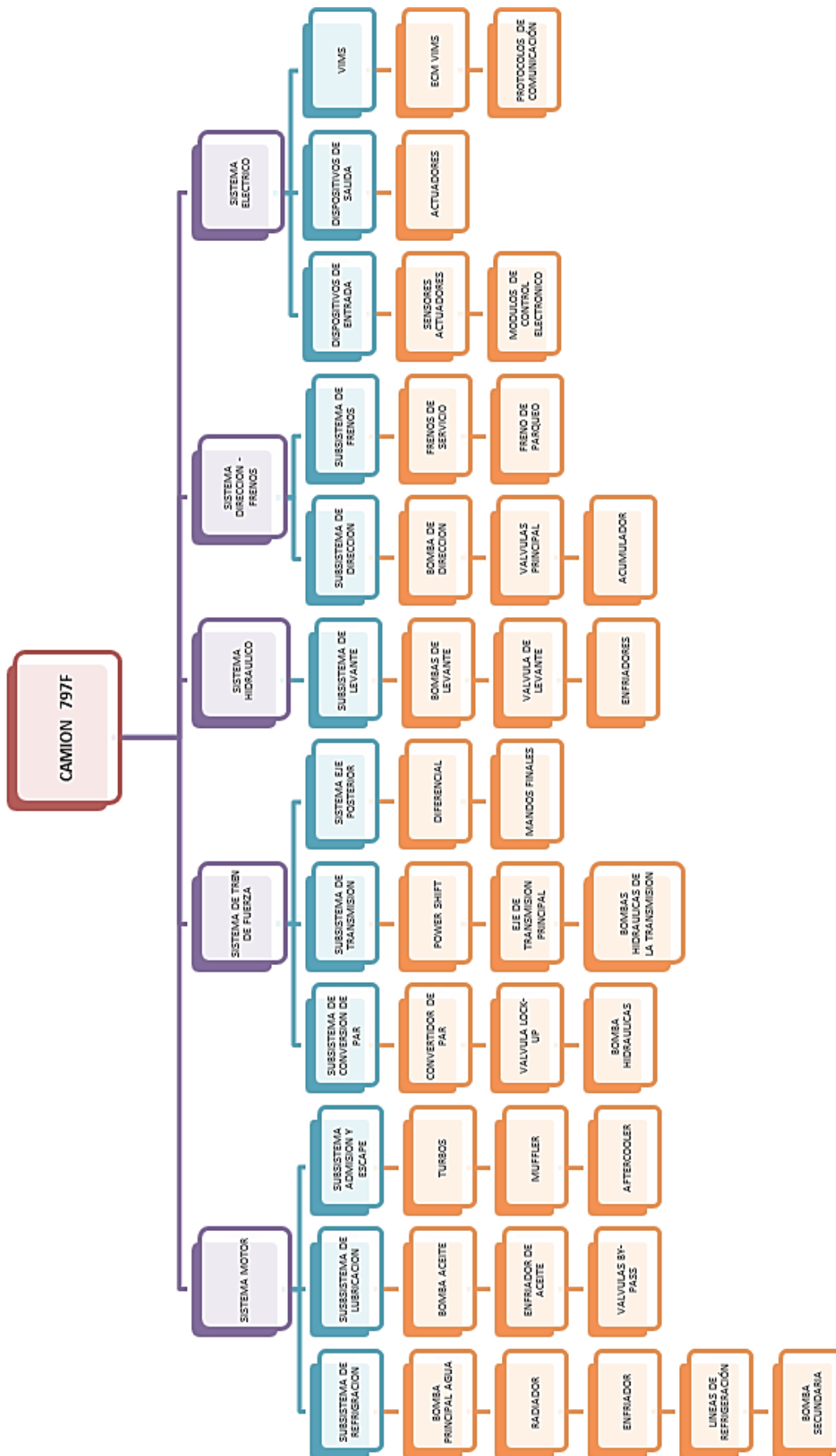
Los componentes del sistema power shift o transmisión son los siguientes:

1. Eje principal de la transmisión.
2. Tren de engranajes delantero de la transmisión.
3. Tren de engranajes posterior de la transmisión.
4. Bomba hidráulica de carga de la transmisión.
5. Bomba de lubricación de la transmisión.
6. Platos y discos de la transmisión.
7. Control electrónico ECM de la transmisión.
8. Bomba hidráulica de barrido de la transmisión.
9. Control de válvulas proporcionales de la transmisión.
10. Filtrado de la transmisión.

Partes secundarias:

1. Sensores de velocidad de entrada
2. Sensores de presión y lubricación.
3. Sensores de velocidad intermedia.
4. Sensor de temperatura de aceite.
5. Sensor de velocidad de salida.
6. Screen de la transmisión.

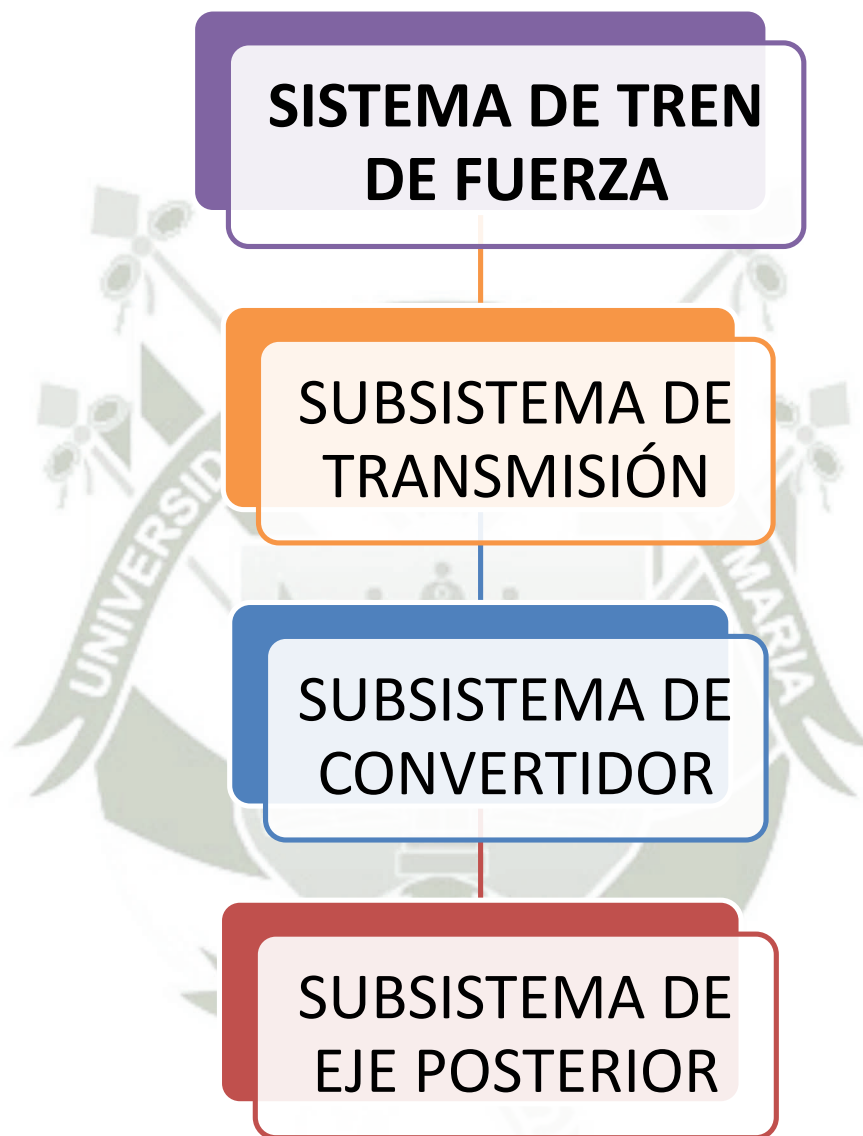
Gráfico N° 8: Desglose Funcional de Sistemas y Componentes del Camión Minero CAT 797F



Fuente: Elaboración propia

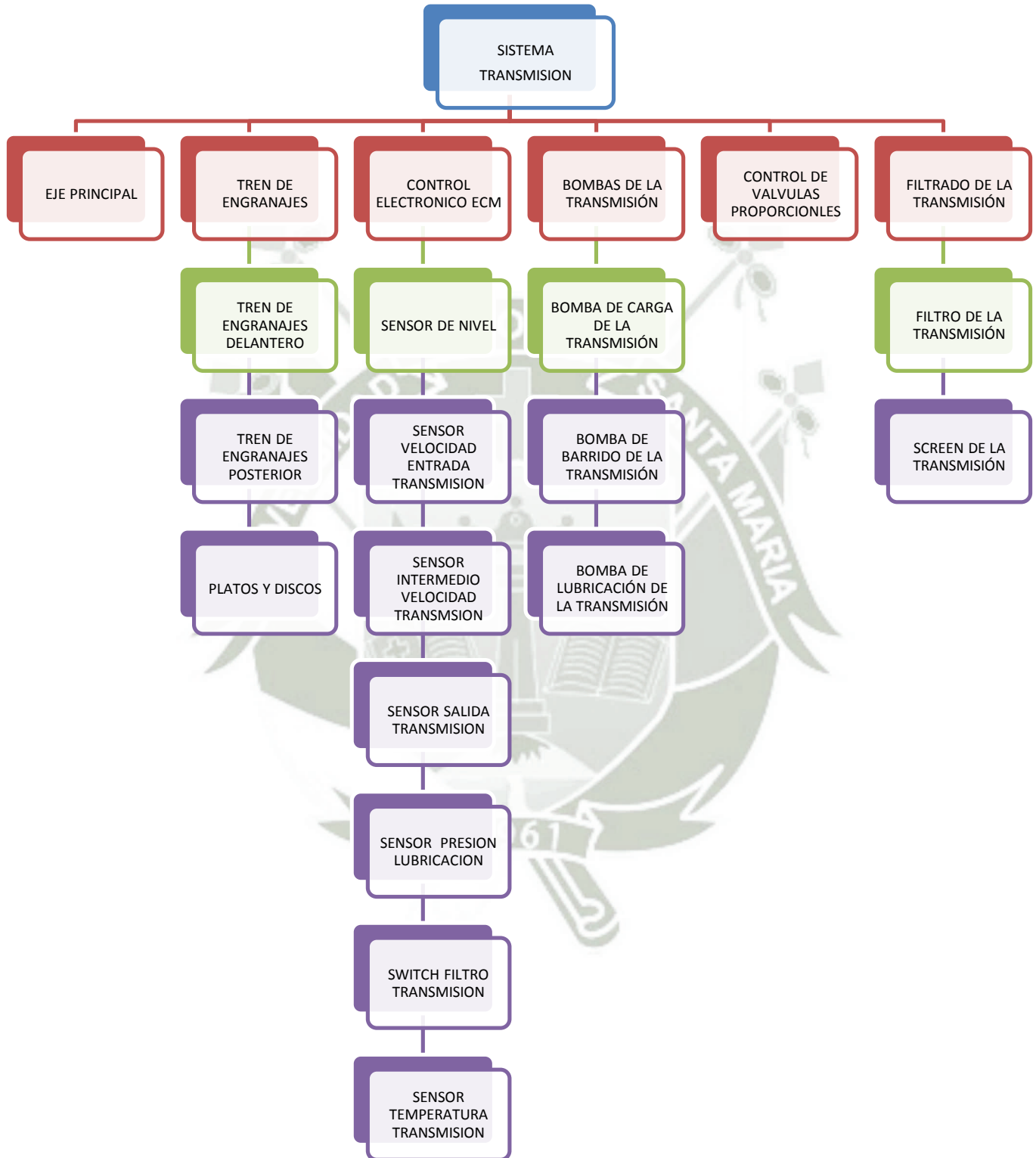
Para la evaluación del Mantenimiento Basado en el Riesgo en el siguiente Gráfico N°8 se indica los componentes del sistema del tren de fuerza.

Gráfico N° 9: Componentes Sistema Tren de Fuerza Camión Minero CAT 797F



Fuente: Elaboracion propia

Gráfico N° 10: Componentes y partes de la transmisión camión
Minero CAT Modelo 797F



Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso será definir las funciones de cada uno de componentes principales dentro de la jerarquía establecida del sistema de la transmisión Power Shift.

Cuadro N° 7: Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F

SISTEMA: POWER SHIFT			
COMPONENTE	EJE PRINCIPAL DE LA TRANSMISIÓN	TREN DE ENGRANAJES DELANTERO DE LA TRANSMISION	TREN DE ENGRANAJES POSTERIOR DE LA TRANSMISION
FUNCION	Transmisión de potencia.	Trasladar el movimiento mediante el conjunto de engranajes planetarios.	Trasladar el movimiento mediante el conjunto de engranajes planetarios.
FUNCIONAMIENTO ESTANDAR	Transmitir potencia a través de un eje mecánico desde la salida del convertidor de par hacia la entrada de la transmisión.	Trasladar el movimiento al ingreso de la transmisión por el eje de cardan, hacia el tren de engranajes posterior de la transmisión utilizando la serie de combinaciones de accionamiento de pistones dependiendo el cambio seleccionado de los paquetes de cada uno de los grupos planetarios.	Trasladar el movimiento al ingreso del tren posterior de la transmisión, hacia el eje de salida del diferencial utilizando la serie de combinaciones de accionamiento de pistones dependiendo el cambio seleccionado de los paquetes de cada uno de los grupos planetarios.
NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	Mantener un flujo de potencia libre de vibraciones, y de una rigidez estructural capaz de transmitir velocidad del rango de 0 a 2500 rpm	Grupo de transmisión planetaria que contiene los tres primeros paquetes de la transmisión, donde se requiere combinaciones de dos paquetes para el movimiento dependiendo del cambio.	Grupo de transmisión planetaria que contiene los paquetes 4-7 de la transmisión, donde se requiere combinaciones de dos paquetes para el movimiento dependiendo del cambio.
SUBFUNCION	-----	_____	_____

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 8: Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F

SISTEMA: POWER SHIFT			
COMPONENTE	BOMBA HIDRÁULICA CARGA DE LA TRANSMISIÓN	BOMBA LUBRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN	PLATOS Y DISCOS DE LA TRANSMISIÓN
FUNCIÓN	Bombeo de aceite de transmisión SAE 30	Bomba de aceite de lubricante a los dos cuerpos de la transmisión.	Acoplamiento sin fricción del flujo de fuerza en la transmisión.
FUNCIONAMIENTO O ESTÁNDAR	Bombeo de aceite de transmisión desde el cárter del convertidor hacia el control de válvulas moduladoras de la transmisión.	Bomba aceite de transmisión que utiliza aceite SAE30 desde el cárter del convertidor de torque hacia el cuerpo trasero de la transmisión, para después pasar al cuerpo delantero.	Transmitir y dejar de transmitir el flujo de potencia (torque y velocidad) de forma continua y sin desgaste dentro de la caja power shift.
NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	Mantener un flujo constante de aceite de transmisión en las válvulas moduladoras, además de un rango de presión no menor a los 410 psi @ bajas rpm de motor.	Cuerpo posterior : Bajas RPM: 13±5 Psi Altas RPM: 80±10 Psi Cuerpo delantero: Bajas RPM: 10 ±2 Psi Altas RPM: 66±10 Psi	Transmitir el flujo de potencia de manera silenciosa, sin desgaste, permitiendo una temperatura máxima de 80°C dentro del compartimiento de la caja power shift.
SUBFUNCION	Generar un flujo continuo de aceite de transmisión hacia la válvula lock-up del convertidor de par.	Refrigerar, lubricar, limpiar todas las partes en contacto internas de la transmisión	Evitar un sobrecalentamiento del sistema, para ello los discos de embrague cuentan con materiales y diseño de ranuras específicos.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 9: Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F

SISTEMA: POWER SHIFT			
COMPONENTE	CONTROL ELECTRÓNICO ECM	BOMBA HIDRÁULICA DE BARRIDO DE LA TRANSMISIÓN	CONTROL DE VÁLVULAS PROPORCIONALES DE LA TRANSMISIÓN
FUNCIÓN	Control electrónico de las funciones de la transmisión.	Bombeo de aceite lubricante del cárter de la transmisión hacia el convertidor.	Permitir un acoplamiento controlado de los paquetes de la transmisión.
FUNCIONAMIENTO O ESTÁNDAR	Permitir un control exacto de todas las funciones de la transmisión y recepción de datos de otros ECMs.	Asegurar el suministro de aceite hacia el conjunto de bombas del convertidor.	Permitir un acoplamiento proporcional (suave, sin golpes, preciso) de cada uno de los 7 embragues de la transmisión.
NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	Control de los componentes de salida (Solenoides de Control de válvula y lockup) y recepción de información de los componentes de entrada. (Sensores, Switchs, keystack, posición de palanca, CAN DL y CAT DL)	Rotación. Agujas del reloj Altas RPM: 10 Psi Minimo flujo: 856 Lt/min.	Mantener, y propiciar un acoplamiento suave y proporcional de los embragues de la caja power shift, desde un rango que va de 0 Psi cuando se detecta 0 VCD de alimentación en cada una de las válvulas proporcionales y de 350 Psi a un nivel de 12 VCD en cada una de las válvulas proporcionales.
SUBFUNCION	Comunicación de los datos procesados a otros ECM de la máquina, entre ellos al ECM de motor, de frenos y el ECM del sistema de monitoreo central del equipo.	Corrige y asegura el suministro de aceite en las bombas del power train ante pendientes donde se concentra en las zonas el aceite.	Evitar presiones residuales (0 a 10 psi) en el sistema de accionamiento de los paquetes de la transmisión.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 10: Definición de funciones de los componentes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F

SISTEMA: POWER SHIFT			
COMPONENTE	FILTRADO DE LA TRANSMISIÓN		
FUNCIÓN	Protección de componentes internos de la transmisión por contaminantes tanto externos como internos.		
FUNCIONAMIENTO ESTÁNDAR	Filtro de elemento de papel para proteger los componentes internos de la transmisión. Screen magnético de la transmisión para capturar toda la contaminación ferromagnética producida en caso de falla en la Tx para evitar contaminación al Tc.		
NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	Filtro de elemento de papel de 10 μm , debido a que si se utiliza uno menor hay el riesgo de contaminar las válvulas moduladoras por bypass por contaminación de filtros.		
SUBFUNCION	Protección de convertidor por contaminación y mando de bombas.		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 11: Definición de funciones de las partes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F

SISTEMA: POWER SHIFT			
PARTE	SENSORES DE VELOCIDAD DE ENTRADA A LA TRANSMISIÓN	SENSORES DE VELOCIDAD DE SALIDA DE LA TRANSMISIÓN	SENSORES VELOCIDAD INTERMEDIA TRANSMISIÓN
FUNCIÓN	Detectar revoluciones por minuto en el sistema de transmisión.	Detectar revoluciones por minuto en el sistema de transmisión.	Detectar revoluciones por minuto en el sistema de transmisión.
FUNCIONAMIENTO ESTÁNDAR	Detectar las revoluciones del convertidor de par, (eje de entrada de la transmisión power shift) haciendo uso del principio de inducción magnética	Detectar las revoluciones del eje de salida de la transmisión power shift haciendo uso del principio de inducción magnética.	Detectar las revoluciones del eje de la transmisión en el cuerpo delantero, haciendo uso del principio de inducción magnética.
NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	Permitir detectar con precisión y sin perturbaciones eléctricas un rango de velocidades que oscila entre 0 rpm y un máximo de 2100 RPM.	Permitir detectar con precisión y sin perturbaciones eléctricas un rango de velocidades que oscila entre 0 rpm y un máximo de 1200 rpm	Permite detectar con precisión y sin perturbaciones eléctricas en un rango de velocidades que oscile entre 0 RPM y un número máximo de 2100 RPM.
SUBFUNCION	Enviar señales de RPM precisas y libres de distorsión a otros ECM de equipo, tales como el ECM de motor y el ECM del sistema de monitoreo.	Enviar señales de RPM precisas y libres de distorsión a otros ECM de equipo, tales como el ECM de motor y el ECM del sistema de monitoreo.	Señal mandataria para que el ECM de la transmisión detecte diferencia de velocidades a lo largo de la transmisión.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 12: Definición de funciones de las partes principales del Sistema de Transmisión del Camión Volquete Cat modelo 797F

SISTEMA: POWER SHIFT			
PARTE	SENSOR DE PRESIÓN DE LUBRICACIÓN	SENSOR DE TEMPERATURA DE ACEITE	SCREEN MAGNÉTICO DE LA TRANSMISIÓN
FUNCIÓN	Determinar la presión del lubricante en el sistema de transmisión.	Determinar la temperatura de lubricante en el sistema de Transmisión - Convertidor	Impedir el paso de partículas contaminantes al sistema.
FUNCIONAMIENTO ESTÁNDAR	Determinar la presión de aceite de transmisión que ingresa al cuerpo posterior de la transmisión, ubicado en el manifold del cuerpo trasero.	Determinar la temperatura de aceite del conjunto convertidor – transmisión, ubicado en el manifold de lubricación en el tren posterior de la transmisión.	Impedir el paso de partículas contaminantes provenientes del flujo de aceite de la bomba de barrido de la transmisión.
NIVEL DE FUNCIONAMIENTO	Permite detectar con precisión. Temp operación: -40°C -120°C. Voltaje operación: 8±0.5 Vol. Frecuencia: 500±100 Hz	Sensor de señal digital que trabaja con 8 V, en un rango de -40°C a 120°C. Tiene una frecuencia de salida 500±100 Hz.	Impedir el paso de partículas contaminantes al sistema , a un rango de presión de 0 psi a 50 Psi (de vacío)
SUBFUNCION	Compartir la información medida de la presión del módulo VMS para el sistema de monitoreo.	Compartir la información medida de la temperatura del módulo VMS para el sistema de monitoreo.	Evidenciar al equipo de monitoreo de condiciones las condiciones actuales físicas de la transmisión.

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Paso 3: Listar los modos de fallo

Una vez que se ha establecido la jerarquía técnica y que las funciones de cada sistema, subsistema han sido definidas, se deben identificar los modos de fallo. Un modo de fallo es cualquier estado donde una función definida no puede desarrollar su rendimiento estándar esperado.

Cuadro N° 13: Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
COMPONENTE	EJE PRINCIPAL DE LA TRANSMISIÓN	TREN DE ENGRANAJES DELANTERO DE LA TRANSMISIÓN	TREN DE ENGRANAJES POSTERIOR DE LA TRANSMISIÓN
MODOS DE FALLO	<ul style="list-style-type: none"> • Fractura del eje principal. • Vibración ocasionada por deflexión del eje de transmisión. • Fractura por fatiga en las crucetas del eje. • Fractura por fatiga de pernos de crucetas del eje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla por fatiga por esfuerzo de contacto en los rodamientos. • Identación en dientes de engranajes. • Desgaste por fatiga del tipo spalling en los ejes de los carrier. • Falla del pin que fija el eje contra el carrier. • Fractura de canastillas de rodamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla por fatiga por esfuerzo de contacto en los rodamientos. • Identación en dientes de engranajes. • Desgaste por fatiga del tipo spalling en los ejes de los carrier. • Falla del pin que fija el eje contra el carrier. • Fractura de canastillas de rodamiento.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 14: Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
COMPONENTE	BOMBA HIDRÁULICA DE CARGA DE LA TRANSMISIÓN	BOMBA LUBRICACION DE LA TRANSMISIÓN	PLATOS Y DISCOS DE LA TRANSMISIÓN
MODOS DE FALLO	<ul style="list-style-type: none"> • Ruidos excesivos • Vibración • Identación en Dientes de engranajes • Desprendimiento de partículas. • Desgaste acelerado de dientes • Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes • Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruidos excesivos • Vibración • Identación en dientes de engranajes • Desprendimiento de partículas. • Desgaste acelerado de dientes • Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes • Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de material antifricción. • Desgaste abrasivo de los platos • Fractura de los platos. • Resortes fatigados • Fuga interna de aceite del conjunto de platos y discos. • Puntos calientes en los discos antifricción. • Fractura de dientes internos de discos de fricción.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 15: Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
COMPONENTE	CONTROL ELECTRÓNICO ECM	BOMBA HIDRÁULICA DE BARRIDO DE LA TRANSMISIÓN	CONTROL DE LAS VALVULAS PROPORCIONALES DE LA TRANSMISION
MODOS DE FALLO	<ul style="list-style-type: none"> • Falla Eléctrica Interna del ECM • Problemas con Alimentación con ECM • Identificación del ECM 	<ul style="list-style-type: none"> • Ruidos excesivos • Vibración • Identación de dientes de engranajes • Desprendimiento de partículas. • Desgaste acelerado de dientes • Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes • Cavitación • Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Cortocircuito y Circuito abierto en solenoide de accionamiento • Mal funcionamiento de válvula moduladora • Presión inadecuada en paquetes de la transmisión.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 16: Listado de modos de fallos de los componentes del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
COMPONENTE	FILTRADO DE LA TRANSMISION		
MODOS DE FALLO	<ul style="list-style-type: none"> • Rotura de las rejillas. • Desgaste abrasivo de rejillas. • Obstrucción. • Sello interno dañado. 		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 17: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
PARTE	SENSORES DE VELOCIDAD DE ENTRADA A LA TRANSMISIÓN	SENSORES DE VELOCIDAD DE SALIDA DE LA TRANSMISIÓN	SENSORES DE VELOCIDAD DE SALIDA DE LA TRANSMISIÓN
MODOS DE FALLO	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente • Señal de retorno sobre lo normal • Señal de retorno bajo lo normal. • Cortocircuito de la parte resistiva del sensor • Circuito abierto interno • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente • Señal de retorno sobre lo normal • Señal de retorno bajo lo normal. • Cortocircuito de la parte resistiva del sensor • Circuito abierto interno • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente • Señal de retorno sobre lo normal • Señal de retorno bajo lo normal. • Cortocircuito de la parte resistiva del sensor • Circuito abierto interno • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 18: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
COMPONENTE	SENSOR DE PRESIÓN DE LA TRANSMISIÓN	SENSOR DE LA TEMPERATURA DE ACEITE DELA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente • Señal de retorno sobre lo normal • Señal de retorno bajo lo normal. • Cortocircuito de la parte resistiva del sensor • Circuito abierto interno • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente • Señal de retorno sobre lo normal • Señal de retorno bajo lo normal. • Cortocircuito de la parte resistiva del sensor • Circuito abierto interno • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Paso 4: Listar las causas de fallo

En el análisis, para cada modo de fallo se deben listar todas las posibles causas de fallo.

La lista de causas de fallo puede estar asociada a modos de fallo incluidos en el programa de mantenimiento actual, a modos de fallo que se han observado en las instalaciones en el pasado o a modos de fallo que no han sido nunca observados.

La metodología RBM busca prever estos fallos. La lista de causas de fallo deberá incluir todas las causas probables para identificar los modos de fallo, incluyendo aspectos como desgaste o deterioro, impacto de los factores humanos, diseño, etc.

Cuadro N° 19: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
EJE PRINCIPAL DE LA TRANSMISIÓN		TREN DE ENGRANAJES DELANTERO DE LA TRANSMISION	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> • Fractura del eje principal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problema de manufactura en el eje. • Daño al eje por externos causando concentrador de esfuerzo que provoque una fractura frágil. • Problema en el diseño del eje para su funcionamiento. • Material inadecuado para soportar cargas ejercida sobre el eje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla por fatiga por esfuerzo de contacto en los rodamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento inadecuado. Muchas horas de aceite de transmisión. • Aceite inadecuado utilizado, con viscosidad no apropiada para la carga. • Mayores cargas soportadas que el diseño.
<ul style="list-style-type: none"> • Vibración ocasionada por deflexión del eje de transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fatiga sobre el eje ocasionando una deformación plástica. • Resonancia entre el eje y su unión a componentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identación en dientes de engranajes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de aceite de lubricación. • Desgaste de componentes internos.
<ul style="list-style-type: none"> • Fractura por fatiga en las crucetas del eje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problema en la selección de material para soportar cargas en las crucetas. • Diseño inadecuado de las crucetas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste por fatiga del tipo spalling en los ejes de los carrier. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tensiones de contacto repetitivas sobredimensionadas al eje. • Problema de lubricación. • Problemas de manufactura en el eje
<ul style="list-style-type: none"> • Fractura por fatiga de pernos de crucetas del eje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección inadecuada de pernos para soportar cargas en las crucetas. • Mantenimiento inadecuado 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla del pin que fija el eje contra el carrier. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de manufactura en el eje.
		<ul style="list-style-type: none"> • Fractura de canastillas de rodamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección inadecuada de rodamiento. • Lubricación inadecuada. • Cargas excesivas.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 20: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
TREN DE ENGRANAJES POSTERIOR DE LA TRANSMISION		BOMBA HIDRÁULICA DE CARGA DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> Falla por fatiga por esfuerzo de contacto en los rodamientos. 	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento inadecuado. Muchas horas de aceite de transmisión. Aceite inadecuado utilizado, con viscosidad no apropiada para la carga. Mayores cargas soportadas que el diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> Ruidos excesivos 	<ul style="list-style-type: none"> Cavitación Contaminación del aceite Caudal insuficiente Desgaste interno de la bomba
<ul style="list-style-type: none"> Identación en dientes de engranajes. 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de aceite de lubricación. Desgaste de componentes internos. 	<ul style="list-style-type: none"> Vibración 	<ul style="list-style-type: none"> Desgaste en el eje de la bomba.
<ul style="list-style-type: none"> Desgaste por fatiga del tipo spalling en los ejes de los carrier. 	<ul style="list-style-type: none"> Tensiones de contacto repetitivas sobredimensionadas al eje. Problema de lubricación. Problemas de manufactura en el eje 	<ul style="list-style-type: none"> Identación en Dientes de engranajes 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación externa e interna del fluido. Fatiga superficial por contacto de los engranajes.
<ul style="list-style-type: none"> Falla del pin que fija el eje contra el carrier. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas de manufactura en el eje. 	<ul style="list-style-type: none"> Desprendimiento de partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> Pitting en los dientes de engranajes Pitting en rodamientos Spalling en engranajes y rodamientos
<ul style="list-style-type: none"> Fractura de canastillas de rodamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Selección inadecuada de rodamiento. Lubricación inadecuada. Cargas excesivas. 	<ul style="list-style-type: none"> Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes 	<ul style="list-style-type: none"> Rotura por fatiga Rotura por sobrecarga
		<ul style="list-style-type: none"> Desgaste acelerado de dientes 	<ul style="list-style-type: none"> Sobrecargas Excesivo backlash en los engranajes.
		<ul style="list-style-type: none"> Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de fluido Niveles inadecuados de aceite Aceite inadecuado para compartimiento.

Fuente: elaboración propia

Cuadro N° 21: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
BOMBA LUBRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN		PLATOS Y DISCOS DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> Ruidos excesivos 	<ul style="list-style-type: none"> Cavitación Contaminación del aceite Caudal insuficiente Desgaste interno de la bomba 	Desprendimiento de material de fricción	<ul style="list-style-type: none"> Patinamiento de los discos y platos Acople parcial de los discos y platos ocasionado por baja presión de actuación Oxidación del aceite hidráulico. Lubricación inadecuada de los discos y platos Enfriamiento deficiente de los discos y platos.
<ul style="list-style-type: none"> Vibración 	<ul style="list-style-type: none"> Desgaste en el eje de la bomba. 	Desgaste abrasivo de los platos	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación en aceite de lubricación. Presión residual en pistones de accionamiento. Aceite inadecuado para compartimiento.
<ul style="list-style-type: none"> Identación en Dientes de engranajes 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación externa e interna del fluido. Fatiga superficial por contacto de los engranajes. 	Fractura de los platos y/o discos	<ul style="list-style-type: none"> Acoplamiento bruscos No hay modulación en válvulas. Perdida de lubricación Lubricación parcial Enfriamiento deficiente de los platos y discos.
<ul style="list-style-type: none"> Desprendimiento de partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> Pitting en los dientes de engranajes Pitting en rodamientos Spalling en engranajes y rodamientos 	Resortes fatigados	<ul style="list-style-type: none"> Selección inadecuada del resorte Problemas de manufactura en el resorte
<ul style="list-style-type: none"> Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes 	<ul style="list-style-type: none"> Rotura por fatiga Rotura por sobrecarga 	Fuga interna de aceite del conjunto de platos y discos.	<ul style="list-style-type: none"> Falla en el sello de retención Problemas con la bomba de carga de transmisión
<ul style="list-style-type: none"> Desgaste acelerado de dientes 	<ul style="list-style-type: none"> Sobrecargas Excesivo backlash en los engranajes. 	Puntos calientes en los discos de fricción	<ul style="list-style-type: none"> Acabado superficial inadecuado Falla en proceso de maquinado Defecto del producto.
<ul style="list-style-type: none"> Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de fluido Niveles inadecuados de aceite Aceite inadecuado para compartimiento. 	Fractura de dientes internos de discos de fricción.	<ul style="list-style-type: none"> Problema con diseño y material de paquetes de tx. Problema de manufactura con paquetes de Tx.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 22: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
CONTROL ELECTRÓNICO ECM DE LA TRANSMISIÓN		BOMBA HIDRÁULICA DE BARRIDO DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> Falla Eléctrica Interna del ECM 	<ul style="list-style-type: none"> Cortocircuito o circuito abierto interno del ECM 	<ul style="list-style-type: none"> Ruidos excesivos 	<ul style="list-style-type: none"> Cavitación Contaminación del aceite Caudal insuficiente Desgaste interno de la bomba
<ul style="list-style-type: none"> Problemas con Alimentación con ECM 	<ul style="list-style-type: none"> Circuito abierto en wiring de alimentación al ECM. Harness inadecuado del ECM. Cortocircuito a tierra de alimentación 	<ul style="list-style-type: none"> Vibración 	<ul style="list-style-type: none"> Desgaste en el eje de la bomba.
<ul style="list-style-type: none"> Identificación del ECM 	<ul style="list-style-type: none"> Software inadecuado para ECM. Configuración inadecuada al ECM Identificación incorrecta de wirings identificadores de tipo de ECM. 	<ul style="list-style-type: none"> Identación en Dientes de engranajes 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación externa e interna del fluido. Fatiga superficial por contacto de los engranajes.
		<ul style="list-style-type: none"> Desprendimiento de partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> Pitting en los dientes de engranajes Pitting en rodamientos Spalling en engranajes y rodamientos
		<ul style="list-style-type: none"> Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes 	<ul style="list-style-type: none"> Rotura por fatiga Rotura por sobrecarga
		<ul style="list-style-type: none"> Desgaste acelerado de dientes 	<ul style="list-style-type: none"> Sobrecargas Excesivo backlash en los engranajes.
		<ul style="list-style-type: none"> Calentamiento excesivo 	<ul style="list-style-type: none"> Contaminación de fluido Niveles inadecuados de aceite Aceite inadecuado para compartimiento.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 23: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
CONTROL DE VÁLVULAS PROPORCIONALES DE LA TRANSMISIÓN		FILTRADO DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> • Cortocircuito y Circuito abierto en solenoide de accionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Problema en el conector del Solenoide. • Problema en el Harness del solenoide • Problema en el solenoide 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotura de las rejillas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de magnetos de rejilla por problema en pegamento. • Problema con manufactura en rejilla de Transmisión • Mala instalación de la rejilla de transmisión
<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento de válvula moduladora 	<ul style="list-style-type: none"> • Traba de spool por contaminación • Falla en el resorte centrador de la válvula moduladora • Agarrotamiento en spool de válvula moduladora. • Problemas con manufactura de válvula moduladora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste abrasivo de rejillas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación ferromagnética en screen y filtros. • Mala instalación de la rejilla de transmisión
<ul style="list-style-type: none"> • Presión inadecuada en paquetes de la transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mala calibración de presiones de la transmisión • Mala calibración de tiempo de llenado de la transmisión • Fuga interna de presión de accionamiento en el conjunto de válvula moduladoras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción 	<ul style="list-style-type: none"> • Contaminación de aceite de transmisión por desgaste interno. • Contaminación de aceite de transmisión por inclusión externa. • Mantenimiento inadecuado del sistema de filtrado.
		<ul style="list-style-type: none"> • Sello interno dañado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura elevada de aceite de transmisión • Mala instalación de screen y filtros de transmisión • Mantenimiento inadecuada del sistema de filtrado.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 24: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
SENSORES DE VELOCIDAD DE ENTRADA		SENSORES DE VELOCIDAD DE SALIDA	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. • Falta de calibración o calibración equivocada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. • Falta de calibración o calibración equivocada.
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno sobre y bajo tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno sobre y bajo tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno bajo lo normal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto en el harness del sensor. • Circuito abierto en el conector del sensor • Circuito abierto interno en el propio sensor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno bajo lo normal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto en el harness del sensor. • Circuito abierto en el conector del sensor • Circuito abierto interno en el propio sensor
<ul style="list-style-type: none"> • Falla en circuito resistivo del sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en proceso de fabricación • Falla del producto • Sobretensiones en el ECM • Contacto inestable • Cortocircuitos internos 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en circuito resistivo del sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en proceso de fabricación • Falla del producto • Sobretensiones en el ECM • Contacto inestable • Cortocircuitos internos
<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto interno 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño interno en el sensor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto interno 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño interno en el sensor.
<ul style="list-style-type: none"> • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento inadecuado de conectores. • Material inadecuado de conectores y harness. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento inadecuado de conectores. • Material inadecuado de conectores y harness.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 25: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
SENSORES DE VELOCIDAD INTERMEDIA		SENSORES DE PRESION DE LUBRICACION	
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. • Falta de calibración o calibración equivocada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. • Falta de calibración o calibración equivocada.
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno sobre y bajo tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno sobre y bajo tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad.
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno bajo lo normal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto en el harness del sensor. • Circuito abierto en el conector del sensor • Circuito abierto interno en el propio sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno bajo lo normal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto en el harness del sensor. • Circuito abierto en el conector del sensor • Circuito abierto interno en el propio sensor
<ul style="list-style-type: none"> • Falla en circuito resistivo del sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en proceso de fabricación • Falla del producto • Sobretensiones en el ECM • Contacto inestable • Cortocircuitos internos 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en circuito resistivo del sensor 	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en proceso de fabricación • Falla del producto • Sobretensiones en el ECM • Contacto inestable • Cortocircuitos internos
<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto interno 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño interno en el sensor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Circuito abierto interno 	<ul style="list-style-type: none"> • Daño interno en el sensor.
<ul style="list-style-type: none"> • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento inadecuado de conectores. • Material inadecuado de conectores y harness. 	<ul style="list-style-type: none"> • Terminales del sensor dañados por pequeños cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento inadecuado de conectores. • Material inadecuado de conectores y harness.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 26: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA : POWER SHIFT			
SENSORES DE TEMPERATURA DE ACEITE DE LA TRANSMISIÓN			
MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO	MODOS DE FALLO	CAUSAS DE FALLO
<ul style="list-style-type: none"> • Señal de retorno intermitente 	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de velocidad. • Falta de calibración o calibración equivocada. • 		
Señal de retorno sobre y bajo tensión.	<ul style="list-style-type: none"> • Interferencia y/o ruido eléctrico del ECM. • Cables de comunicación dañados • Contacto intermitente, sucio o corroído de los sensores de temperatura 		
Falla en circuito resistivo del sensor	<ul style="list-style-type: none"> • Falla en proceso de fabricación • Falla del producto • Sobretensiones en el ECM • Contacto inestable • Cortocircuitos internos 		

Fuente: Elaboración propia

5.2.5. Paso 5: Listar los posibles mecanismos de daño

Un mecanismo de daño es una razón subyacente asociada a una causa de fallo. Si los mecanismos de daño asociados a una causa de fallo son conocidos, entonces esto simplifica la identificación de actividades efectivas para prevenir las causa de fallo y por tanto también para prevenir que ocurra el fallo.

Se detalla los mecanismos de daño del sistema del tren de fuerza-transmisión power shift:

Cuadro N° 27: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
EJE PRINCIPAL DE LA TRANSMISIÓN		TREN DE ENGRANAJES DELANTERO DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO	MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO
• Fractura del eje principal.	• Defecto del producto	• Falla por fatiga por esfuerzo de contacto en los rodamientos.	• Ciclos severos
• Vibración ocasionada por deflexión del eje de transmisión.	• Sobrecarga del equipo	• Identación en dientes de engranajes.	• Sobrecarga del equipo
• Fractura por fatiga en las crucetas del eje.	• Sobrecarga del equipo	• Desgaste por fatiga del tipo spalling en los ejes de los carrier.	• Ciclos severos
• Fractura por fatiga de pernos de crucetas del eje.	• Ciclos severos	• Falla del pin que fija el eje contra el carrier.	• Sobrecarga del equipo
		• Fractura de canastillas de rodamiento.	• Sobrecarga del equipo

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 28: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
TREN DE ENGRANAJES POSTERIOR DE LA TRANSMISIÓN		BOMBA HIDRAULICA DE CARGA DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO	MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO
• Falla por fatiga por esfuerzo de contacto en los rodamientos.	• Ciclos severos	• Ruidos excesivos	• Sobrecarga del equipo
• Identación en dientes de engranajes.	• Sobrecarga del equipo	• Vibración	• Ciclos severos
• Desgaste por fatiga del tipo spalling en los ejes de los carrier.	• Ciclos severos	• Identación en Dientes de engranajes	• Sobrecarga del equipo
• Falla del pin que fija el eje contra el carrier.	• Sobrecarga del equipo	• Desprendimiento de partículas.	• Inadecuado control de contaminación
• Fractura de canastillas de rodamiento.	• Sobrecarga del equipo	• Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes	• Sobrecarga del equipo
		• Desgaste acelerado de dientes	• Ciclos severos
		• Calentamiento excesivo	• Inadecuado mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 29: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
BOMBA HIDRÁULICA DE LUBRICACIÓN DE LA TRANSMISIÓN		PLATOS Y DISCOS DE LA TRANSMISIÓN POWER SHIFT	
MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO	MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO
• Ruidos excesivos	• Sobrecarga del equipo	• Desprendimiento de material de fricción	• Ciclos severos
• Vibración	• Ciclos severos	• Desgaste abrasivo de los platos	• Sobrecarga del equipo
• Identación en Dientes de engranajes	• Sobrecarga del equipo	• Fractura de los platos y/o discos	• Defecto del producto
• Desprendimiento de partículas.	• Inadecuado control de contaminación	• Resortes fatigados	• Ciclos severos
• Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes	• Sobrecarga del equipo	• Fuga interna de aceite del conjunto de platos y discos.	• Mantenimiento inadecuado
• Desgaste acelerado de dientes	• Ciclos severos	• Puntos calientes en los discos de fricción	• Defecto del producto
• Calentamiento excesivo	• Inadecuado mantenimiento	• Fractura de dientes internos de discos de fricción.	• Ciclos severos

Fuente: elaboración propia

Cuadro N° 30: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
CONTROL ELECTRONICO ECM DE LA TRANSMISIÓN		BOMBA HIDRAULICA DE BARRIDO DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO	MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO
• Falla Eléctrica Interna del ECM	• Mantenimiento inadecuado	• Ruidos excesivos	• Sobrecarga del equipo
• Problemas con Alimentación con ECM	• Mantenimiento inadecuado	• Vibración	• Ciclos severos
• Identificación del ECM	• Defecto del producto	• Identación en Dientes de engranajes	• Sobrecarga del equipo
		• Desprendimiento de partículas.	• Inadecuado control de contaminación
		• Rotura /fraccionamiento parcial de los engranajes	• Sobrecarga del equipo
		• Desgaste acelerado de dientes	• Ciclos severos
		• Calentamiento excesivo	• Inadecuado mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 31: Listado de modos de fallos de las partes principales del Sistema de Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F

SISTEMA POWER SHIFT			
CONTROL DE VÁLVULAS PROPORCIONALES DE LA TRANSMISIÓN		FILTRADO DE LA TRANSMISIÓN	
MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO	MODOS DE FALLO	MECANISMO DE DAÑO
<ul style="list-style-type: none"> • Cortocircuito y Circuito abierto en solenoide de accionamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Rotura de las rejillas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto del producto
<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento de válvula moduladora 	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado mantenimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Desgaste abrasivo de rejillas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto del producto
<ul style="list-style-type: none"> • Presión inadecuada en paquetes de la transmisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Reparación defectuosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstrucción 	<ul style="list-style-type: none"> • Inadecuado mantenimiento
		<ul style="list-style-type: none"> • Sello interno dañado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Defecto del producto

Fuente: Elaboración propia

5.2.6. Paso 6: priorización de las actividades de mantenimiento e inspección

El RBM utiliza el riesgo, como la combinación de probabilidad y consecuencia de fallo, para priorizar las actividades de mantenimiento e inspección. La evaluación de la probabilidad y las consecuencias del fallo se pueden combinar con el modelo “Bow tie”.

El modelo “Bow tie” identifica mediante un árbol de fallos los posibles accidentes, circunstancias y eventos que conducen a un riesgo y mediante un árbol de eventos muestra las consecuencias y las áreas de daño a las que conducen los posibles eventos.

Se procederá a analizar con la metodología Bow-tie los siguientes eventos de falla:

- Falla total en el eje principal de la transmisión. **Gráfico N°11**
- Falla total en el tren de engranajes delanteros de la transmisión. **Gráfico N°12**
- Falla total en el tren de engranajes posteriores de la transmisión. **Gráfico N°13**
- Falla total de la bomba hidráulica de carga de la transmisión. **Gráfico N°14**

- e. Falla total de la bomba de lubricación de la transmisión. **Gráfico N°15**
- f. Falla total de los platos y discos de la transmisión. **Gráfico N°16**
- g. Falla total del control electrónico ECM de la transmisión. **Gráfico N°17**
- h. Falla total de la bomba hidráulica de barrido de la transmisión. **Gráfico N°18**
- i. Falla total del control de válvulas proporcionales de la transmisión. **Gráfico N°19**
- j. Falla total del filtrado de la transmisión. **Gráfico N°20**

Se tomara como base la siguiente estructura:

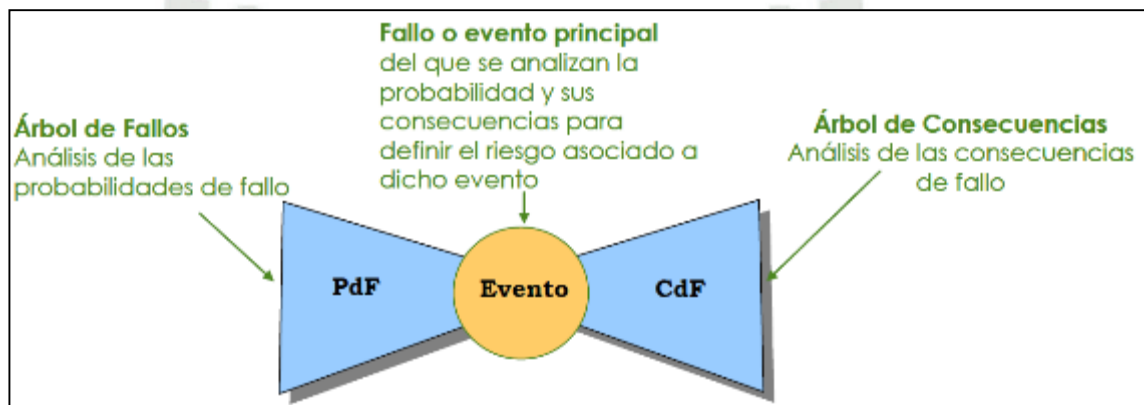


Figura N° 78: Modelo Bow-Tie de las Pdf y Cdf

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.69). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición



Gráfico N° 11: Falla total del eje de accionamiento de la transmisión



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 12: Falla total engranajes delanteros transmisión

Fuente: Elaboración propia



Gráfico N° 13: Falla total engranajes posteriores transmisión
Fuente: Elaboración propia

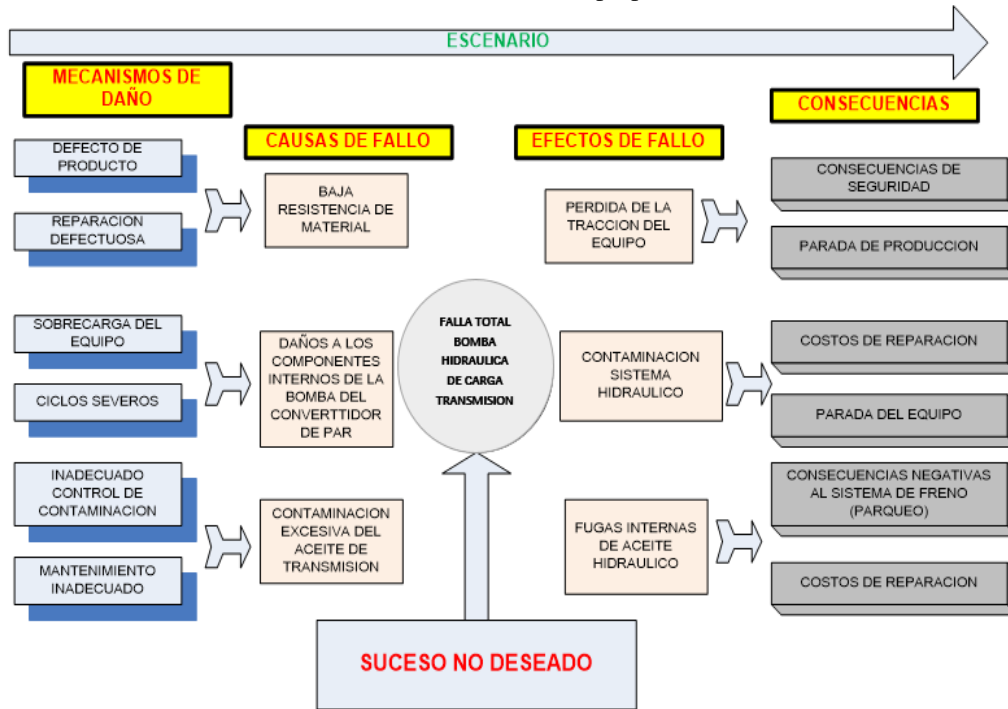


Gráfico N° 14: Falla total bomba hidráulica de carga transmisión
Fuente: Elaboración propia



Gráfico N° 15: Falla total bomba lubricación de la transmisión
Fuente: Elaboración propia



Gráfico N° 16: Falla total de los platos y discos de la transmisión power shift
Fuente: Elaboración propia

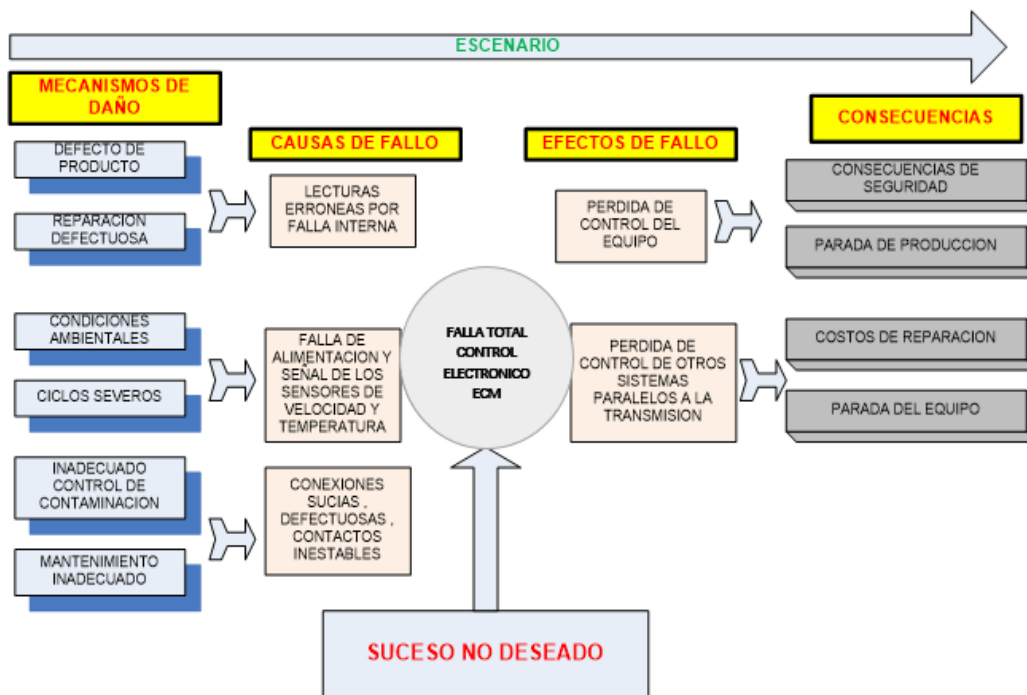


Gráfico N° 17: Falla total control electrónico ECM

Fuente: Elaboración propia



Gráfico N° 18: Falla total bomba hidráulica de barrido transmisión

Fuente: Elaboración propia

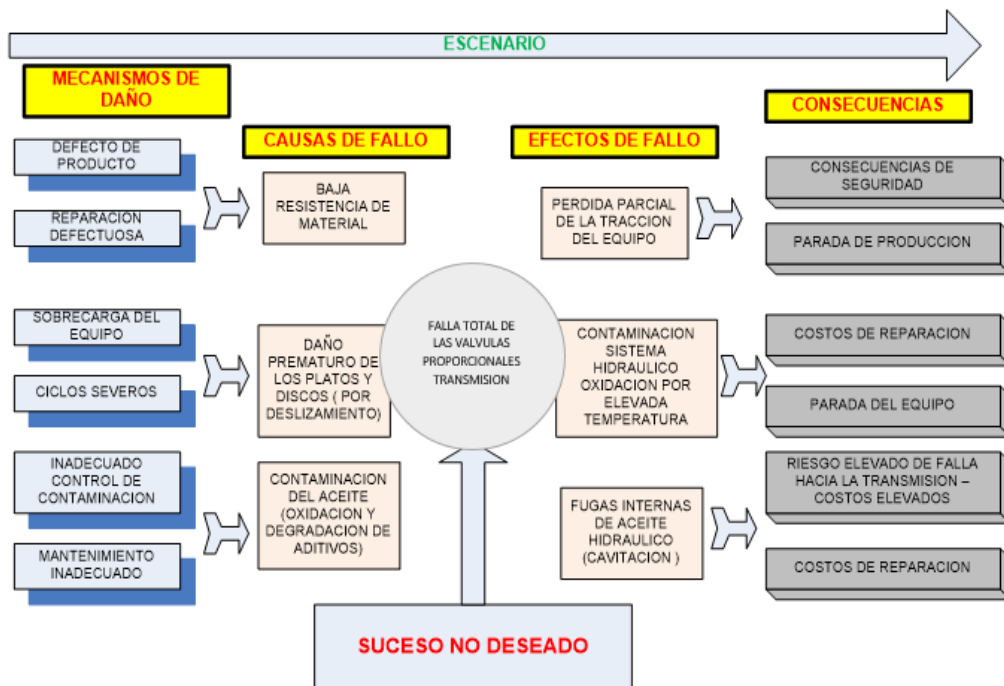


Gráfico N° 19: Falla total de las válvulas proporcionales transmisión
Fuente: Elaboración propia

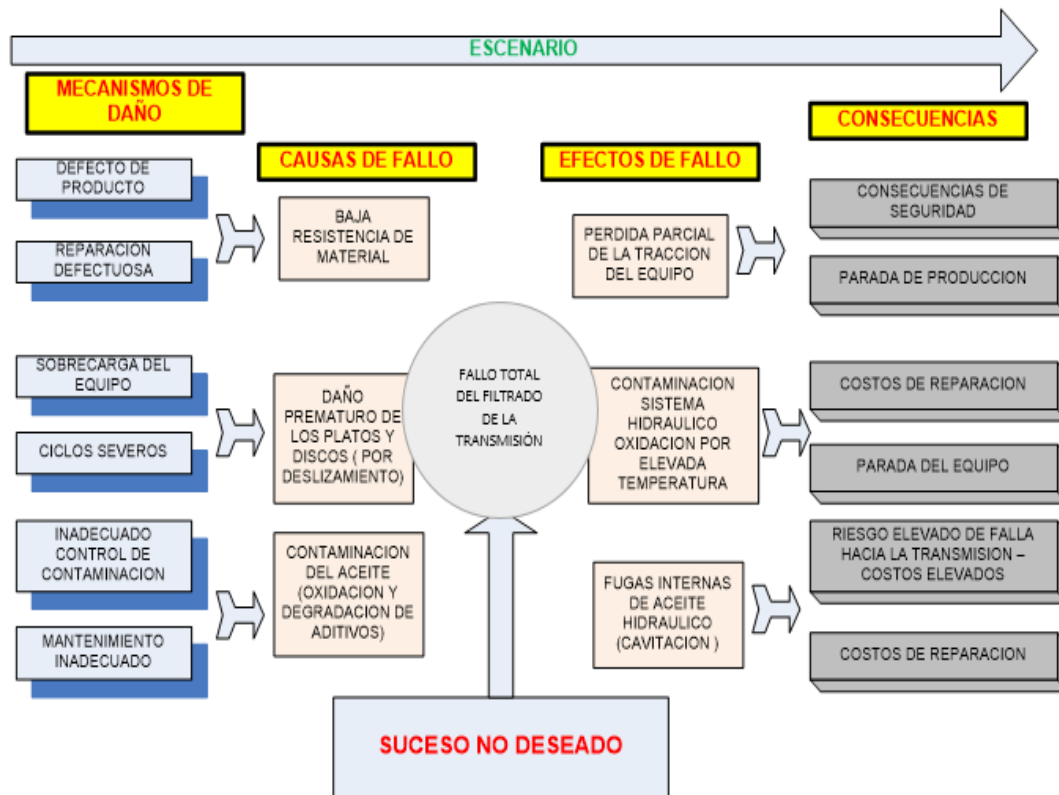


Gráfico N° 20: Fallo total del filtrado de la transmisión
Fuente: Elaboración propia

5.2.7. Paso 7: Análisis de escenarios

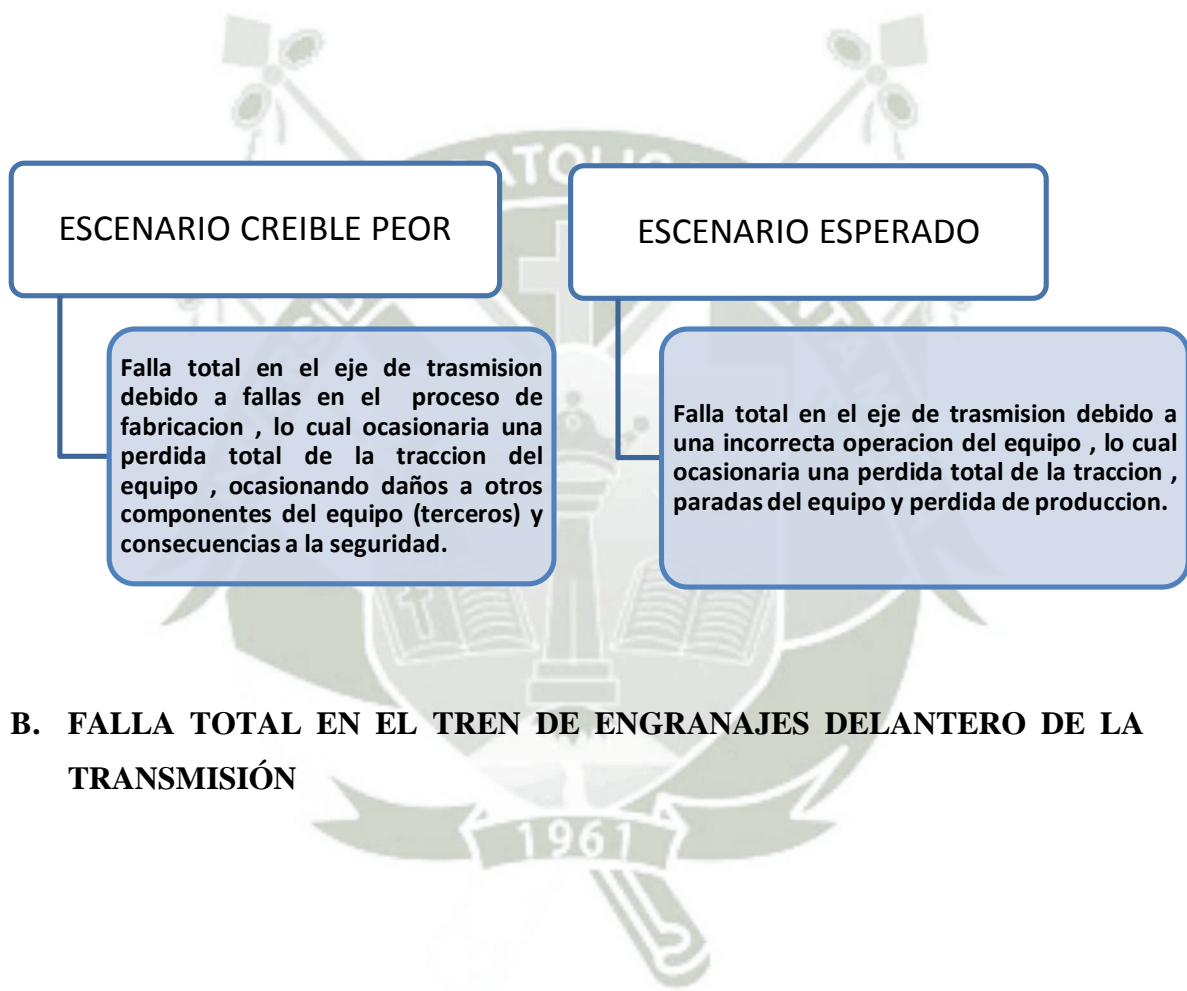
Una vez que se haya concluido la realización del dibujo del árbol de sucesos, entonces se pueden definir los diferentes escenarios para el correspondiente modo de fallo, trazando diferentes rutas desde la causa raíz/mecanismo de daño hasta la consecuencia en el modelo “Bow-tie”.

Se pueden definir diferentes tipos de escenarios basados en cómo se combinan la causa raíz/mecanismos de degradación con las consecuencias.

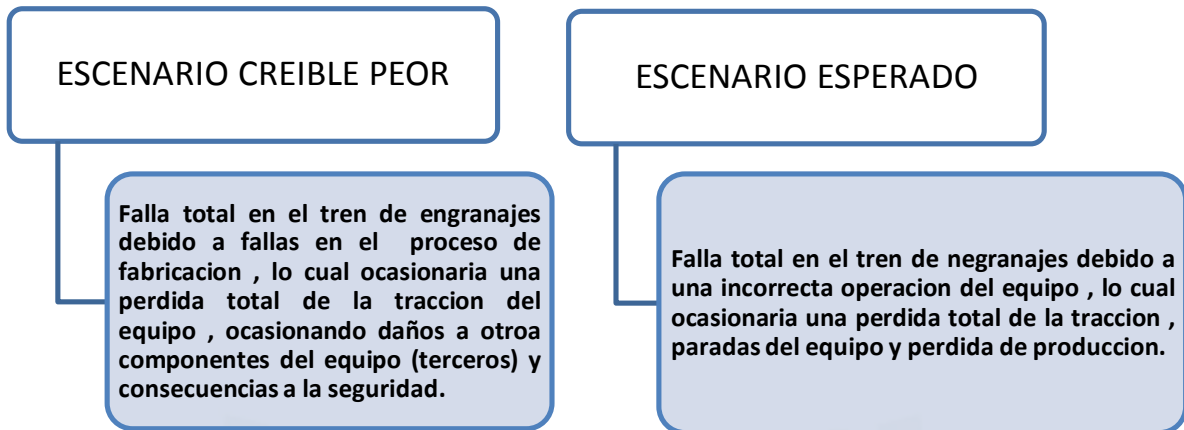
- **ESCENARIO CREÍBLE PEOR:** Combina un mecanismo de daño/causa raíz dado con la consecuencia más severa a la que el mecanismo de daño podría conducir.
- **ESCENARIO ESPERADO:** Combina el mecanismo de daño/causa raíz con la consecuencia esperada o más típica a la que el mecanismo de daño podría conducir.

Resultados obtenidos para los siguientes casos:

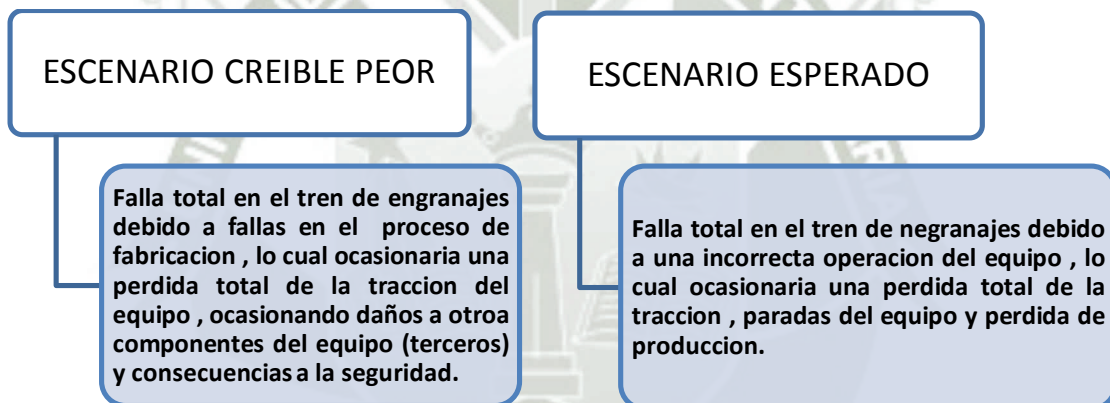
A. FALLA TOTAL DEL EJE DE TRANSMISIÓN PRINCIPAL DE LA TRANSMISIÓN



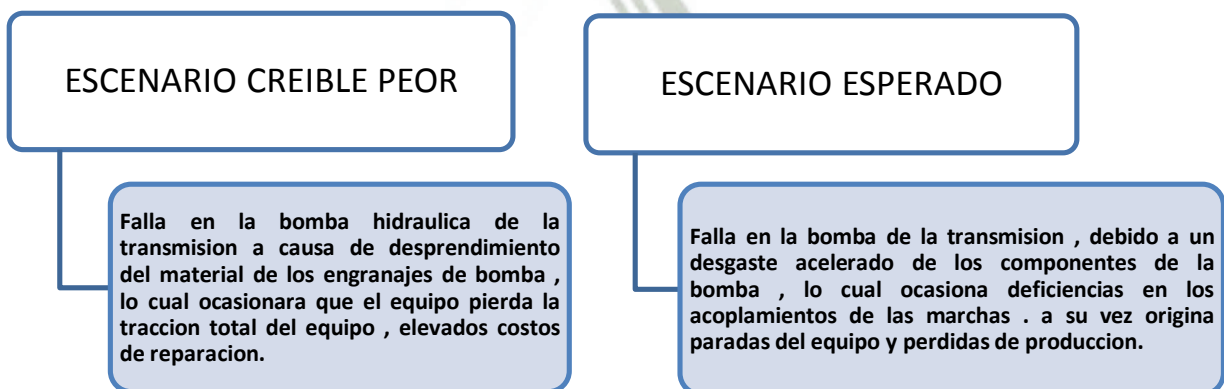
B. FALLA TOTAL EN EL TREN DE ENGRANAJES DELANTERO DE LA TRANSMISIÓN



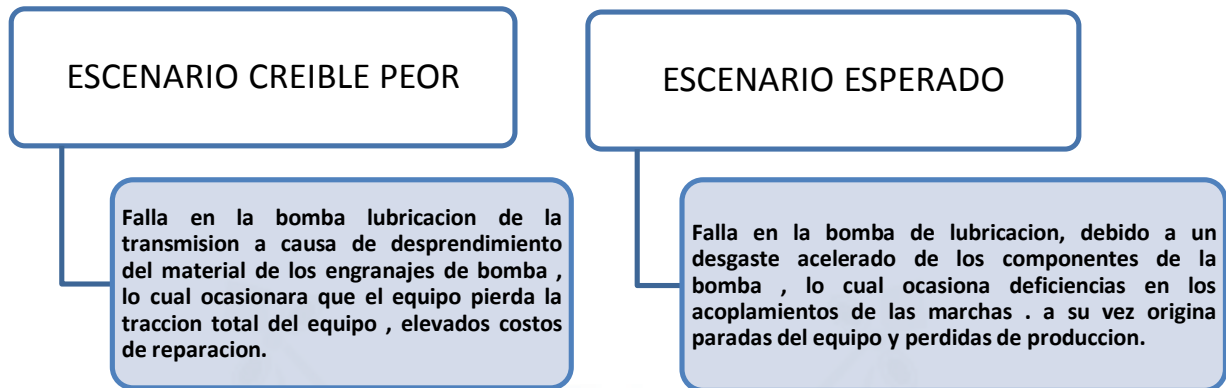
C. FALLA TOTAL EN EL TREN DE ENGRANAJES POSTERIOR DE LA TRANSMISIÓN



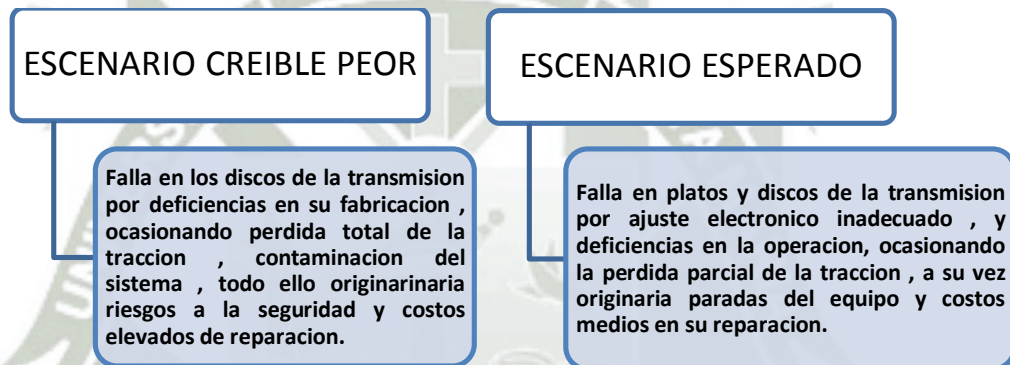
D. FALLA TOTAL DE LA BOMBA HIDRÁULICA CARGA DE LA TRANSMISIÓN



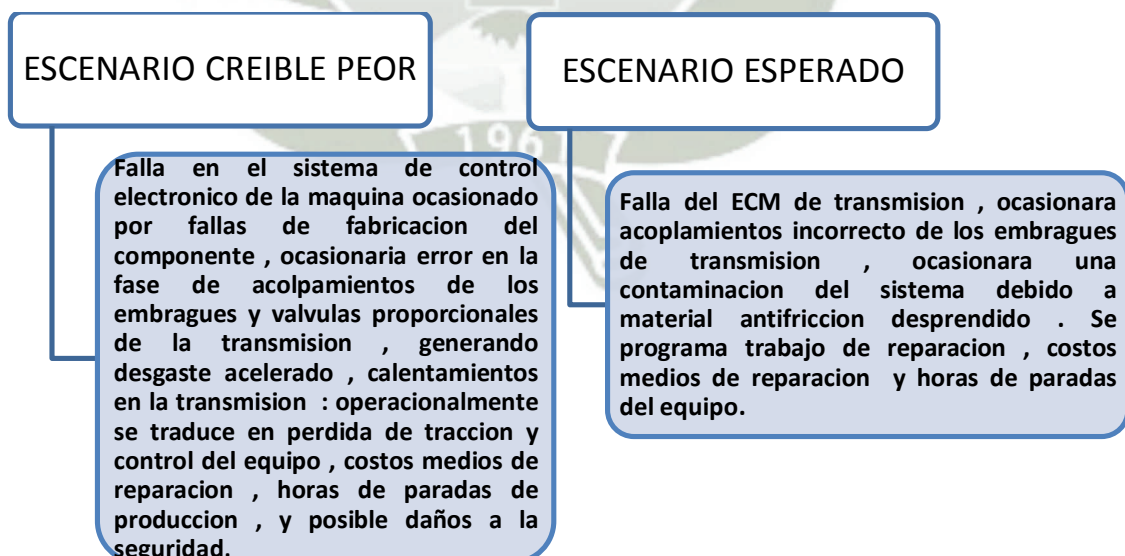
E. FALLA TOTAL DE LA BOMBA DE LUBRICACION DE LA TRANSMISIÓN



F. FALLA EN LOS PLATOS Y DISCOS DE LA TRANSMISIÓN



G. FALLA TOTAL DEL CONTROL ELECTRÓNICO ECM TRANSMISIÓN



H. FALLA TOTAL DE LA BOMBA DE HIDRÁULICA DE BARRIDO TRANSMISIÓN

ESCENARIO CREIBLE PEOR

Falla en la bomba hidraulica de barrido a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba , lo cual ocasionara que el equipo pierda la traccion total del equipo , elevados costos de reparacion.

ESCENARIO ESPERADO

Falla en la bomba de hidraulica de barrido, debido a un desgaste acelerado de los componentes de la bomba , lo cual ocasiona deficiencias en los acoplamientos de las marchas . a su vez origina paradas del equipo y perdidas de produccion.

J. FALLAS TOTAL DE CONTROL DE VÁLVULAS PROPORCIONALES DE LA TRANSMISIÓN

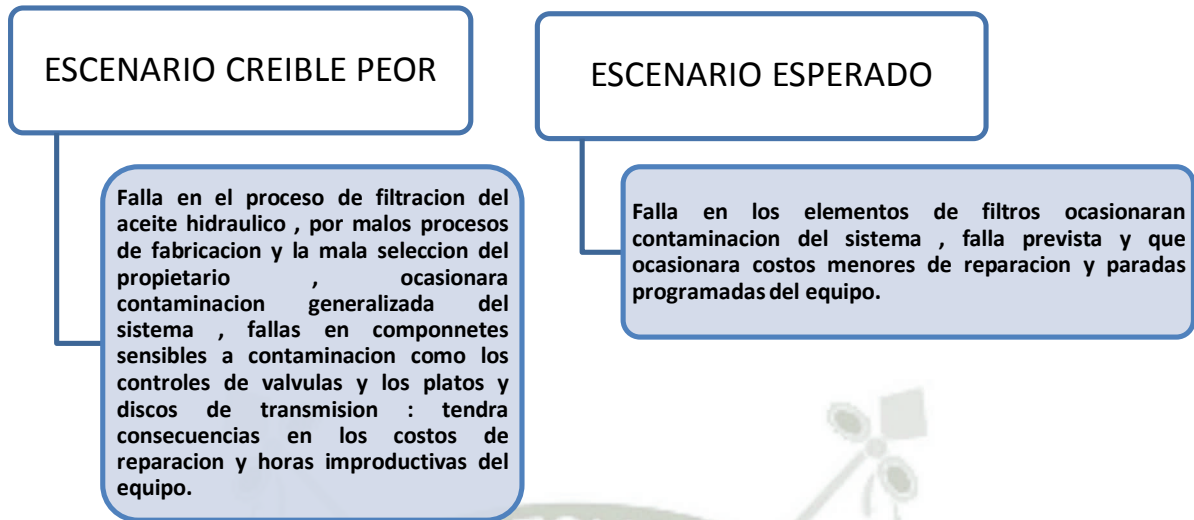
ESCENARIO CREIBLE PEOR

Falla en valvulas proporionales debido a un control inadecuado del ECM , lo cual ocasionara presiones erroneas en los paquetes , generando desgaste y falla total de los paquetes y discos , contaminacion del sistema : elevados costos de reparacion , horas considerables de paradas del equipo , posibles consecuencias a la seguridad.

ESCENARIO ESPERADO

Fallas parciales en valvulas proporcionales debidas a una calibracion electronica incorrecta , mala seleccion de fluidos , ocasionando un desgaste paulatino de los platos y discos de la transmision : ocasionando perdida parcial de la traccion del equipo , costos medios de reparacion .

K. FALLA TOTAL DEL FILTRADO DE LA TRANSMISIÓN



5.2.8. Paso 8: Obtener la probabilidad de fallo

En la primera parte de este caso de aplicación se mostraba como desarrollar la jerarquía técnica para una planta y como identificar las funciones, los modos de fallo, las causas de fallo y las causas raíz. Una vez se hayan identificado los modos de fallo (para los componentes activos) y los mecanismos creíbles de degradación para los componentes estáticos, el siguiente paso en la evaluación del riesgo es determinar la **Probabilidad de fallo (PdF)**.

La probabilidad de fallo se define como la probabilidad de que ocurra el modo de fallo (de acuerdo con el modo de fallo dado) en un intervalo de tiempo definido T.

Se pueden utilizar varios métodos para calcular la PdF:

1. **Enfoque analítico:** Consiste en estimar la PdF utilizando modelos matemáticos y/o datos estadísticos para los procesos de degradación.
2. **Solicitud experta:** Consiste en dejar al equipo de expertos en RBM (compuesto por personal clave de la mina con conocimiento experto de los equipos) evaluar la PdF.

ASESORAMIENTO EXPERTO: Otra forma de evaluar las probabilidades de fallo, puede ser vía asesoramiento experto. Este proceso consiste en un equipo de trabajo encargado de encontrar respuestas a preguntas como:

- Cuál es el valor del “Tiempo Medio Hasta el Fallo” o “Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF)” para un cada elemento, considerando una estrategia de mantenimiento e inspección dada.
- Con qué frecuencia ocurre un fallo del tipo X considerando una estrategia de mantenimiento e inspección dada.

DESARROLLO: Para el presente problema de aplicación se someterá a la evaluación de probabilidad de fallos los casos detallados en el paso 7, y se le utilizara para tal fin el enfoque de: Solicitación de Expertos, basándonos en el peor de los escenarios.

Cuadro N° 32: Evaluación del Riesgo en consecuencia económica para los componentes principales del Sistema Transmisión del Camión Minero Modelo 797F donde la probabilidad de falla es dada por solicitud experta

I T E M	PARÁMETRO	SOLICITACIÓN EXPERTA	RIESGO
			F(t) X CONSECUENCIA ECONOMICA (US\$)
1	Falla en power shift, a causa de una fatiga de los componentes internos, lo cual ocasionara una falla al sistema de accionamiento, perdida de tracción súbita, con costos de reparación elevados y posibles daños a la seguridad del personal.	34.80 %	112 867.47
2	Falla total en el eje principal de la trasmisión debido a fallas en el proceso de fabricación, lo cual ocasionaría una pérdida total de la tracción del equipo, ocasionando daños a otros componentes del equipo (terceros) y consecuencias a la seguridad.	30%	5 899.18
3	Falla total en los engranajes delanteros de la trasmisión debido a fallas en el	30%	24 414.34

I T E M	PARÁMETRO	SOLICITACIÓN EXPERTA	RIESGO
			F(t) X CONSECUENCIA ECONOMICA (US\$)
	proceso de fabricación, lo cual ocasionaría una pérdida total de la tracción del equipo, ocasionando daños a otros componentes del equipo (terceros) y consecuencias a la seguridad.		
4	Falla total en los engranajes posteriores de la transmisión debido a fallas en el proceso de fabricación, lo cual ocasionaría una pérdida total de la tracción del equipo, ocasionando daños a otros componentes del equipo (terceros) y consecuencias a la seguridad.	30%	52 202.15
5	Falla en la bomba hidráulica de carga de la transmisión a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba, lo cual ocasionara que el equipo pierda la tracción total del equipo, elevados costos de reparación.	65%	4 624.66
6	Falla en la bomba lubricación de la transmisión a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba, lo cual ocasionara que el equipo pierda la tracción total del equipo, elevados costos de reparación.	65%	4 624.66
7	Falla en los platos y discos de la transmisión por deficiencias en su proceso de fabricación, ocasionando pérdida total de la tracción, contaminación del sistema, todo ello originalizaría riesgos a la seguridad y costos elevados de reparación.	45%	2 722.70
8	Falla en el sistema de control electrónico de la transmisión ocasionado por fallas de fabricación del componente, ocasionaría error en la fase de acoplamiento de los embragues y válvulas proporcionales de la transmisión, generando desgaste acelerado, calentamientos en la transmisión: operacionalmente se	65%	1 512.05

I T E M	PARÁMETRO	SOLICITACIÓN EXPERTA	RIESGO
			F(t) X CONSECUENCIA ECONOMICA (US\$)
	traduce en pérdida de tracción y control del equipo, costos medios de reparación, horas de paradas de producción, y posible daños a la seguridad.		
9	Falla en la bomba hidráulica de barrido de la transmisión a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba, lo cual ocasionara que el equipo pierda la tracción total del equipo, elevados costos de reparación.	65%	4 624.66
10	Falla en válvulas proporcionales debido a un control inadecuado del ECM , lo cual ocasionara presiones erróneas en los paquetes , generando desgaste y falla total de los paquetes y discos, contaminación del sistema: elevados costos de reparación, horas considerables de paradas del equipo, posibles consecuencias a la seguridad.	60%	9 619.51
11	Falla en los elementos de filtración del aceite hidráulico de la transmisión, por malos procesos de fabricación y la mala selección del propietario, ocasionara contaminación generalizada del sistema, fallas en componentes sensibles a contaminación como los controles de válvulas y los platos y discos de transmisión : tendrá consecuencias en los costos de reparación y horas improductivas del equipo.	75%	2 623.56
COSTO TOTAL DEL RIESGO DE LA CAJA TRANSMISION POR SOLICITACIÓN EXPERTA			112 867.47

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 33: Evaluación del Riesgo en consecuencia económica para los componentes principales del Sistema Transmisión del Camión Minero Modelo 797F donde la probabilidad de falla es dada por historia de fallas

I T E M	PARÁMETRO	PROBABILIDAD DE FALLO PdF		RIESGO
		ENFOQUE ANALÍTICO	ESTADISTICA	F(t) X CONSECUENCIA ECONOMICA (US\$)
1	Falla en power shfit, a causa de una fatiga de los componentes internos, lo cual ocasionara una falla al sistema de accionamiento, perdida de tracción súbita, con costos de reparación elevados y posibles daños a la seguridad del personal.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	68.99 %	223 742.76
2	Falla total en el eje principal de la transmisión debido a fallas en el proceso de fabricación, lo cual ocasionaría una pérdida total de la tracción del equipo, ocasionando daños a otros componentes del equipo (terceros) y consecuencias a la seguridad.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	48.31%	9 499.65
3	Falla total en los engranajes delanteros de la transmisión debido a fallas en el proceso de fabricación, lo cual ocasionaría una pérdida total de la tracción del equipo, ocasionando daños a otros componentes del equipo (terceros) y consecuencias a la seguridad.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	66.76%	54 330.04
4	Falla total en los engranajes posteriores de la transmisión debido a fallas en el proceso de fabricación, lo cual ocasionaría una pérdida total de la tracción del equipo, ocasionando daños a otros componentes del equipo (terceros) y consecuencias a la seguridad.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	81.57%	141 937.64
5	Falla en la bomba hidráulica de carga de la transmisión a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba, lo cual ocasionara que el equipo pierda	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$	0 %	0.00

I T E M	PARÁMETRO	PROBABILIDAD DE FALLO PdF		RIESGO
		ENFOQUE ANALÍTICO	ESTADISTICA	F(t) X CONSECUENCIA ECONOMICA (US\$)
	la tracción total del equipo, elevados costos de reparación.	siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación		
6	Falla en la bomba lubricación de la transmisión a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba, lo cual ocasionara que el equipo pierda la tracción total del equipo, elevados costos de reparación.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	0%	0.00
7	Falla en los platos y discos de la transmisión por deficiencias en su proceso de fabricación, ocasionando pérdida total de la tracción, contaminación del sistema, todo ello originalizaría riesgos a la seguridad y costos elevados de reparación.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	80.02%	5 693.31
8	Falla en el sistema de control electrónico de la transmisión ocasionado por fallas de fabricación del componente, ocasionaría error en la fase de acoplamiento de los embragues y válvulas proporcionales de la transmisión, generando desgaste acelerado, calentamientos en la transmisión: operacionalmente se traduce en perdida de tracción y control del equipo, costos medios de reparación, horas de paradas de producción, y posible daños a la seguridad.	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	0%	0.00
9	Falla en la bomba hidráulica de barrido de la transmisión a causa de desprendimiento del material de los engranajes de bomba, lo cual ocasionara que el equipo pierda la tracción total del	Modelo exponencial: $f(x) = -e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte.	0%	0.00

I T E M	PARÁMETRO	PROBABILIDAD DE FALLO PdF		RIESGO
		ENFOQUE ANALÍTICO	ESTADISTICA	F(t) X CONSECUENCIA ECONOMICA (US\$)
	equipo, elevados costos de reparación.	t: Tiempo de operación		
10	Falla en válvulas proporcionales debido a un control inadecuado del ECM , lo cual ocasionara presiones erróneas en los paquetes , generando desgaste y falla total de los paquetes y discos, contaminación del sistema: elevados costos de reparación, horas considerables de paradas del equipo, posibles consecuencias a la seguridad.	Modelo exponencial: $f x = - e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	76.61%	12 282.12
11	Falla en los elementos de filtración del aceite hidráulico de la transmisión, por malos procesos de fabricación y la mala selección del propietario, ocasionara contaminación generalizada del sistema, fallas en componentes sensibles a contaminación como los controles de válvulas y los platos y discos de transmisión : tendrá consecuencias en los costos de reparación y horas improductivas del equipo.	Modelo exponencial: $f x = - e^{-\lambda t} \approx \lambda t$ siendo λ : tasa de fallos cte. t: Tiempo de operación	0%	0.00
COSTO TOTAL DEL RIESGO DE LA CAJA TRANSMISION POR HISTORIA DE FALLAS				223 742.76

Fuente: Elaboración propia

5.2.9. Paso 9: Evaluación de la probabilidad de fallo

La metodología del RBM debe combinar la evaluación el riesgo para equipos estáticos y dinámicos, por tanto el riesgo debe ser medido de la misma forma para todos los equipos (ya sean estáticos o dinámicos).

La probabilidad de fallos se define como la probabilidad de que ocurra un fallo en el período de tiempo definido por el análisis (función de distribución):

$$PdF_T = F(T) = P(f < T) = \text{Probabilidad de que el equipo falle antes del instante T}$$

5.2.10. Paso 10: Evaluación de las consecuencias de fallo

La valoración de las consecuencias de fallo (CdF) tiene como objetivo principal evaluar el impacto de los modos de fallo.

Si la ocurrencia de un fallo tiene consecuencias importantes, se realizarán esfuerzos muy considerables para eliminar o minimizar dichas consecuencias. Esto es especialmente importante en el caso de que el fallo pueda herir o matar a alguien o incluso si puede provocar efectos serios en el medio ambiente.

Ocurre lo mismo con fallos que interfieren en la producción o que pueden causar daños secundarios.

Por otro lado, si el fallo únicamente tiene unas consecuencias menores, puede ser que no se realice ninguna acción proactiva y simplemente se corría el fallo cada vez que ocurre.

Para el desarrollo de esta metodología, vamos a dividir las consecuencias de fallo en cuatro categorías de acuerdo con el efecto del fallo:

- **Consecuencias en la seguridad.** Consecuencias instantáneas en personas, fuera o dentro del área de la planta.
- **Consecuencias en la salud.** Consecuencias a largo plazo en personas, fuera o dentro del área de la planta.
- **Consecuencias en el negocio.** Impacto económico que ocasiona el fallo. Pueden ser costes directos como interrupción de la producción, horas hombre requeridas para la producción, piezas de repuesto, etc. o costes indirectos.
- **Consecuencias medioambientales.** Consecuencias ecológicas locales o globales.

A continuación se realizara una valoración y disgregación de la consecuencia observadas para cada suceso no deseado: Escala de valoración del 0 al 100

- 0 : menor valor , menor impacto de la consecuencia
- 100 : valor más alto de la escala , grandes impactos del suceso no deseado



Cuadro N° 34: Evaluación de Riesgos de cada uno de Componentes de la Transmisión del Camión Volquete Minero Cat 797F

ITEM	SUCESO NO DESEADO	CONSECUENCIA AMBIENTAL		CONSECUENCIA A LA SEGURIDAD		CONSECUENCIA A LA PRODUCCIÓN		CONSECUENCIAS ECONÓMICAS		TOTAL
		Selección	Valor	Selección	Valor	Selección	Valor	Selección	Valor	
1	Falla del eje de accionamiento principal de la transmisión.		50		90		90		70	300
2	Falla del tren de engranajes delanteros de la transmisión.		50		90		90		70	300
3	Falla del tren de engranajes posteriores de la transmisión.		50		90		90		70	300
4	Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de carga de la transmisión.				70		80		90	240
5	Falla en el funcionamiento de la bomba de lubricación de la transmisión.				70		80		90	240
6	Falla en el funcionamiento de los platos y discos de fricción de la transmisión.		85		90		80		90	345
7	Falla de funcionamiento del control electrónico ECM, de la transmisión.				80		70		90	240
8	Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de barrido de la transmisión.				70		80		90	240
9	Falla en el funcionamiento de las válvulas proporcionales de accionamiento de los embragues de la transmisión power shift.				60		80		90	230
10	Falla en los elementos de filtración del sistema de la transmisión: screen magnéticos y filtros hidráulicos.		80		60		60		70	270

Fuente: Elaboración propia

5.2.11. Paso 11: Evaluación del riesgo

En esta etapa Consideramos el riesgo como la combinación de la probabilidad y la consecuencia de fallo. Una vez establecidos los modos de fallo y los escenarios, el riesgo se puede evaluar fácilmente.

Una definición de riesgo puede ser:

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad del fallo (PdF)} \times \text{Consecuencias del fallo (CdF)}$$

El riesgo se puede representar de forma gráfica mediante un diagrama de riesgo, o mediante una matriz de riesgos que se detalla a continuación:

LA MATRIZ DE RIESGO

El diagrama de riesgo se puede utilizar como herramienta de apoyo a la decisión cuando se analiza el riesgo asociado a los diferentes modos de fallo.

En el diagrama de riesgo, la PdF se dibuja en el eje de ordenadas y la CdF en el eje de abscisas. Si dividimos el diagrama de riesgo en una red mayada, obtenemos una matriz de riesgos con niveles de frecuencias de fallos, en el eje de ordenadas y niveles de consecuencias, en el eje de abscisas.

La escala de probabilidades abarca cinco niveles, clasificados de "Muy baja" a "Muy alta". Dichos niveles se clasifican según dos categorías fundamentales, tiempo medio entre fallos (MTBF) y probabilidad (f). El valor del MTBF representa la frecuencia de fallos técnicos y (f) indica la probabilidad de que ocurra un fallo con consecuencias en la seguridad, salud o medio ambiente. Este valor (f) se utiliza para tener en cuenta que no todos los fallos provocan consecuencias en la seguridad, salud o medio ambiente.

La escala de severidad permite clasificar los fallos según sus consecuencias (desde las que no tienen ninguna consecuencia más que su reparación, a las que tienen consecuencias catastróficas). Esta escala tiene en cuenta las consecuencias de los fallos sobre cuatro aspectos fundamentales:

- Consecuencias en la Seguridad
- Consecuencias en la Salud
- Consecuencias en el Medio Ambiente
- Consecuencias económicas

Figura N° 79: Matriz de riesgo 1: considerando probabilidad por Método analítico u opinión de expertos.

Matriz de riesgos:

		Consecuencias					
		A	B	C	D	E	F
Probabilidad	Muy alta	S	S	H	H	H	H
	Alta	M	S	S	H	H	H
	Moderada	M	M	S	S	H	H
	Baja	L	M	M	S	S	H
	Muy baja	L	L	M	M	S	S

Fuente: Khan & Haddara 2004

Así mismo se puede hacer uso de otra matriz de riesgos, donde la probabilidad puede perfectamente apoyarse en los valores del tiempo promedio entre fallas (**MTBF**), dependerá del nivel de información con que la empresa dichos valores al detalle. Si no se cuenta con dicha información al detalle se recomienda hacer uso del valor de probabilidad dada por los expertos o usar un método analítico que más se acerque a las necesidades y nivel de información que se maneje en la empresa.

		Consecuencias					
		0 → 576	577 → 2401	2401 → 4761	4762 → 7056	7057 → 8836	8837 → 10000
Probabilidad (MTBF años)	MTBF < 1	S	S	H	H	H	H
	1 ≤ MTBF ≤ 3	M	S	S	H	H	H
	3 < MTBF ≤ 10	M	M	S	S	H	H
	10 < MTBF ≤ 28	L	M	M	S	S	H
	MTBF > 28	L	L	M	M	S	S

Figura N° 80: Matriz de Riesgo 2: Considerando Valor de MTBF.

Fuente: Khan F.I., Haddara A M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). (p.145). Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición

DONDE:

- **Zona H:** Situada en la parte superior derecha de la matriz, corresponde a los fallos que tienen consecuencias inadmisibles, bien por la severidad de las mismas o bien por la probabilidad que tengan de ocurrir. No podemos admitir un fallo cuyo riesgo quede en esta zona, por eso esta zona es la de mayor prioridad de actuación. Hemos de eliminar o disminuir sus consecuencias o frecuencia de aparición.
- **Zona S:** Corresponde a fallos con un riesgo no deseable y solamente tolerable si no se puede realizar ninguna acción para reducir el riesgo o si el coste de hacerlo es muy desproporcionado en relación a la reducción que se conseguiría.
- **Zona M:** Corresponde a los fallos con riesgo aceptable. El óptimo sería que todos los fallos tuviesen sus consecuencias dentro de esta zona, pues representa la relación óptima desde el punto de vista riesgo-coste.
- **Zona L:** Situada en la parte inferior izquierda de la matriz. Esta zona corresponde a fallos con riesgo aceptable, aunque estaríamos dispuestos a aceptar riesgos mayores.

Si estamos realizando algún tipo de tarea de prevención para conseguir que el riesgo se sitúe en esta zona, podríamos plantearnos gastar menos en dichas tareas, pues estaríamos dispuestos a aceptar una severidad mayor (desplazándose hacia la derecha de la matriz), o una probabilidad de ocurrencia mayor (desplazándose hacia arriba en la matriz de riesgo), o ambas cosas al mismo tiempo.

RESULTADOS OBTENIDOS:

Para el presente caso de estudio desarrollaremos los lineamientos de la matriz de riesgo N°1, aquí se desarrollan los siguientes valores parametrizados y ordenados de probabilidad y consecuencia:

1. PROBABILIDAD:

DESCRIPCIÓN	VALOR
MUY ALTA	90% - 100%
ALTA	80% - 90%
MODERADO	50% a 80%
BAJO	30% a 50%
MUY BAJO	0% a 30%

2. CONSECUENCIAS:

DESCRIPCIÓN	VALOR
A	0 a 200
B	100 a 200
C	200 a 250
D	250 a 300
E	300 a 350
F	350 a 400

3. DESARROLLO DE LA EVALUACIÓN DEL RIESGO:

OBSERVACIÓN: Los resultados de la Matriz de Riesgo utilizada en el presente trabajo servirán para establecer prioridades a la hora de aplicar metodologías de mantenimiento y para la optimización de puntos débiles (para determinar los rediseños a realizar para eliminar consecuencias inaceptables).

Cuadro N° 35: Resumen de los Valores de Riesgo obtenidos de los Componentes de la Transmisión del Volquete Minero Modelo 797F

ITEM	SUCESO NO DESEADO	VALORACION DEL RIESGO
1	Falla en el eje de accionamiento principal de la transmisión	95
2	Falla de engranajes delanteros de la transmisión	95
3	Falla de engranajes posteriores de la transmisión	95
4	Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de la transmisión	160
5	Falla en el funcionamiento de la bomba lubricación de la transmisión	160
6	Falla en funcionamiento de los platos y discos de la transmisión o power shift	165.65
7	Falla en el funcionamiento del control electrónico de la transmisión ECM	166.5
8	Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de barrido de la transmisión	160
9	Falla en el funcionamiento de las válvulas proporcionales de accionamiento de la transmisión	138
10	Falla en los elementos de filtración del aceite hidráulico de la transmisión	212.5

Fuente: Elaboración propia

5.2.12. Paso 12: Redactar actividades de mantenimiento y reducción de riesgos

Un objetivo fundamental del RBM es la identificación de actividades que reduzcan los niveles de riesgo. La reducción del riesgo se consigue mediante:

- Reducción de la probabilidad del fallo
- Reducción de las consecuencias del fallo
- Una combinación de ambas

Las actividades de mantenimiento e inspección influyen fundamentalmente en la probabilidad de fallo. Sin embargo, conseguir modificar las consecuencias del fallo normalmente implica realizar cambios de diseño, lo cual no se consigue fácilmente en la fase operacional.

Las actividades de reducción de riesgos se basan en encontrar tareas de prevención o rediseño que desplacen los fallos correspondientes a la zona “H” de la matriz, hacia la zona “S” o “M” (reduciendo así, su severidad o su probabilidad).

Asimismo, se puede plantear reducir el gasto en las tareas correspondientes a fallos de la zona “L”, tratando de llevarlas a la zona “M” (estamos dispuestos a aceptar una probabilidad y/o un riesgo mayor).

El marco de decisión, a la hora de reducir riesgos debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Oportunidad para eliminar causas de fallo
- Riesgo del personal durante la ejecución de las actividades de inspección y mantenimiento
- Riesgo de introducir nuevas causas de fallo.

Si no se puede sustituir una actividad de mantenimiento por técnicas de monitorización, se pueden tomar medidas organizativas como la formación con el fin de reducir los riesgos del personal durante el mantenimiento y los riesgos de introducir fallos durante el mantenimiento.

Hemos visto anteriormente que a partir de los resultados obtenidos en la matriz de riesgo, podemos definir diferentes estrategias de mantenimiento, dependiendo de la criticidad del componente o equipo.

RECOMENDACIÓN DE ACTIVIDADES PARA CADA EVENTO NO DESEADO, DE ACUERDO AL CUADRO DE RIESGO DE CADA FALLA:

Se detallan las siguientes actividades de mantenimiento:

Cuadro N° 36: Descripciones de actividades de programación de mantenimiento para cada evento no deseado del cuadro de riesgos de cada falla para el Sistema de Transmisión del Camión Volquete Minero Modelo Cat 797F

CÓDIGO DE ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
ACTIVIDAD A	Se continuara con los programas de mantenimiento preventivo planificado anual.
ACTIVIDAD B	Se reduce el intervalo de horas entre mantenimientos preventivos programados en un 10 %.
ACTIVIDAD C	Se realizara una inspección en el campo antes de realizar su mantenimiento preventivo en los talleres (2 días antes).
ACTIVIDAD D	Se realizara una evaluación del funcionamiento del sistema antes de que equipo ingrese a su mantenimiento preventivo (1 día antes).
ACTIVIDAD E	Se aplicara la técnica de análisis de aceite programada en cada mantenimiento preventivo.
ACTIVIDAD F	Se aplicara la técnica de inspección termografía durante el funcionamiento del equipo.
ACTIVIDAD G	Se instalara un sistema de adquisición de datos para monitorear el sistema en mención en tiempo real.
ACTIVIDAD H	Se cambiaran el tipo de filtros usados hasta la fecha: Originales o de mejor eficiencia.
ACTIVIDAD I	Se realizara una inspección de ultrasonido al componente del sistema: Utilizando la técnica del análisis de ultrasonido.
ACTIVIDAD J	Se realizará inspección por videos copia en el sistema cuando se incremente cualquier parámetro crítico en la máquina.
ACTIVIDAD K	Se realizara una inspección de las vibraciones del componente del sistema: Utilizando la técnica del análisis de vibraciones.
ACTIVIDAD L	Re - inducción de operación a los operadores de dichos equipos.
ACTIVIDAD M	Se aplicara un rediseño de los parámetros de funcionamiento del equipo.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 37: Estrategias de Mantenimiento Implementadas a los Componentes de la Transmisión del Volquete Minero Cat Modelo 797F con el MBR

ITEM	SUCESO NO DESEADO	TIPO DE ACTIVIDAD												
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Falla en el eje de accionamiento principal de la transmisión	■			■		■	■		■		■	■	
2	Falla de engranajes delanteros de la transmisión	■			■	■	■	■			■	■	■	
3	Falla de engranajes posteriores de la transmisión	■			■	■	■	■			■	■	■	
4	Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de la transmisión.	■	■	■		■	■	■	■			■		
5	Falla en el funcionamiento de la bomba lubricación de la transmisión	■	■	■		■	■	■	■			■		
6	Falla en funcionamiento de los platos y discos de la transmisión o power shift	■			■	■	■	■			■	■	■	■
7	Falla en el funcionamiento del control electrónico de la transmisión ECM	■			■			■		■				■
8	Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de barrido de la transmisión	■	■	■		■	■	■	■			■		
9	Falla en el funcionamiento de las válvulas proporcionales de accionamiento de la transmisión.			■	■			■			■		■	■
10	Falla en los elementos de filtración del aceite hidráulico de la transmisión.	■			■			■	■				■	

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 38: Evaluación del Riesgo de cada uno de los Componentes de la Transmisión

SUCESO NO DESEADO		1. Falla en el eje de accionamiento principal de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)						
	BAJA (30 A 50%)					X	
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C							95

SUCESO NO DESEADO		2.Falla de engranajes delanteros de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)						
	BAJA (30 A 50%)					X	
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C							95

SUCESO NO DESEADO		3.Falla de engranajes posteriores de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)						
	BAJA (30 A 50%)					X	
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C							95

SUCESO NO DESEADO		4. Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)			X			
	BAJA (30 A 50%)						
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						160	

SUCESO NO DESEADO		5. Falla en el funcionamiento de la bomba lubricación de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)			X			
	BAJA (30 A 50%)						
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						160	

SUCESO NO DESEADO		6. Falla en funcionamiento de los platos y discos de la transmisión o power shift					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)						
	BAJA (30 A 50%)					X	
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						165.65	

SUCESO NO DESEADO		7. Falla en el funcionamiento del control electrónico de la transmisión ECM					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)			X			
	BAJA (30 A 50%)						
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						166.5	

SUCESO NO DESEADO		8. Falla en el funcionamiento de la bomba hidráulica de barrido de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)			X			
	BAJA (30 A 50%)						
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						160	

SUCESO NO DESEADO		9. Falla en el funcionamiento de las válvulas proporcionales de accionamiento de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B(100-200)	C(200-250)	D (250-300)	E(300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)			X			
	BAJA (30 A 50%)						
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						138	

SUCESO NO DESEADO		10. Falla en los elementos de filtración del aceite hidráulico de la transmisión					
CONSECUENCIAS							
PROBABILIDAD	VALORACIÓN	A (0 A 200)	B (100-200)	C (200-250)	D (250-300)	E (300 A 350)	F (350 A 400)
	MUY ALTA (90 -100%)						
	ALTA (80 A 90 %)						
	MODERADO (50 A 80%)				x		
	BAJA (30 A 50%)						
	MUY BAJA (0 A 30%)						
VALORACIÓN DEL RIESGO R=P X C						212.5	

Fuente: Elaboración propia



CONCLUSIONES

1. La metodología planteada de implementación del Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR en su evaluación de riesgos combinados con modelos de confiabilidad proporciona una base sólida para la toma de decisiones dentro de un amplio rango en la gestión de los activos o sistemas de los activos con la consiguiente optimización de las tareas de mantenimiento.
2. El Mantenimiento Basado en el Riesgo en el presente proyecto al sistema de transmisión donde el indicador es el riesgo se realiza por dos métodos; una por solicitud de expertos especializados que nos da un valor de US\$ 112 867.47 con una probabilidad de falla 34.80% como se observa en el Cuadro N°32; el otro método por el historial de fallas Anexo N° 8, 9 nos da un valor US\$ 223 712.76 con una probabilidad de falla de 66.89% como se observa Cuadro N°33.
3. La implementación de Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR ha permitido identificar los componentes críticos del sistema de transmisión como son en el orden siguiente; tren de engranajes posteriores, platos y discos de la transmisión, control de válvulas proporcionales de la transmisión, tren de engranajes delanteros de la transmisión, eje principal de la transmisión y de allí reducir el riesgo desde el punto económico y mantenerlo dentro de un nivel aceptable para el bien de la empresa.
4. La implementación de la metodología del Mantenimiento Basado en el Riesgo MBR proporcionara una serie de beneficios importantes a la empresa, dentro de los cuales podemos destacar :
 - Permite centrar la mayor atención en los elementos más críticos de la planta, con el ahorro y el aumento en la seguridad que ello conlleva.
 - Facilita la identificación del tipo de mantenimiento óptimo para los equipos a partir de la matriz de riesgos y el diagrama de decisión desarrollado.

- Los beneficios económicos se concretara aumentado la confiabilidad de los componentes del sistema de transmisión con el programa de mantenimiento detallado en el presente proyecto; partiendo de una confiabilidad inicial de 33.11% y luego aumentarla al 50% nos permitir ahorrar en corta plazo un valor de US\$ 65 590.94 por cada caja de transmisión.
- Programa planteado en el proyecto de actividades y estrategias de mantenimiento Cuadro N° 36 y 37 nos permitirá ser trasladado y aplicado a otros sistemas del volquete y por ultimo a todo el volquete minero CAT modelo 797F.



RECOMENDACIONES

1. Recomendamos con la obtención del riesgo de cada uno de los componentes de la transmisión en consecuencias económicas, daños del personal, en la instalación, medio ambiente o pérdidas de producción debemos realizar una retroalimentación constante para seguir evaluando periódicamente.
2. Se recomienda para la implementación del mantenimiento basado en el riesgo MBR en una empresa se debe asegurar el presupuesto en el área de mantenimiento como son proyecto de implementación, recursos económicos, personal y otros para dar el cumplimiento de ejecución desde el inicio hasta la gestión de indicadores y por ultimo para el mejoramiento continuo con la retroalimentación.
3. Recomendamos aplicar el plan de actividades de mantenimiento propuesto en este proyecto con el objetivo de ir disminuyendo el nivel de riesgo y hacer uso efectivo de los recursos disponibles para realizar las inspecciones y el mantenimiento de los componentes y partes de la transmisión del camión volquete minero CAT modelo 797F.

BIBLIOGRAFÍA

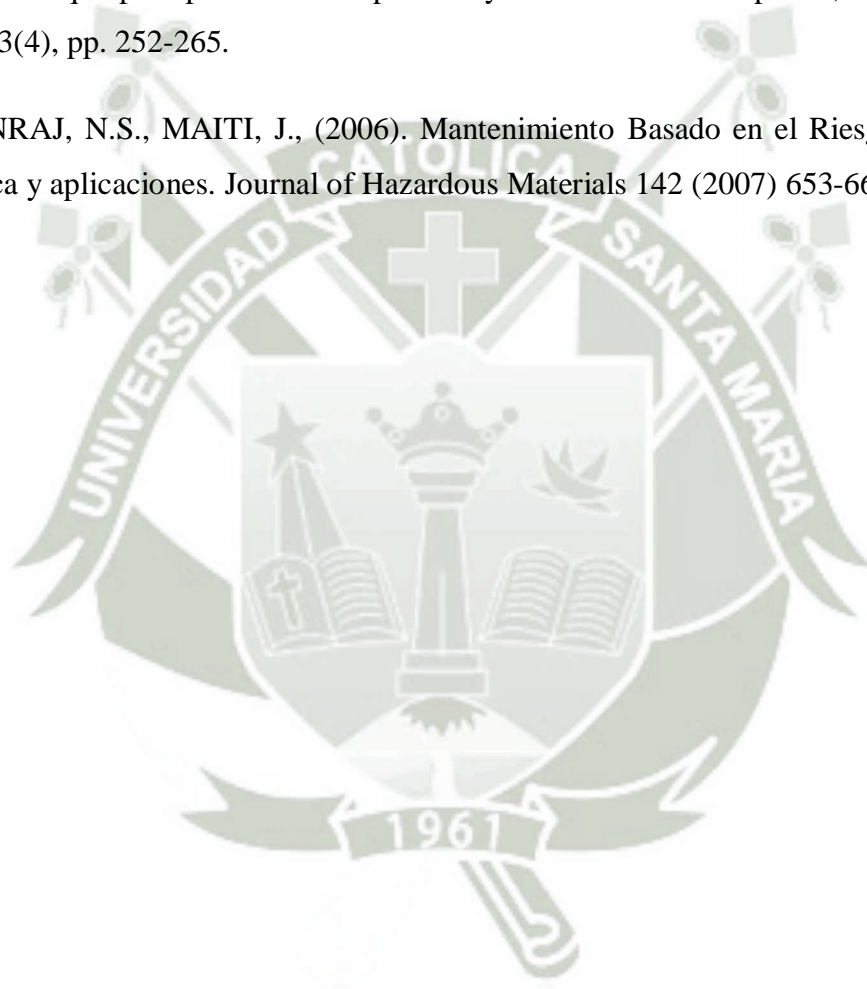
1. ACUÑA, J. A. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
2. ÁLVAREZ, J.A. (2010). Motores alternativos de Combustión Interna. Perú: Editorial. UPC.
3. ANDREANI, A. (2009). Ingeniería y Gestión de Confiabilidad Operacional en Plantas Industriales. Chile: Editorial Ril Editores Santiago de Chile.
4. ASBLY, M. F., David, R. H. & Jones R. H. (2008). Materiales para Ingeniería 1 Introducción a las Propiedades, las Aplicaciones y el Diseño. Barcelona: Editorial Reverte.
5. BERMÚDEZ, L. T., Rodríguez, F. L. (2013). Investigación en la Gestión Empresarial. Colombia: Editorial Eco Ediciones.
6. FERNÁNDEZ, S. (2007). Los Proyectos de Inversión. Evaluación Financiera. Costa Rica: Editorial. Tecnología de Costa Rica
7. HERNÁNDEZ, R., Fernández, C. & Baptista L. P.(2003). Metodología de la Investigación. México: Editorial Mc Graw Hill.
8. KHAN F.I., HADDARA M., (2008). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM): Las más Moderna Estrategia de Mantenimiento. Editorial Mc Graw Hill. España Pra Edición
9. MOUBRAY, J. (2004). Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Argentina: Editorial Bidles Ltd. Segunda Edición
10. ÑAUPAS, P. H., Mejía, E., Novoa, E. & Villagómez, A. (2013). Metodología de Investigación Científica y Elaboración de Tesis. Perú: Editorial Printed in Perú.
11. PARRA, C. A., Márquez, A., Crespo, M. (2012). Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Argentina: Editorial INGEMAN Primera Edición.

12. PATRICK, D. T., O'Connor, J. W. (1991). Ingeniería de Confiabilidad Práctica. España: Cuarta edición.
13. RASCHE, T. (1999). Desarrollo de una Metodología Mantenimiento Basado en Riesgos: Aplicación en la Industria Minera. EEUU: Editorial Universidad de Aberdeen.



ARTICULO

1. KHAN F.I., HADDARA M., (2004). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM): Un enfoque de programación de mantenimiento cuantitativo/ inspección y planificación. Vol. 16, pp. 561-573.
2. KHAN F.I., HADDARA M., (2004). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM): Un nuevo enfoque para proceso de inspección y mantenimiento de planta, Proceso Saf. Vol. 23(4), pp. 252-265.
3. ARUNRAJ, N.S., MAITI, J., (2006). Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)- Técnica y aplicaciones. Journal of Hazardous Materials 142 (2007) 653-661

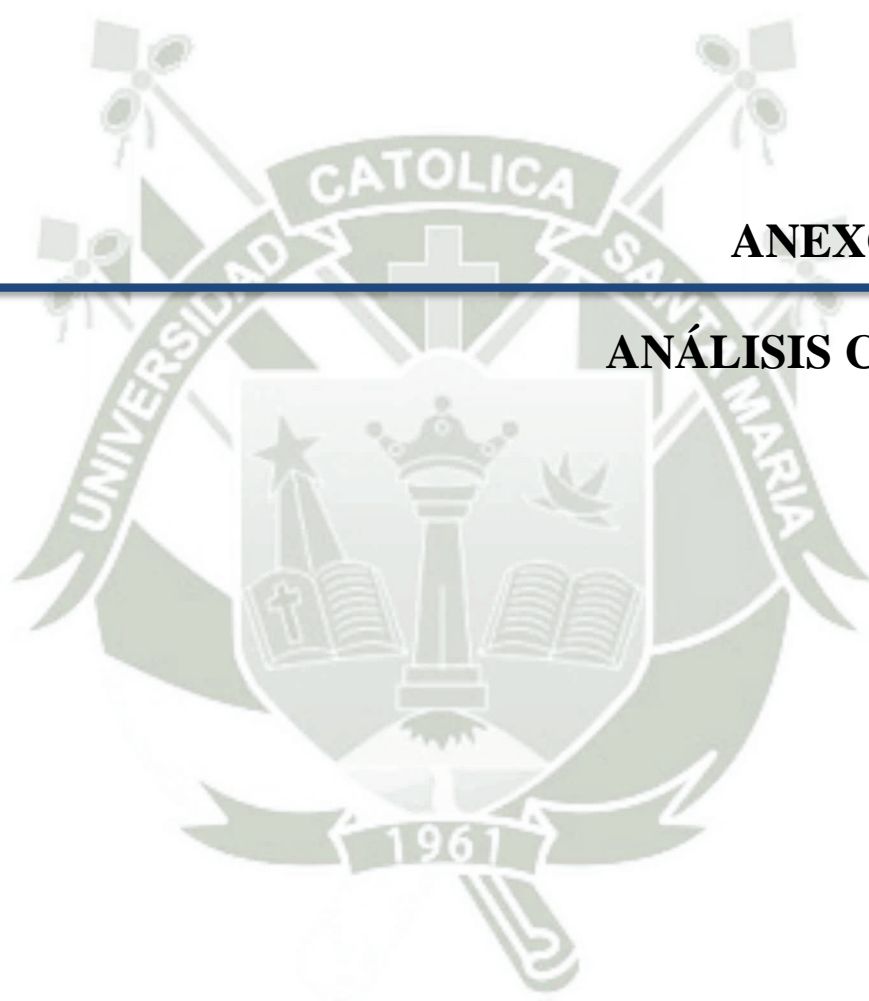




ANEXOS

ANEXO N°01

ANÁLISIS CASO 1



AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

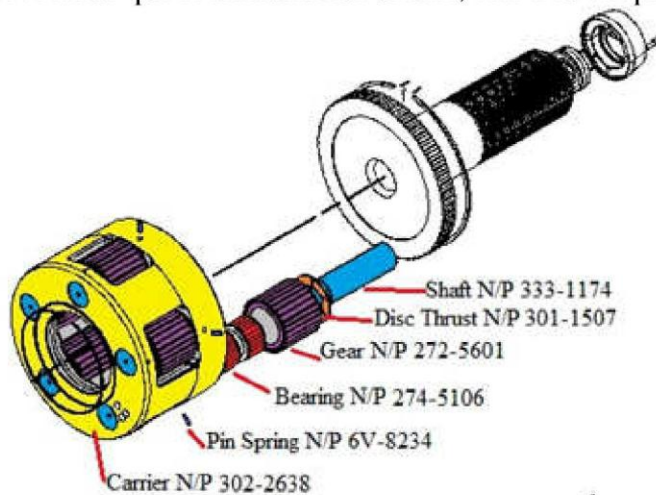
Lima, 12 de marzo de 2013

Cliente:	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	OT Cliente	SP13806 / SP13827
Modelo Máquina:	797F	Número Serie:	LAJ00237
Identificación Maq:	130	Horas Máquina:	10,621
Componente:	TRANSMISIÓN CONVERTIDOR /	OT Anterior:	NUEVO
Número de Parte:	316-5264 / 317-1017	Fecha Instalación:	22/06/2011
Horas Componente:	10,621	Fecha Falla:	15/02/2013
Síntoma de Falla:	Cliente reporta pérdida de potencia, se encuentra partículas metálicas en el screen de la Transmisión.		
Parte Generadora de Falla:	Eje N/P 333-1174 / Rodamiento N/P 5P-1669.		

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

Las partículas metálicas observadas en el screen de la transmisión tuvieron dos orígenes:

1.- Algunas de ellas provinieron de los desgastes y fracturas observadas en los componentes que se acoplan al Carrier #5 N/P 302-2698. La falla de los componentes tuvo su origen en los ejes N/P 333-1174 de los planetarios de dicho Carrier en los que se encontró desgaste por fatiga del tipo *spalling*. La superficie afectada por el desgaste así como las partículas metálicas que contaminaron el aceite provocaron restricción al movimiento del engranaje provocando que se fracturen sus dientes, esto a su vez provocó la rotura del pin spring del eje.

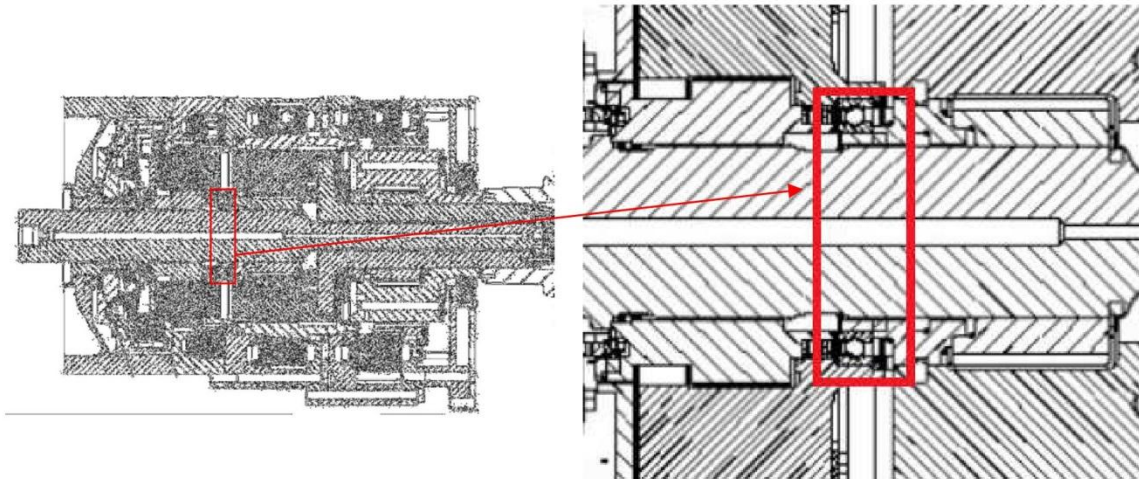


2.- Y algunas provinieron del material desprendido por fatiga por esfuerzos de contacto y la fractura de la canastilla observada en el rodamiento N/P 5P-1669.

AFA.CR38248, 55.01

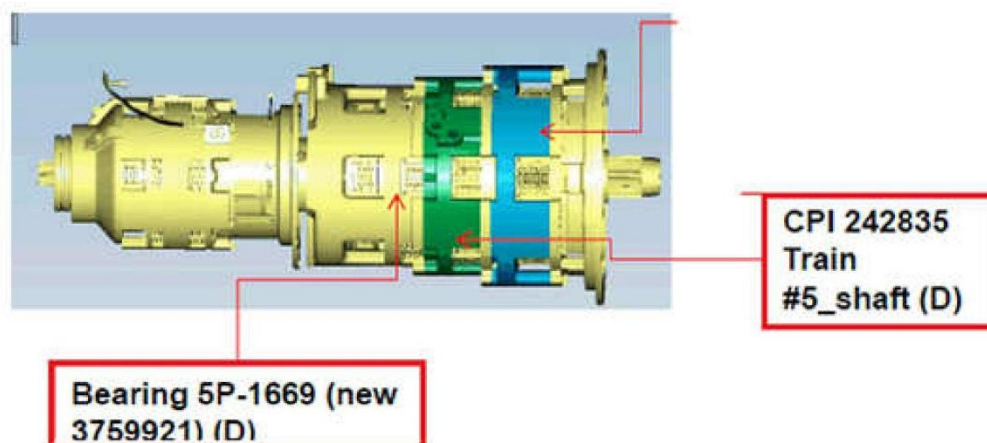
INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013



Se muestra la posición del rodamiento N/P 5P-1669 dentro del módulo posterior de la Transmisión.

Ambas fallas están relacionadas con problemas de producto (resistencia, dureza y/o diseño de las partes. Se descartaron problemas de contaminación y de baja viscosidad del aceite así como también problemas de operación ya que los discos y platos de los paquetes no mostraron signos de recalentamiento.



Los componentes del Módulo delantero de la Transmisión y el Convertidor tuvieron desgastes abrasivos a consecuencia de las partículas contaminantes generadas en el Módulo posterior.

AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013

ANTECEDENTES:

Análisis de aceite: el valor de las partículas de hierro y bronce estuvieron dentro de rangos normales por operación. En tres muestras se observaron un incremento del valor de las partículas de aluminio la cual sería causada por la presencia de silicio en el aceite.

Sample Date	Demora	SMU	Oil H.	Cu	Fe	Cr	Ni	Ti	V	Cd	Ag	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	Mo	B	Ba	Ca
12/02/2013	7	10628	271	4	7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	2	2	0	0	2	0	2719
09/02/2013	10	10592	235	3	4	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	2	1	0	2	0	2716
27/01/2013	4	10357	854	5	6	0	0	0	0	0	0	1	0	2	4	3	1	0	1	0	3206
14/01/2013	9	10121	618	3	5	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	2	1	0	2	0	2914
03/01/2013	8	9881	587	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	0	0	1	0	3133
13/12/2012	6	9503	209	2	5	0	0	0	0	0	0	1	0	4	6	3	1	0	0	0	3004
03/12/2012	3	9294	918	2	5	0	0	0	0	0	0	1	0	2	4	3	1	0	1	0	3118
07/11/2012	6	8804	428	1	4	0	0	0	0	0	0	1	0	2	4	2	1	0	1	0	2979
28/10/2012	8	8602	226	1	4	0	0	0	0	0	0	1	0	1	3	3	1	0	1	0	3044
16/10/2012	6	8376	1113	2	5	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	3	1	0	1	0	3152
02/10/2012	8	8089	826	2	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1	0	1	0	3011
18/09/2012	4	7806	543	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	3	2	0	1	0	3050
09/09/2012	1	7544	281	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	0	1	0	3073
27/08/2012	5	7397	134	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	2	1	0	0	0	2977
22/08/2012	6	7318	55	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5	2	2	0	0	0	3042
09/08/2012	2	7263	998	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	5	2	0	1	0	3065
14/07/2012	5	6730	535	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	3	2	1	0	1	0	2984
02/07/2012	5	6483	288	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	2	2	0	0	0	3094
17/06/2012	5	6195	1178	2	4	0	0	0	0	0	0	1	1	2	3	4	3	0	0	0	3029
04/06/2012	4	6013	996	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	2	0	1	0	3058
19/05/2012	5	5698	681	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	5	1	0	0	0	3055
05/05/2012	10	5453	436	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	1	0	0	0	3084
18/04/2012	5	5216	1312	3	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	2	0	0	0	3087
04/04/2012	5	5017	1113	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	3	1	0	1	0	2929
20/03/2012	7	4723	819	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	1	0	0	0	2960
06/03/2012	11	4462	559	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	3	1	0	1	0	2942
20/02/2012	5	4181	278	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	6	2	2	0	0	0	2913
06/02/2012	5	3903	1060	6	5	0	1	0	0	0	0	1	0	1	3	4	2	0	0	0	3005
23/01/2012	7	3630	787	5	4	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	5	1	0	0	0	3056
10/01/2012	4	3382	539	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	4	2	0	1	0	2878

Sample Date	Proceso	Cambio	Soot	Oxid	Nitr	Sulf	Visc. 100°C	PQ	ISO	Pvi	Refr.	Fuel	Agua
12/02/2013	19/02/2013	Y					10.9	40	23/21/1		N		N
09/02/2013	19/02/2013	N					10.7	35	20/16/1		N		N
27/01/2013	31/01/2013	Y					10.7	45	19/15/1		N		N
14/01/2013	23/01/2013	N					10.8	38	21/18/1		N		N
03/01/2013	11/01/2013	N					10.8	37	21/16/1		N		N
13/12/2012	19/12/2012	N					10.8	48	21/17/1		N		N
03/12/2012	06/12/2012	Y					10.8	25	20/17/1		N		N
07/11/2012	13/11/2012						10.7	30	20/18/1		N		N
28/10/2012	05/11/2012						10.9	34			N		N
16/10/2012	22/10/2012						10.8	30	21/18/1		N		N
02/10/2012	10/10/2012						10.8	32	19/16/1		N		N
18/09/2012	22/09/2012						11.0	44	21/17/1		N		N
09/09/2012	10/09/2012	No					10.8	44	19/13	2.0	Neg	Neg	Neg
27/08/2012	01/09/2012	No					10.9	45	19/13	.8	Neg	Neg	Neg
22/08/2012	28/08/2012	No					10.8	45	22/16	7.4	Neg	Neg	Neg
09/08/2012	11/08/2012	Yes					10.7	48	19/12	1.0	Neg	Neg	Neg
14/07/2012	19/07/2012	No					10.8	46	15/11	.1	Neg	Neg	Neg
02/07/2012	07/07/2012	No					10.9	46	19/14	1.4	Neg	Neg	Neg
17/06/2012	22/06/2012	Yes					10.7	44	17/13	1.7	Neg	Neg	Neg
04/06/2012	08/06/2012	No					10.8	39	17/12	2.0	Neg	Neg	Neg
19/05/2012	24/05/2012	No					10.9	43	18/13	1.4	Neg	Neg	Neg
05/05/2012	15/05/2012	No					10.8	54	18/11	1.0	Neg	Neg	Neg
18/04/2012	23/04/2012	No					10.9	52	19/13	1.8	Neg	Neg	Neg
04/04/2012	09/04/2012	No					10.8	38	17/10	.4	Neg	Neg	Neg
20/03/2012	27/03/2012	No					10.8	38	16/12	2.2	Neg	Neg	Neg
06/03/2012	17/03/2012	No					10.7	35	20/11	1.7	Neg	Neg	Neg
20/02/2012	25/02/2012	No					10.9	45	22/16	6.6	Neg	Neg	Neg
06/02/2012	11/02/2012	Yes					11.0	4	18/14	1.0	Neg	Neg	Neg
23/01/2012	30/01/2012	No					11.0	50	15/12	1.0	Neg	Neg	Neg
10/01/2012	14/01/2012	No					11.0	44	16/10	.0	Neg	Neg	Neg

AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013

INSPECCIÓN DE COMPONENTES EN EL CRC:

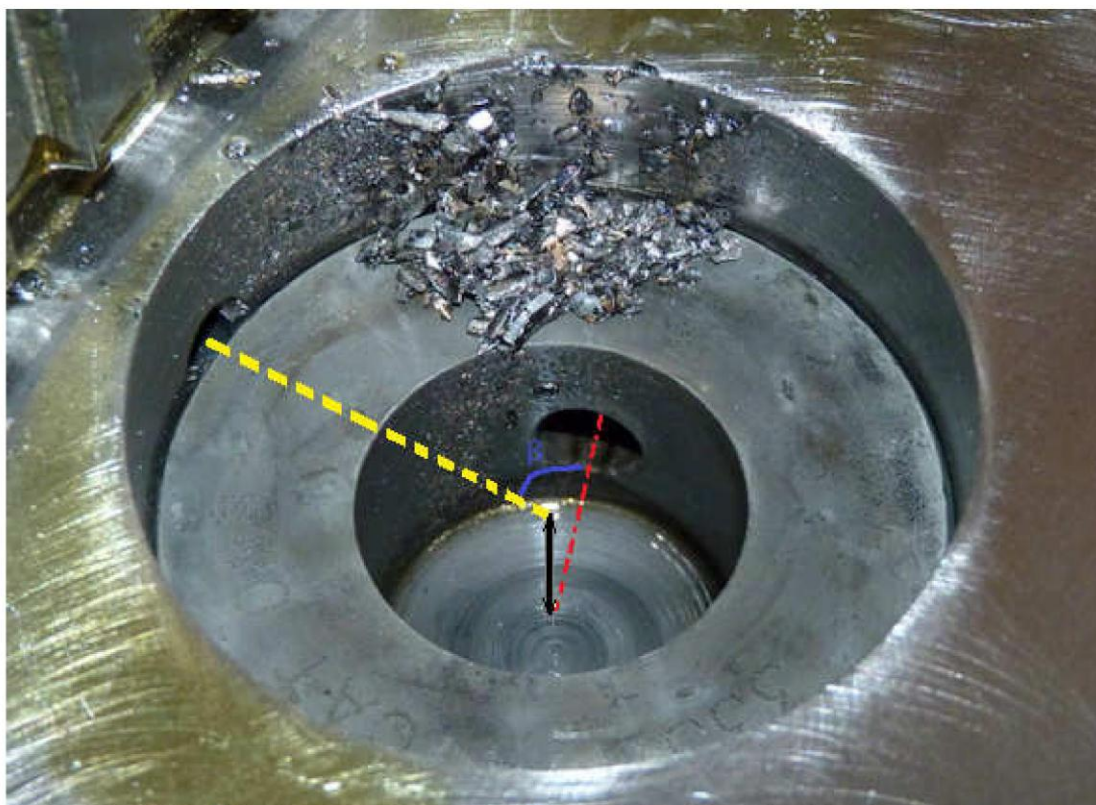


Se muestra el módulo posterior de la Transmisión.

AFA.CR38248, 55.01

**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 12 de marzo de 2013



Se observó que 1 de los 5 ejes pertenecientes al Carrier #5 se encontraba con el Pin Spring fracturado. Debido a ello el eje se desplazó en sentido axial. Se observó que el eje giró 50° aproximadamente en referencia al alojamiento del pin spring en el Carrier.

AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013



El eje llevaba inscrito el número de parte 333-1174.



Se tuvo problemas para desacoplar el Carrier #5. Se tuvo que realizar trabajos en el Área de Soldadura para desacoplar el componente.



En una superficie del eje N/P 333-1174 se observó desgaste por fatiga superficial de tipo spalling. La coloración por temperatura que se observa en el eje fue generado por el calor al momento de cortar los componentes del Carrier.

AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013



Se muestra el daño observado en el rodamiento N/P 5P-1669.

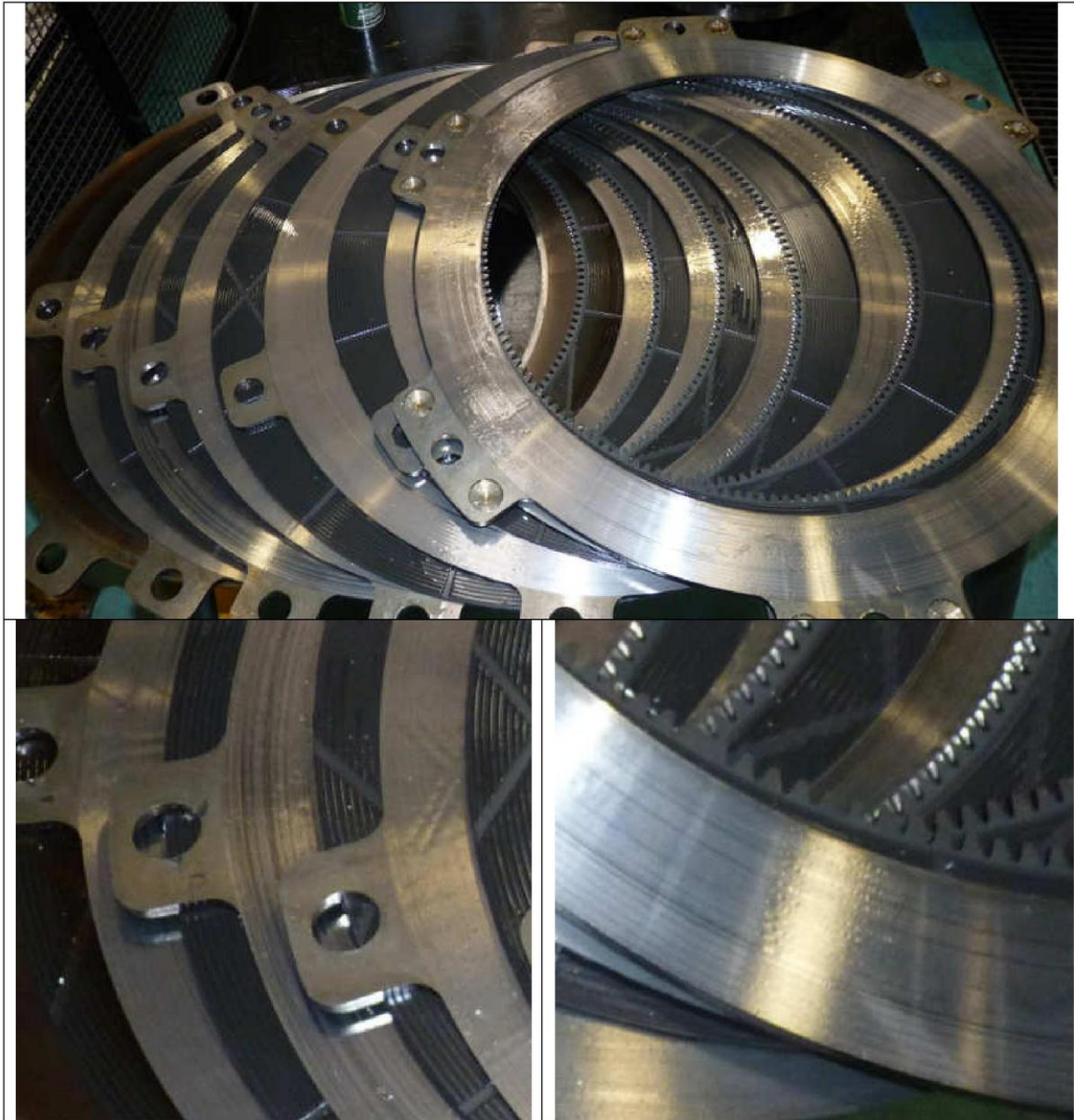


Paquete # 7. Los platos presentaron rayaduras circunferenciales a consecuencia de las partículas metálicas contaminantes, partes de éstas se encontraron adheridas a los discos de fricción.

AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013

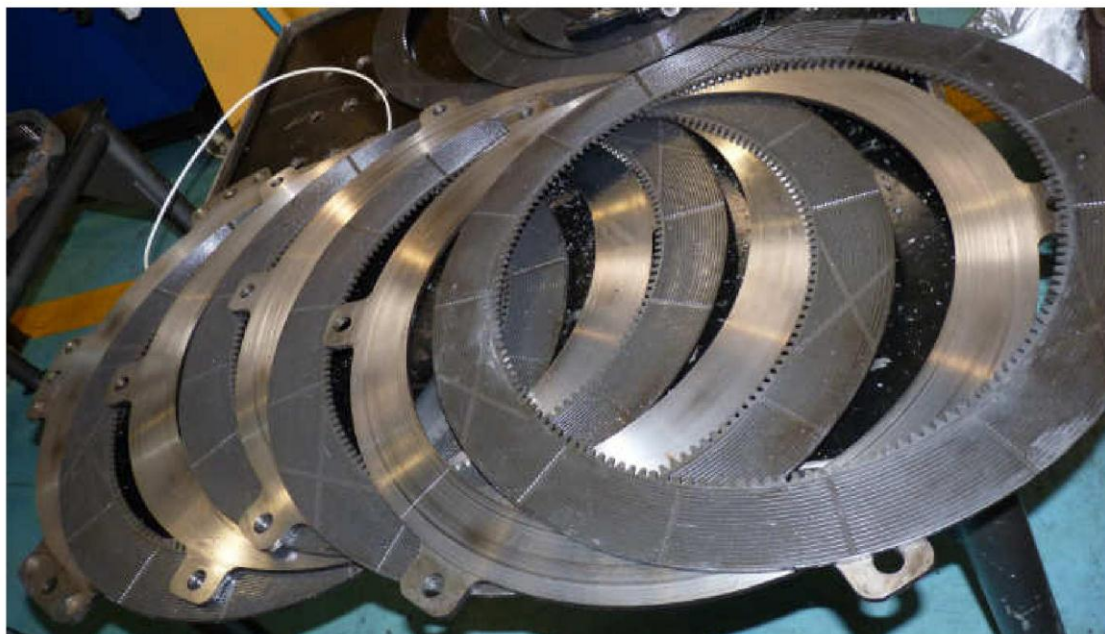


Paquete #6. Los platos presentaron rayaduras circunferenciales a consecuencia de las partículas metálicas contaminantes.

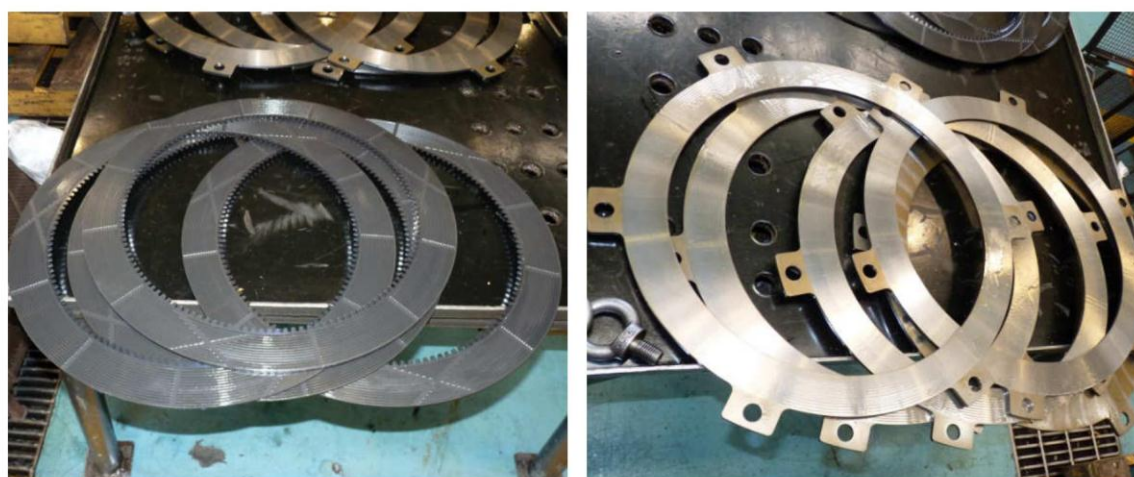
AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013



Paquete #5. Los platos presentaron rayaduras circunferenciales como consecuencia de las partículas metálicas contaminantes.



Paquete #4. Los platos presentaron ligeras rayaduras circunferenciales como consecuencia de las partículas metálicas contaminantes.

AFA.CR38248, 55.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 12 de marzo de 2013

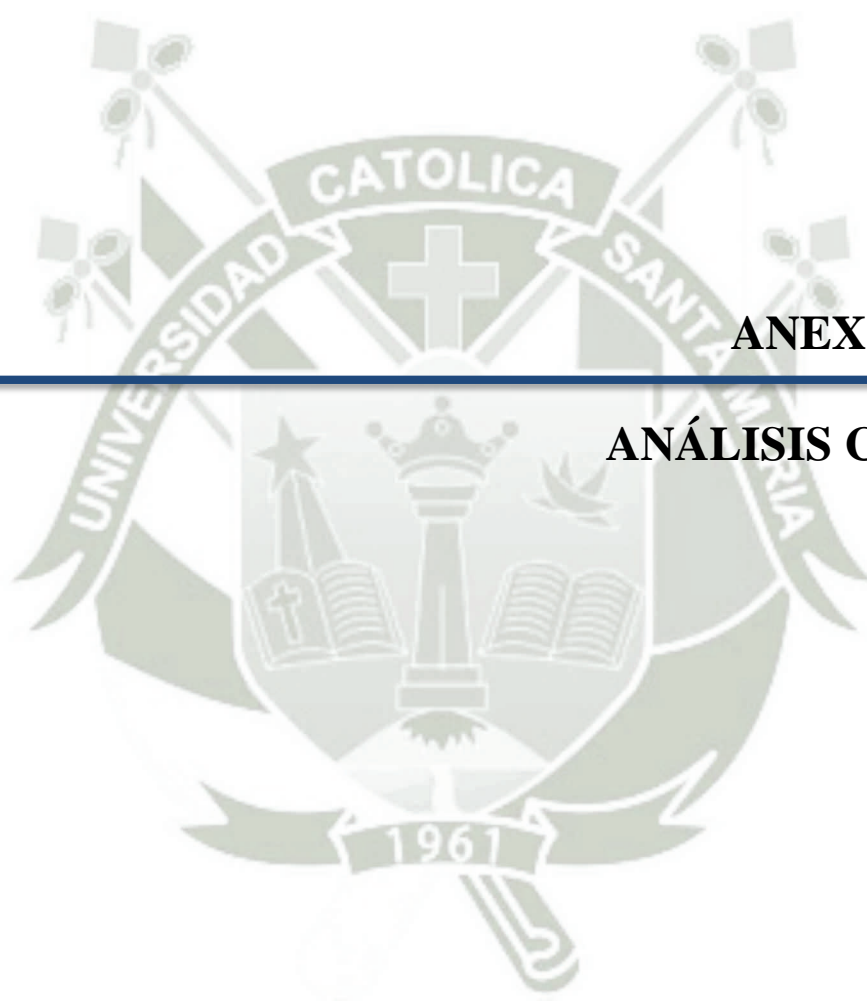
RECOMENDACIONES:

Reportar el caso a Fábrica.

Atentamente,

Ing. Jorge Hurtado
Analista de Fallas

Ing. Manuel Sarmiento
Jefe de AFA



ANEXO N°02

ANÁLISIS CASO 2

AFA.CR39519.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 26 de Agosto del 2013

Cliente:	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	OT Cliente	ST07006
Modelo Máquina:	797F US	Número Serie:	0LAJ00241
Identificación Maq:	797F-67	Horas Máquina:	4384

Componente:	TRANSMISION	OT Anterior:	NUEVO
Número de Parte:	272-3224	Fecha Instalación:	17/12/2012
Horas Componente:	4384	Fecha Falla:	10/08/2013

Síntoma de Falla:	En la inspección durante el Pm se encontró partículas de Fe en el Screen de la transmisión.
--------------------------	---

Parte Generadora de Falla:	151-2162 Discos de Fricción
-----------------------------------	-----------------------------

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

Durante el desarmado de la transmisión no se han encontrado partes internas en las que se estén desarrollando desgastes excesivos que justifiquen la presencia de partículas observadas en el screen magnético el 26/07/2013. En la inspección de screen magnético del 01/08/2013 no se vuelve a observar partículas metálicas y sólo se aprecia un pequeño fragmento de imán.

El único hecho anormal observado durante el desarmado corresponde a los signos de deslizamiento anormal de tres discos de fricción del paquete de embrague #7 (embrague sujeto a la mayor transmisión de torque). Este modo de falla en los discos de embrague #7, viene siendo estudiado actualmente por el fabricante.

ANTECEDENTES:

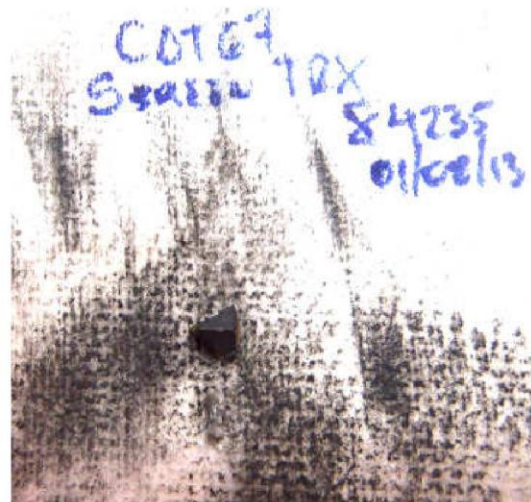
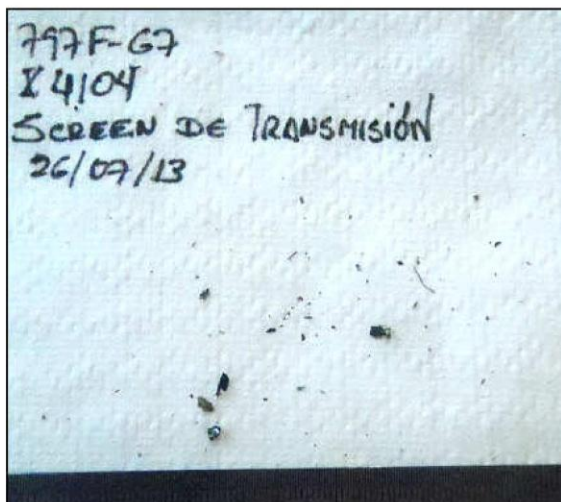
Historial de Inspección de Screen Magnético

Filters				Screens			
Description	Date	SMU		Description	Date	SMU	
Clean	2013-07-15	3910		Rubber Particles	2013-08-01	4235	
Clean	2013-07-15	3910		Sliding Particles	2013-07-26	4104	
Clean	2013-07-02	3662		Clean	2013-07-15	3910	
Clean	2013-05-22	2845		Clean	2013-07-14	3868	
				Clean	2013-07-06	3702	
				Rubber Particles	2013-06-27	3564	
				Sliding Particles	2013-06-24	3475	
				Clean	2013-06-20	3428	
				Disc Friction Particle	2013-06-18	3385	
				Clean	2013-05-22	2845	
Comentarios				Comentarios			
No presenta partículas de Fe visibles				Presencia de partícula de imán			

AFA.CR39519.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 26 de Agosto del 2013



Según el historial de inspección de screen magnético, lo observado el 01/08/2013, corresponde a un pequeño fragmento de imán. No se aprecian más partículas como las que se observaron el 26/07/2013.

Historial de Análisis de Aceite

Fecha Muestreo	Hrs Eqp	Hrs Oil	Cu	Fe	Cr	Ni	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	Ba	B	Mo	Ca	Mg	Mn	P	Zn	W	A	Visc 100	PQI	4μ	6μ	10μ	14μ	18μ	21μ	38μ	50μ	ISO	PVI
09-ago-13	4384	224	2	3	0	0	0	0	1	3	2	2	0	0	0	2834	12	0	1040	1121	N	N	10.9	42	15112	1849	141	29	10	5	1	0	21/18/12	0.72
29-jul-13	4160	250	2	3	0	0	0	0	1	3	3	2	0	0	0	3136	17	0	1001	1125	N	N	10.8	28	18272	2735	101	10	3	2	1	0	21/19/11	0.84
15-jul-13	3910	1065	6	6	0	0	0	0	1	3	2	2	0	0	0	3308	10	0	1181	1350	N	N	10.8	29	23655	2519	80	10	5	5	1	0	22/19/11	1
12-jul-13	3868	1023	6	5	0	0	0	0	1	4	2	3	0	0	0	3221	10	0	1056	1218	N	N	10.8	33	31714	6208	221	18	4	3	1	1	22/20/11	1.6
02-jul-13	3662	817	4	4	0	0	0	0	2	3	4	2	0	0	0	3143	9	0	1129	1361	N	N	10.8	33	8371	574	121	44	16	9	2	1	20/16/13	0.43
18-jun-13	3385	540	4	5	0	1	0	0	1	3	3	2	0	0	0	3124	10	0	1116	1319	N	N	10.7	30	7772	1234	193	50	18	8	0	0	20/17/13	0.5
05-jun-13	3121	276	3	3	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	0	3085	9	0	1027	1219	N	N	10.7	25	8534	523	71	29	11	5	0	0	20/16/12	0.39
22-may-13	2845	1075	7	4	0	1	1	0	1	3	2	2	0	0	0	3018	10	0	1009	1251	N	N	10.8	33	6229	1157	136	35	8	4	0	0	20/17/12	0.39
08-may-13	2571	801	6	4	0	1	1	0	1	3	3	1	0	0	0	3234	11	0	1133	1279	N	N	10.5	38	3086	147	16	9	5	4	1	0	19/14/10	0.13
24-abr-13	2289	519	5	4	0	1	1	0	0	4	3	1	0	0	0	3160	12	0	1139	1297	N	N	10.8	44	6338	1117	192	53	22	12	1	1	20/17/13	0.46
10-abr-13	2025	255	4	3	0	0	1	0	1	4	3	2	0	0	0	3030	11	0	1115	1206	N	N	10.7	38	9423	1449	50	7	3	3	0	0	20/18/10	0.45
28-mar-13	1770	995	1	4	0	3	1	0	1	17	3	2	0	0	0	3106	10	0	1172	1235	N	N	6.2	36	11091	210	16	7	5	4	2	2	21/15/10	0.39
14-mar-13	1504	729	9	6	0	1	1	0	1	4	3	2	0	0	0	3230	18	0	1018	1293	N	N	10.7	22	2268	74	21	11	6	5	1	1	18/13/11	0.11
28-feb-13	1243	468	5	4	0	0	1	0	1	3	4	1	0	0	0	2964	12	0	1031	1170	N	N	10.7	30	6487	282	63	24	9	8	2	1	20/15/12	0.29
13-feb-13	962	187	4	4	0	0	1	0	1	4	3	1	0	2	0	3014	13	0	1051	1174	N	N	10.7	40	572	56	17	6	4	3	0	0	16/13/10	0.05
01-feb-13	775	775	12	9	0	0	1	0	2	5	4	3	0	1	0	3227	26	1	1226	1226	N	N	10.8	33	13593	295	28	6	3	3	0	0	21/15/10	0.48
18-ene-13	514	514	9	9	0	0	1	0	2	5	3	2	0	1	0	2961	25	0	1101	1251	N	N	10.7	25	34097	638	78	27	14	8	5	4	22/16/12	1.21
05-ene-13	279	279	6	8	0	0	1	0	2	4	4	2	0	1	0	3031	26	0	1058	1207	N	N	10.6	35	4238	439	60	20	9	6	0	0	19/16/12	0.23
19-dic-12	46	46	2	6	0	0	1	0	2	4	2	1	0	1	0	2834	25	0	1032	1227	N	N	10.8	23	10431	364	70	34	24	19	8	6	21/16/12	0.45

AFA.CR39519.01

**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 26 de Agosto del 2013

INSPECCIÓN DE COMPONENTES EN CRC:

El único hecho anormal detectado durante el desarmado de la transmisión, son los signos de deslizamiento excesivo entre los platos y tres últimos discos (más alejados del pistón) del paquete de embrague #7.

OBSERVACIONES:

- La transmisión fue desmontada del equipo principalmente para aplicación de mejoras.

RECOMENDACIONES:

- Realizar el descarte de funcionamiento del control hidráulico en banco.

Atentamente,

Ing. Edgar Risco Díaz
Analista de Fallas

Ing. Manuel Sarmiento
Jefe AFA



ANEXO N°03

ANÁLISIS CASO 3

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Cliente:	XSTRATA TINTAYA S.A.	OT Cliente	PT12189
Modelo Máquina:	797F	Número Serie:	LAJ00196
Identificación Maq:	31-02	Horas Máquina:	15085

Componente:	TRANSMISION	OT Anterior:	CR35822
Número de Parte:	272-3224	Fecha Instalación:	30/10/2012
Horas Componente:	4773	Fecha Falla:	21/08/2013

Síntoma de Falla:	OPERADOR REPORTA PROBLEMAS EN LA TRANSMISION Y EVENTOS DE FILTROS TAPONADOS DE CONVERTIDOR Y TRANSMISION
--------------------------	--

Parte Generadora de Falla:	Embrague #01
-----------------------------------	--------------

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

La falla de la transmisión y los eventos de filtros taponados de convertidor y transmisión se debieron a la falla de los embragues #01 y #02, siendo más severos los daños en el embrague #01.

-Embrague #01.- Los discos de fricción n/p 113-7764 y platos n/p 9U-9829, se encontraron severamente recalentados y deflexionados. Los discos presentaron desprendimiento total de su material de fricción, llegándose observar su alma de acero completamente recalentada. En este embrague se encontró también fracturas dúctiles de los dowel que trabajan con los platos, esto debido a la deflexión de los platos y discos y al agarrotamiento en este embrague.

-Embrague #02.- Los discos de fricción n/p 140-6125 y platos n/p 9U-9844 también se encontraron con recalentamiento. Los platos se encontraron deflexionados y recalentados. Los discos de fricción se encontraron con desprendimiento total de su material de fricción, observándose su alma de acero con signos de recalentamiento.

Con la inspección hecha durante el desarmado, consultas al fabricante y análisis realizado, se concluye que la falla de la transmisión se inició con el desgaste del material de fricción y recalentamiento de los platos en el embrague #01, hecho que generó contaminación en el sistema hidráulico de la transmisión. En el alojamiento del spool de la válvula moduladora del embrague #2 se encontraron ralladuras producto de la contaminación en el sistema, por lo que no se descarta en este punto que la falla del embrague #02 sea consecuencia de la falla del embrague #01.

De lo anteriormente indicado, la falla del embrague #01 se debe a que durante la operación de la transmisión, se habrían generado problemas en los tiempos y/o presiones de llenado y retracción del embrague, lo cual es atribuible a problemas en el software de la transmisión (problema de producto).

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Se han descartado las siguientes condiciones que hubiesen podido ocasionar la falla del embrague #01:

Problemas de lubricación.- Si existiese problemas de baja lubricación, el train #01 es el que primero sufriría las consecuencias. En el presente caso se observó que hay sobrecalentamiento de platos y discos de los embragues #01 y #02, pero el train se encontró sin daños.

Sellos de los pistones extruídos y/o mordidos.- Los sellos de los pistones n/p 160-2405 y n/p 140-7023 del embrague #01 no presentaron daños por extrusión y/o mordedura, pero sí adherencia de partículas debido a la contaminación en este compartimento.

Problema en la válvula moduladora #01.- La válvulas moduladora del embrague #01 no presentó daños físicos, asimismo se verificó la resistencia de su solenoide, encontrándose en 8.8 ohmios (8.7 ± 4.0 Ohmios).

Presión de alivio principal.- No se cuenta con este dato antes de la falla de la transmisión, sin embargo el hecho de que la transmisión pasó sin problemas las últimas 03 calibraciones (11 de Junio, 07 de Julio y 10 de Agosto 2013), indica que la presión de alivio principal estuvo en el rango normal de operación.

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

ANTECEDENTES:

Información sobre la reparación anterior – CR35822:

Con la OT CR35822, la transmisión ingresó a reparación debido a la presencia de partículas ferrosas en el screen de la transmisión.

Informe técnico de evaluación de la transmisión:

TRANSMISION				
N/P CAT	N/P FESAA	REMAN	O/T Interna	HOROMETRO
272-3224	LAJ315073002	NO	PT08599	7360.00

Nº	Número de Parte	Nombre de Parte	Cantidad	Descripción del Desgaste	¿Fuera de Servicio?	Requiere Trabajo Exterior?
1	140-6125	DISC AS-FRICTION	1	Presenta signos de recalentamiento , disco cristalizado . Se reemplaza según Media Number - SEBF0031-13 Fig. 09	Sí	
2	140-7063	GEAR-PLANETARY	3	Presenta picadura destructiva en zona de carga del diente, con indicios de desprendimiento de material . Se reemplaza según SEBF0193-13 Fig. 60 y 61	Sí	
3	140-7113	DOWEL	6	Presenta desgaste escalonado en su Ø externo	Sí	
4	151-2162	DISC AS-FRICTION	3	Presenta signos de recalentamiento , disco cristalizado . Se reemplaza según Media Number - SEBF0031-13 Fig. 09	Sí	
5	179-0858	DISC-THRUST	8	Presenta ralladura profunda en superficie de contacto con engranaje planetario.	Sí	
6	140-7069	SHAFT AS-PLANETARY	3	Presenta indentación en su Ø externo, zona de contacto con bearing	Sí	
7	140-7059	GEAR-SUN	1	Presenta picadura destructiva en zona de carga del diente, con indicios de desprendimiento de material . Se reemplaza según SEBF0193-13 Fig. 60 y 61	Sí	
8	140-7070	PLATE	1	Presenta fractura.	Sí	
9	140-7071	CARRIER RING	1	Presenta daño en inserto roscado	No	Sí
10	262-6846	HOUSING CLUCTH	1	Presenta desgaste escalonado en su Ø interno, zona de trabajo de sello.	No	Sí
11	140-7114	RETAINER BEARING	1	Presenta ralladuras en su Ø externo , zona de contacto con bearing .	No	Sí
12	140-7147	MANIFOLD	1	Presenta daño en su Ø interno, zona de trabajo de sello.	No	Sí
13	255-0778	YOKE	1	Presenta desgaste escalonado en su Ø externo , zona de trabajo de sello.	No	Sí

Observaciones:

Se observa signos de recalentamiento en la transmisión (modulo posterior) específicamente en el clutch No. 7.

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Informe técnico de evaluación del control hidráulico:

Nº	Número de Parte	Nombre de Parte	Cantidad	Descripción del Desgaste	¿Fuera de Servicio?	Requiere Trabajo Exterior?
1	225-9492	VALVE GP-LUBE RELIEF	1	No presenta daño físico.	No	
2	286-7009	VALVE GP-RELIEF MAIN	1	No presenta daño físico.	No	

Observaciones:

Componentes se almacenan para su posterior armado.

Se aplica mejora - media number -SEPD1438-00

Informe técnico de evaluación del control hidráulico – parte eléctrica y válvulas moduladoras:

Nº	Número de Parte	Nombre de Parte	Cantidad	Descripción del Desgaste	¿Fuera de Servicio?	Requiere Trabajo Exterior?
1	244-3114	VALVE GP MODULATING	2	Presenta ralladuras y porosidad en alojamiento de spool .	Sí	
2	282-9106	HARNESS AS-CONTROL	1	No presenta daño físico .	No	
3	277-5291	HARNESS AS-TRANSMISSION	1	No presenta daño físico .	No	
4	196-1185	SENSOR GP-SPEED	1	No presenta daño físico .	No	
5	156-1382	SWITCH AS-DIFF PRESSURE	1	No presenta daño físico .	No	
6	159-3279	SENSOR GP-PRESSURE	1	No presenta daño físico .	No	
7	134-2252	SENSOR GP-TEMPERATURE	1	No presenta daño físico .	No	

Observaciones:

Se cotiza parte dañada.

Se reutilizan 5 válvulas moduladoras n/p 258-8987 en coordinación con supervisión.

Reparación parcial.

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Informe de prueba de la transmisión después de la reparación con la OT CR35822:

TEST REPORT

INFORMACION GENERAL

O/T: **CR35822**

SEG: **01**

OPE: **08**

CLIENTE:	TINTAYA				
Unidad	Modelo	Serie	Arreglo	Horas	Código
Máquina	797F	LAJ00196	-	0	
Transmisión		RIN00359	2723224	7360	LAJ315073002

797 Transmission Test Stand Test Results

External Leak Checks								PASS
External Leak Check								

Solenoid Resistance Test								PASS
Solenoid	1	2	3	4	5	6	7	
Ohms @ 70 F	9	9	9	9	9	9	9	9

Speed Sensor Test										PASS
Gear	Reverse	Neutral	1F	2F	3F	4F	5F	6F	7F	
Speed (rpm)	133	175	117	159	214	288	386	517	696	

Speed Checks – Medium and High Idle					
Reverse					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	350	PASS	370	PASS
Control Return P10	psi	49	PASS	123	PASS
Oil Press Sensor	% DC	33.9	PASS	69.2	PASS
Oil Temperature	F	123	PASS	128	PASS
Oil Temp Sensor	% DC	45.7	PASS	47.4	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.29	PASS	3.66	PASS
LUC Supply P8	psi	352	PASS	370	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.2	PASS	31.2	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.8	PASS	135.5	PASS
Lube Supply P2	psi	43.6	PASS	81.0	PASS
Front Lube P5	psi	30	PASS	57	PASS
Rear Lube P3	psi	2	PASS	57	PASS
Control Leakage	gpm	10.0	PASS	15.1	PASS
Input Power	hp	142.5	PASS	324.5	PASS

1st Forward					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	349	PASS	366	PASS
Control Return P10	psi	47	PASS	123	PASS
Oil Temperature	F	123	PASS	129	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.28	PASS	3.62	PASS
LUC Supply P8	psi	350	PASS	369	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.3	PASS	31.2	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.5	PASS	136.1	PASS
Lube Supply P2	psi	43.7	PASS	81.2	PASS
Front Lube P5	psi	30	PASS	57	PASS
Rear Lube P3	psi	3	PASS	57	PASS
Control Leakage	gpm	10.6	PASS	15.9	PASS
Input Power	hp	77.6	PASS	157.6	PASS

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

2nd Forward					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	350	PASS	367	PASS
Control Return P10	psi	47	PASS	121	PASS
Oil Temperature	°F	124	PASS	130	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.30	PASS	3.62	PASS
LUC Supply P8	psi	350	PASS	369	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.8	PASS	31.1	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.1	PASS	136.0	PASS
Lube Supply P2	psi	44.4	PASS	80.0	PASS
Front Lube P5	psi	30	PASS	57	PASS
Rear Lube P3	psi	3	PASS	57	PASS
Control Leakage	gpm	10.3	PASS	16.1	PASS
Input Power	hp	93.2	PASS	164.6	PASS

3rd Forward					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	348	PASS	365	PASS
Control Return P10	psi	50	PASS	123	PASS
Oil Temperature	°F	123	PASS	125	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.29	PASS	3.52	PASS
LUC Supply P8	psi	349	PASS	367	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.2	PASS	30.4	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.8	PASS	136.1	PASS
Lube Supply P2	psi	45.1	PASS	82.8	PASS
Front Lube P5	psi	31	PASS	60	PASS
Rear Lube P3	psi	3	PASS	60	PASS
Control Leakage	gpm	11.6	PASS	17.1	PASS
Input Power	hp	118.7	PASS	257.3	PASS

4th Forward					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	350	PASS	366	PASS
Control Return P10	psi	55	PASS	116	PASS
Oil Temperature	°F	125	PASS	129	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.31	PASS	3.55	PASS
LUC Supply P8	psi	352	PASS	368	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.7	PASS	31.3	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.9	PASS	136.0	PASS
Lube Supply P2	psi	44.5	PASS	81.1	PASS
Front Lube P5	psi	30	PASS	57	PASS
Rear Lube P3	psi	4	PASS	57	PASS
Control Leakage	gpm	11.1	PASS	14.6	PASS
Input Power	hp	84.2	PASS	153.2	PASS

5th Forward					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	348	PASS	366	PASS
Control Return P10	psi	51	PASS	124	PASS
Oil Temperature	°F	125	PASS	126	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.32	PASS	3.63	PASS
LUC Supply P8	psi	349	PASS	369	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.2	PASS	30.0	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	99.4	PASS	136.9	PASS
Lube Supply P2	psi	44.8	PASS	82.1	PASS
Front Lube P5	psi	31	PASS	59	PASS
Rear Lube P3	psi	3	PASS	59	PASS
Control Leakage	gpm	11.4	PASS	17.6	PASS
Input Power	hp	112.4	PASS	243.0	PASS

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

6th Forward					
	Units	1300 rpm	Status	1950 rpm	Status
Control Supply P1	psi	349	PASS	366	PASS
Control Return P10	psi	52	PASS	127	PASS
Oil Temperature	F	125	PASS	130	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.30	PASS	3.68	PASS
LUC Supply P8	psi	350	PASS	369	PASS
Front Lube Flow F1	gpm	22.4	PASS	31.2	PASS
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.7	PASS	136.2	PASS
Lube Supply P2	psi	44.0	PASS	81.0	PASS
Front Lube P5	psi	30	PASS	57	PASS
Rear Lube P3	psi	4	PASS	57	PASS
Control Leakage	gpm	11.6	PASS	17.2	PASS
Input Power	hp	121.0	PASS	238.9	PASS

7th Forward					
	Units	1300 rpm	Status	N/A	N/A
Control Supply P1	psi	347	PASS	N/A	N/A
Control Return P10	psi	50	PASS	N/A	N/A
Oil Temperature	F	126	PASS	N/A	N/A
LUC Supply Flow F5	gpm	3.30	PASS	N/A	N/A
LUC Supply P8	psi	348	PASS	N/A	N/A
Front Lube Flow F1	gpm	22.4	PASS	N/A	N/A
Rear Lube Flow F2-F1	gpm	98.4	PASS	N/A	N/A
Lube Supply P2	psi	45.5	PASS	N/A	N/A
Front Lube P5	psi	31	PASS	N/A	N/A
Rear Lube P3	psi	3	PASS	N/A	N/A
Control Leakage	gpm	13.5	PASS	N/A	N/A
Input Power	hp	189.7	PASS	N/A	N/A

Clutch Leakage Checks

Leakage Checks						
Clutch	Gear	Leakage (gpm)	Gear	Leakage (gpm)	Difference (gpm)	
1	3rd	17.1	1st	15.9	1.20	PASS
	3rd	17.1	2nd	16.1	1.00	PASS
	5th	17.6	4th	14.6	3.00	PASS
2	2nd	16.1	1st	15.9	0.20	PASS
	2nd	16.1	3rd	17.1	-1.00	PASS
	4th	14.6	5th	17.6	-3.00	PASS
3	1st	15.9	2nd	16.1	-0.20	PASS
	1st	15.9	3rd	17.1	-1.20	PASS

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

4	6th	17.2	2nd	16.1	1.10	PASS
	6th	17.2	4th	14.6	2.60	PASS
	6th	17.2	R	15.1	2.10	PASS
5	4th	14.6	2nd	16.1	-1.50	PASS
	4th	14.6	6th	17.2	-2.60	PASS
	4th	14.6	R	15.1	-0.50	PASS
	5th	14.6	3rd	17.1	0.50	PASS
6	2nd	16.1	4th	14.6	1.50	PASS
	2nd	16.1	6th	17.2	-1.10	PASS
	2nd	16.1	R	15.1	1.00	PASS
	3rd	17.1	5th	17.6	-0.50	PASS
7	R	15.1	2nd	16.1	-1.00	PASS
	R	15.1	4th	14.6	0.50	PASS
	R	15.1	6th	17.2	-2.10	PASS

Lube Checks

Front Lube Check – First Foward			
	Units		Status
Oil Temperature	F	124	PASS
Control Supply P1	psi	350	PASS
Control Return F4	gpm	55.0	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.38	PASS
LUC Supply P8	psi	350	PASS
Front Lube P5	psi	41.5	PASS
Rear Lube P3	psi	5.3	PASS

Front Lube Check – Forth Foward			
	Units		Status
Oil Temperature	F	124	PASS
Control Supply P1	psi	350	PASS
Control Return F4	gpm	55.3	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.41	PASS
LUC Supply P8	psi	351	PASS
Front Lube P5	psi	41.3	PASS
Rear Lube P3	psi	3.5	PASS

Front Lube Check – Seventh Foward			
	Units		Status
Oil Temperature	F	125	PASS
Control Supply P1	psi	347	PASS
Control Return F4	gpm	53.1	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.37	PASS
LUC Supply P8	psi	348	PASS
Front Lube P5	psi	44.0	PASS
Rear Lube P3	psi	3.6	PASS

Rear Lube Check – First Foward			
	Units		Status
Oil Temperature	F	126	PASS
Control Supply P1	psi	350	PASS
Control Return F4	gpm	51.5	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.45	PASS
LUC Supply P8	psi	350	PASS
Front Lube P5	psi	18.6	PASS
Rear Lube P3	psi	1.6	PASS

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Rear Lube Check – Forth Foward			
	Units		Status
Oil Temperature	°F	125	PASS
Control Supply P1	psi	350	PASS
Control Return F4	gpm	52.5	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.47	PASS
LUC Supply P8	psi	351	PASS
Front Lube P5	psi	19.3	PASS
Rear Lube P3	psi	2.7	PASS
Rear Lube Check – Seventh Foward			
	Units		Status
Oil Temperature	°F	125	PASS
Control Supply P1	psi	347	PASS
Control Return F4	gpm	50.9	PASS
LUC Supply Flow F5	gpm	3.44	PASS
LUC Supply P8	psi	348	PASS
Front Lube P5	psi	20.3	PASS
Rear Lube P3	psi	2.0	PASS

Información obtenida del PreaAFA:

OT TALLER FESA		COMPONENTE	TRANSMISIÓN
OT REP. OPERACIÓN	PT12189	N° DE PARTE DEL COMPONENTE	272-3224
OT ANTERIOR TALLER FESA	CR35822	PLAQUETEO N° FESA	LAJ315073002
N° INTERNO / MODELO	31-02 797F	HORAS DE COMPONENTE	4,773
N° DE SERIE MAQUINA	LAJ00196	FECHA INSTAL. COMPONENTE	30/10/2012
HORAS DE MAQUINA	15,085	FECHA DE DESMONTAJE	21/08/2013
SINTOMA DE FALLA: (Describir el síntoma(s) de falla, indicar si la falla fue imprevisita, ciclica, por monitoreo, u otro evento., lo cual llevo al cambio de componente.	Indicar si es falla repetitiva o no en la misma máquina o en la operación. OPERADOR REPORTA PROBLEMAS EN LA TRANSMISION Y EVENTOS DE FILTROS TAPONADOS DE CONVERTIDOR Y TRANSMISION.		
¿Qué pruebas o condición determinaron que este componente fuera desmontado?	Por ejemplo: filtros, rejillas magnéticas, VIMS, SOS, contaminación interna/externa, consumo de fluidos, condición de aplicación/operación de la máquina, otros. En el caso de haberse presentado fugas de aceite, adjuntar fotos en este reporte. SE ENCONTRO MATERIAL DE DISCOS DE TRANSMISION EN EL SCREEN ASI COMO EVENTOS DE FILTROS TAPONADOS DE CONVERTIDOR Y TRANSMISION.		
Describe el lugar de operación y el tipo de aplicación en la que ha estado trabajando la máquina.	TAJO MINA ACARREO DE MATERIAL, VIAS CON MANTENIMIENTO Y DIFERENTES PENDIENTES.		
TRABAJO REALIZADO PARA PONER OPERATIVO EL EQUIPO:	CAMBIO DE TRANSMISIÓN.		

EVENTOS DE TRANSMISION.

The picture show the logged events.

Códigos de eventos registrados [Reloj de diagnóstico = 15082.8107 horas] - Trans 797

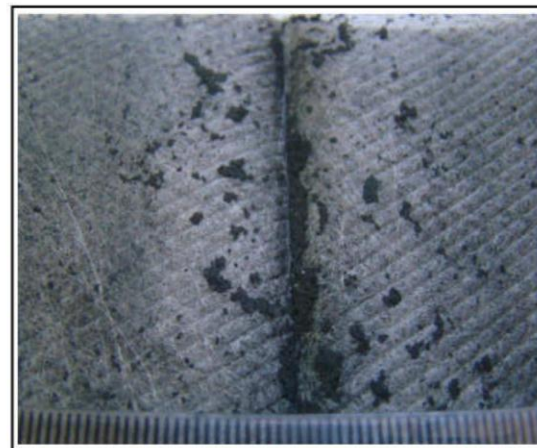
Código	Descripción	Veces	Primera	Última
E155 (2)	Temperatura alta del aceite de convertidor de par	2	15082	15082
E531 (3)	Bajo nivel de aceite de transmisión	1	15081	15081
E765 (2)	Filtro de carga de transmisión taponado	2	15077	15078
E766 (2)	Filtro del convertidor de par taponado	8	15076	15080

AFA.CR39672.01

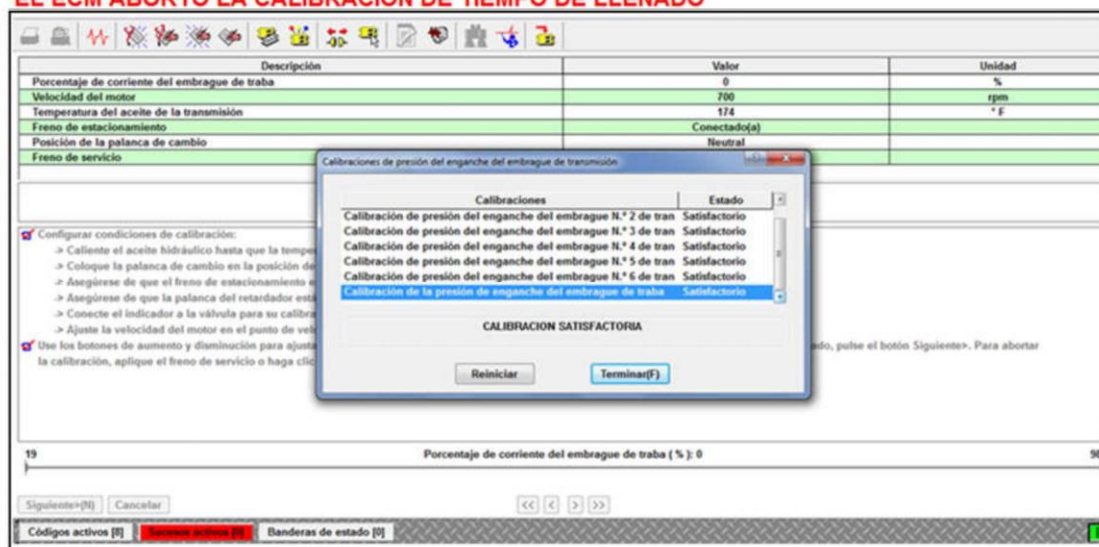
INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

FOTOS DE ESCRIBEN DE TRANSMISION POSTERIOR Y DELANTERO.



**SE REALIZO CALIBRACIONES DE EMBRAGUES DE TRANSMISION SATISFACTORIAMENTE,
EL ECM ABORTO LA CALIBRACION DE TIEMPO DE LLENADO**



Descripción	Valor	Unidad
Porcentaje de corriente del embrague de traba	0	%
Velocidad del motor	700	rpm
Temperatura del aceite de la transmisión	174	° F
Freno de estacionamiento	Conectado(a)	
Posición de la palanca de cambio	Neutral	
Freno de servicio		

Calibraciones	Estado
Calibración de presión del enganche del embrague N.º 2 de tran	Satisfactorio
Calibración de presión del enganche del embrague N.º 3 de tran	Satisfactorio
Calibración de presión del enganche del embrague N.º 4 de tran	Satisfactorio
Calibración de presión del enganche del embrague N.º 5 de tran	Satisfactorio
Calibración de presión del enganche del embrague N.º 6 de tran	Satisfactorio
Calibración de la presión de enganche del embrague de traba	Satisfactorio

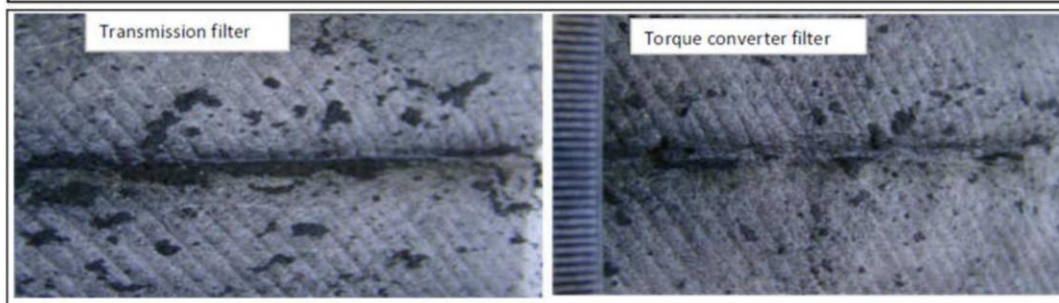
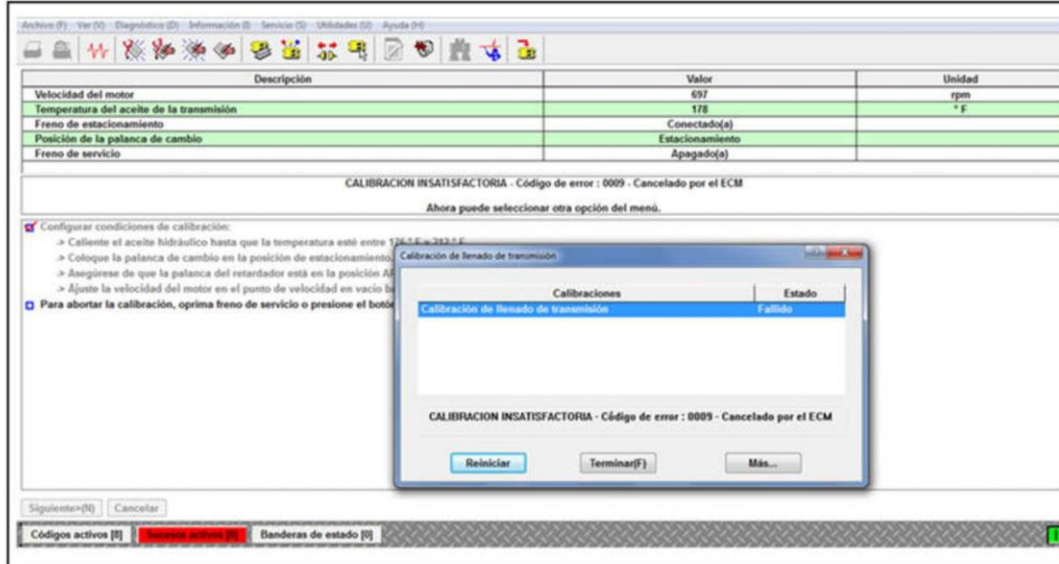
CALIBRACION SATISFACTORIA

Reiniciar Terminar(F)

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013



Historial de Aceite:

Componente	Fecha Muestreo	Hrs Eqp.	Hrs Oil	Cu	Fe	Cr	Ni	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	Ba	B	Mo	Ca	Mg	Mn	P	Zn	W	A	F	Visc 100	PQI	4µ	6µ	10µ	14µ	18µ	21µ	38µ	50µ	ISO	PVI
TRANSMISION	31-ago-13	15261	176	5	8	0	0	1	0	0	5	3	1	0	1	1	4141	11	0	940	1114	N	N	10.9	32	4860	772	111	27	6	2	0	0	0	19/17/12	0.29
TRANSMISION	21-ago-13	15085	348	1	11	0	0	0	0	2	4	1	1	0	1	1	4026	12	0	889	1096	N	N	10.8	45	26927	539	98	36	18	12	2	0	0	22/16/12	1.01
TRANSMISION	19-ago-13	15077	340	2	10	1	0	0	0	2	6	1	1	0	1	1	4061	13	2	904	1046	N	N	10.5	10.9	6524	17757	46946	10025	455	85	3	1	23/23/22	47.55	
TRANSMISION	10-ago-13	14997	260	2	7	0	0	0	0	1	5	0	1	0	1	1	3887	13	0	893	1085	N	N	11	38	7133	2357	595	257	134	92	6	1	20/18/15	1.2	
TRANSMISION	23-jul-13	14737	987	5	16	0	0	1	0	1	6	1	2	0	1	0	4029	12	0	948	1101	N	N	10.6	52	12154	1689	346	102	34	19	2	1	21/18/14	0.82	
TRANSMISION	07-jul-13	14430	680	4	14	0	0	1	0	1	6	2	1	0	2	0	4020	12	0	976	1085	N	N	10.5	36	2904	414	86	25	8	5	0	0	19/16/12	0.2	
TRANSMISION	18-jun-13	14088	1476	4	12	0	0	1	0	1	7	2	1	0	1	0	3919	13	0	964	1200	N	N	10.5	30	789	135	44	20	12	8	2	1	17/14/12	0.09	
TRANSMISION	11-jun-13	13934	1322	3	10	0	0	1	0	2	6	1	1	0	1	0	3821	13	0	864	1025	N	N	10.6	26	1317	156	40	18	11	7	0	0	18/14/11	0.11	
TRANSMISION	29-may-13	13750	1138	3	8	0	0	0	0	1	5	0	1	0	1	0	3806	11	0	936	1075	N	N	10.6	40	1888	338	70	26	8	5	0	0	18/16/12	0.16	
TRANSMISION	11-may-13	13444	832	2	8	0	0	1	0	1	5	1	0	0	1	0	3714	13	0	897	1041	N	N	10.5	42	1100	138	21	6	2	2	0	0	17/14/10	0.07	
TRANSMISION	24-abr-13	13122	510	2	5	0	0	0	0	0	5	2	0	0	1	1	4006	11	0	972	1112	N	N	10.4	41	1129	192	30	8	3	2	0	0	17/15/10	0.08	
TRANSMISION	20-abr-13	13067	455	2	5	0	0	0	0	1	5	2	1	0	1	0	4154	11	0	949	1084	N	N	10.7	31	3601	228	29	9	4	2	0	0	19/15/10	0.16	
TRANSMISION	08-abr-13	12835	223	1	5	0	0	0	0	0	6	1	1	0	1	0	3895	13	0	934	1015	N	N	10.6	31	6638	731	109	44	20	15	6	2	20/17/13	0.38	
TRANSMISION	03-abr-13	12760	148	1	5	0	0	0	0	0	6	1	1	0	1	1	3837	15	0	957	1094	N	N	10.6	26	3653	503	82	22	7	4	1	0	19/16/12	0.22	
TRANSMISION	23-mar-13	12612	1112	3	6	0	0	1	0	1	5	3	1	0	1	0	3868	18	0	974	1092	N	N	10.7	30	5274	389	47	11	4	2	0	0	20/16/11	0.24	
TRANSMISION	17-mar-13	12518	1018	3	6	0	0	1	0	1	5	2	1	0	1	0	3992	10	0	925	1078	N	N	10.8	56	6036	1489	318	147	96	78	5	1	20/18/14	0.82	
TRANSMISION	14-mar-13	12454	954	3	6	0	0	1	0	1	6	2	1	0	1	0	3962	10	0	916	1063	N	N	10.8	55	18138	5251	750	170	45	22	0	0	21/20/15	1.53	
TRANSMISION	04-mar-13	12288	788	2	4	0	0	0	0	0	5	3	1	0	1	0	4048	10	0	937	1054	N	N	10.7	43	1165	203	44	20	10	8	2	1	17/15/12	0.11	
TRANSMISION	19-feb-13	12060	560	2	6	0	0	0	0	1	5	2	1	0	1	0	4000	11	0	890	1006	N	N	10.8	30	7835	960	125	31	13	9	1	1	20/17/12	0.43	
TRANSMISION	02-feb-13	11777	277	2	4	0	0	0	0	1	5	2	1	0	4	0	3882	10	0	914	1039	N	N	10.8	30	2340	338	59	23	11	7	2	1	18/16/12	0.16	
TRANSMISION	14-ene-13	11500	298	5	8	0	0	1	0	2	10	0	1	0	1	0	4207	9	0	920	1056	N	N	10.7	29	3935	818	90	20	5	0	0	0	19/17/12	0.25	
TRANSMISION	27-dic-12	11202	972	12	12	0	0	1	0	2	24	4	1	1	1	0	3876	9	1	936	1045	N	N	10.7	45	49451	4566	50	11	5	3	1	1	23/19/11	1.97	
TRANSMISION	08-dic-12	10879	649	10	7	0	0	1	0	2	22	3	1	1	1	0	4299	11	1	954	1097	N	N	10.7	30	2390	444	92	34	19	11	2	1	18/16/12	0.21	
TRANSMISION	16-nov-12	10508	278	4	7	0	0	1	0	4	21	2	1	1	1	0	3764	9	0	814	962	N	N	10.8	35	65251	28640	4567	982	227	77	2	1	23/22/17	7.38	
TRANSMISION	13-nov-12	10396	166	3	4	0	0	0	0	2	25	2	1	1	1	0	3867	10	1	885	1028	N	N	10.7	31	25981	2013	284	108	54	28	2	1	22/18/14	1.31	
TRANSMISION	09-nov-12	10358	128	2	3	0	0	0	0	1	20	2	1	1	1	0	3826	9	0	869	1021	N	N	10.9	46	501	97	19	8	3	1	0	0	16/14/10	0.04	

En la muestra tomada 01 semana antes de la falla, se observan índices de desgaste dentro de los parámetros normales.

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Historial de Calibraciones de la Transmisión:

11/06/2013		13935 hrs.
Reporte: Picos altos en tiempos slip en la transmisión		
Raiz: Se realiza tarea por seguimiento		
Se realizo calibración de transmisión :		
	Valor Nominal	Valor Real
tap1	225	240
tap2	250	260
tap3	250	255
tap4	250	255
tap5	230	240
tap6	280	290
Lockup	310	315
Unidades en psi		

07/07/2013		14433 hrs.
Reporte: Calibración		
Raiz: Se realiza tarea por seguimiento		
Se realizo calibración de tx.		
	Real	Calibrado
1.	220	225
2.	240	250
3.	240	250
4.	260	250
5.	250	280
6.	255	280
Lockup	310	310
Unidades en psi.		
Se calibra tiempo de llenado de transmisión		
Se toma presiones de entrada a convertidor 20 psi bajas y 125 psi en altas		
Salida de de tc 22 psi bajas y 100 psi altas, cargas de transmisión 310 psi bajas rpm y 350 altas rpm, presión de lubricación modulo delantero 14 psi en bajas y 70 psi en altas.		
Presión delubricaciópn de transmisión bajas 14 psi y altas 90 psi.		

AFA.CR39672.01

**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 10 de Diciembre del 2013

10/08/2013	14999 hrs.
Reporte: 1. Tendencia de presencia de ojuelas de Fe en la rejilla magnetica. 2. Variacion de presiones del tiempo de llenado (cada vez que se realiza con el ET)	
Raiz: Seguimiento por tendencia de presencia de ojuelas de Fe en la rejilla magnetica.	
Se calienta los aceites de tc y tx, se toman presiones de tx y convertidor, sus presiones están dentro de lo especificado Se realizo la calibración de enganche de paquetes Calibración de tiempo de llenado Las presiones se dejan dentro de las especificaciones	

AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

INSPECCIÓN DEL COMPONENTE EN EL C.R.C.:

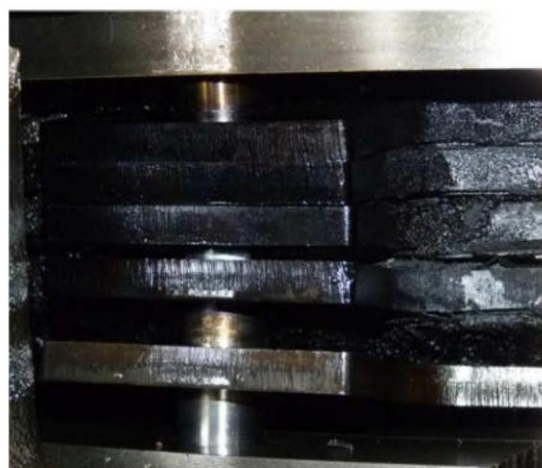
Vista general y datos de la transmisión.



Módulo frontal (embragues #01, 02 y 03)

Embrague #01:

En inspección visual realizada sin desarmar el embrague se pudo observar claramente severos daños por recalentamiento en los discos de fricción n/p 113-7764 y platos n/p 9U-9829 de este embrague. En la imagen de la derecha se puede observar que los platos se encuentran deflexionados.



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Al intentar desarmar el embrague, se encontraron severamente trabados los discos de fricción y platos, llegando incluso a observar fracturas dúctiles en los dowel que trabajan con los platos.



Debido a que no se pudo desarmar el embrague #01 con las herramientas propias del desarmado, dado el severo trabamiento de éste paquete, se procedió con la aplicación de oxicorte para la separación de los discos de fricción y platos.



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Los discos de este embrague se encontraron con desprendimiento total de su material de fricción, pudiéndose observar su alma de acero completamente recalentada.



Lo sellos de los pistones n/p 160-2405 y n/p 140-7023 del embrague #01 no presentaron daños por extrusión y/o mordedura, pero sí adherencia de partículas.



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Embrague #02:

En inspección visual realizada sin desarmar el embrague se pudo observar claramente daños en sus discos de fricción n/p 140-6125 y platos n/p 9U-9844. En la imagen de la derecha se muestra el plate clutch n/p 140-7160.



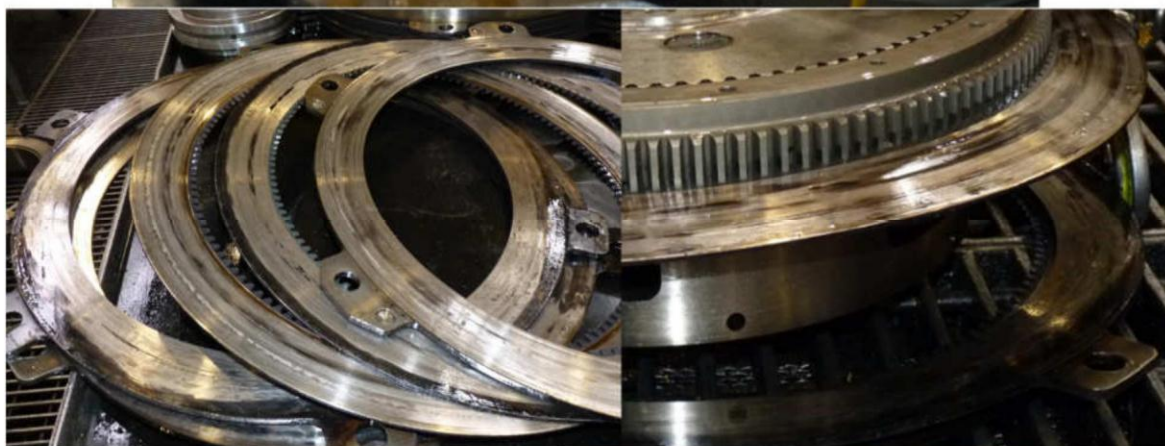
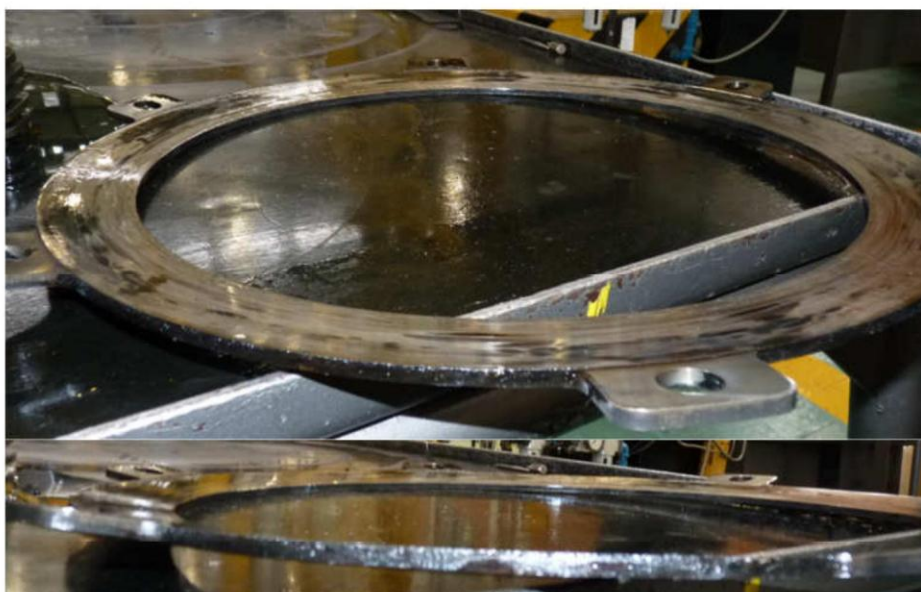
Los platos se encontraron deflexionados y recalentados. Los discos de fricción se encontraron con desprendimiento total de su material de fricción, observándose su alma de acero con signos de recalentamiento.



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

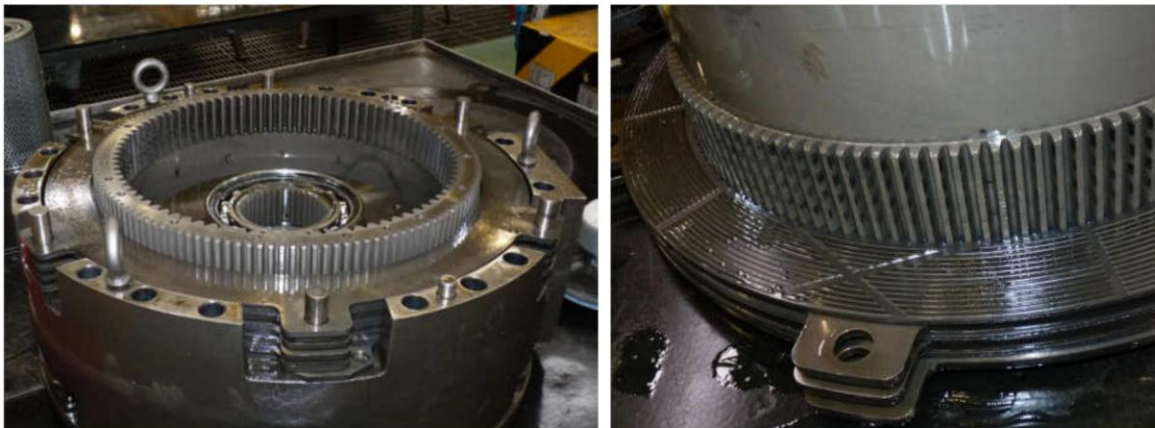
Lima, 10 de Diciembre del 2013

Los sellos del guard as n/p 140-7040 se encontraron sin daños por extrusión y/o mordedura y correctamente instalados en sus alojamientos.



Embrague #03:

Los discos de fricción n/p 140-6125 y los platos n/p 9U-9844 del embrague #03 no mostraron daños.



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Módulo posterior (embragues #04, 05, 06 y 07)



Los discos de fricción y platos del módulo posterior no presentaron mayores daños.



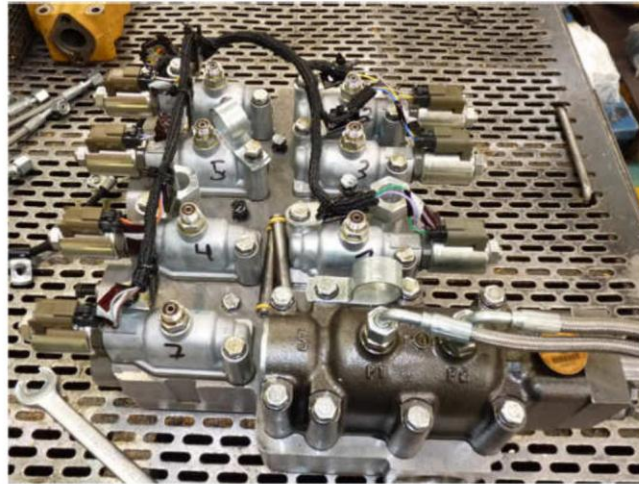
AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Control hidráulico:

Se realizó limpieza externa e inspección visual de cada una de las válvulas moduladoras de los 07 embragues.



El alojamiento del spool de la válvula moduladora del embrague #2 se encontró con ralladuras, en el resto de válvulas no se observaron ralladuras.

Las válvulas moduladoras de los embragues #1 y #3 tiene n/p 244-3114.

Las válvulas moduladoras de los embragues #2,4,5,6 y 7 tienen n/p 258-8987.

Válvula moduladora del embrague #01:



AFA.CR39672.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Válvula moduladora del embrague #02:



Válvula moduladora del embrague #03:



AFA.CR39672.01

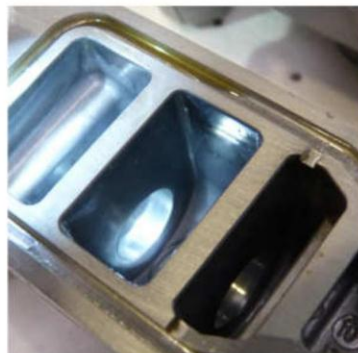
**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 10 de Diciembre del 2013

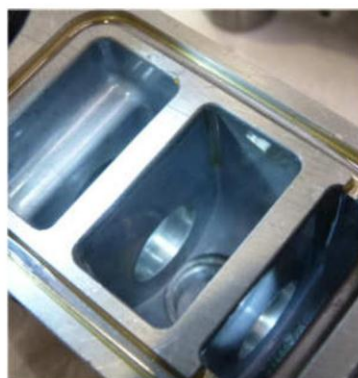
Válvula moduladora del embrague #04:



Válvula moduladora del embrague #05:



Válvula moduladora del embrague #06:



AFA.CR39672.01

**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 10 de Diciembre del 2013

Válvula moduladora del embrague #07:**OBSERVACIONES:**

Reportar el caso a fábrica.

Atentamente,

Ing. Luis Abad Medina
Analista de Fallas

Ing. Manuel Sarmiento
Jefe de AFA



ANEXO N°04

ANÁLISIS CASO 4

AFA.CR40315.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 13 de enero de 2014

Cliente:	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	OT Cliente	SP17617
Modelo Máquina:	797F	Número Serie:	LAJ00242
Identificación Maq:	136	Horas Máquina:	6,252
Componente:	TRANSMISIÓN	OT Anterior:	NUEVO
Número de Parte:	272-3224	Fecha Instalación:	29/12/2012
Horas Componente:	6,252	Fecha Falla:	20/11/2013
Síntoma de Falla:	Excesiva cantidad de partículas encontradas en la rejilla tanto magnéticas como de disco.		
Parte Generadora de Falla:	Pin N/P 112-4511		

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

Luego de observar y analizar los componentes de la transmisión se concluye que las partículas metálicas encontradas en la rejilla fueron generadas por el contacto entre uno de los cuatro Ejes N/P 140-7069 y el engranaje solar N/P 140-7086. El contacto entre las superficies antes mencionadas fue ocasionado por la fractura del Pin N/P 112-4511 que fija el Eje al Carrier. La causa más probable de la fractura del pin estaría relacionada a un problema de resistencia o manufactura (problema de producto).

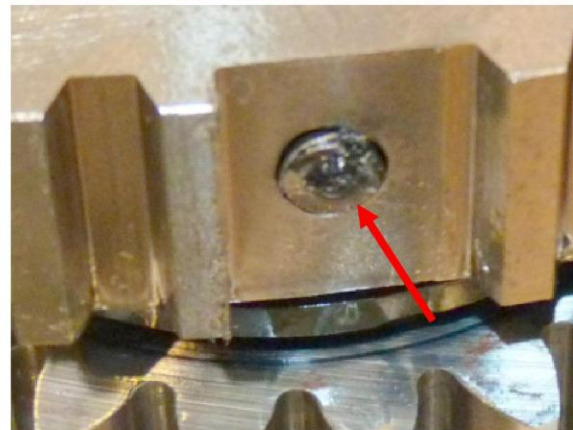
Durante el desarmado se halló recalentado los algunos discos N/P 151-2162 perteneciente al paquete #7, asimismo se observó desgaste y fatiga en el material de fricción de los discos N/P 140-6125. Los daños en los discos mencionados anteriormente, estarían relacionados con problemas del producto.

AFA.CR40315.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 13 de enero de 2014

INSPECCIÓN DE COMPONENTES EN EL CRC:



Uno de los cuatro Ejes N/P 140-7069 se halló desfasado de su alojamiento. El Pin Spring N/P 112-4512 que fija el Shaft antes mencionado presentó deformación en uno de sus extremos.

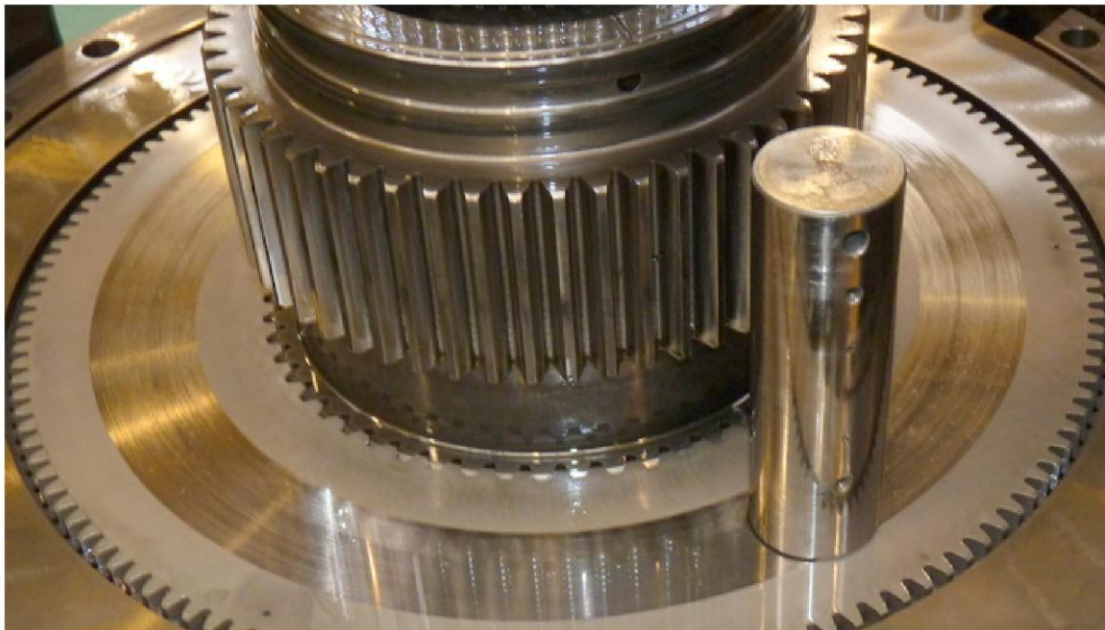
AFA.CR40315.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 13 de enero de 2014



Se muestra dos Pin Spring N/P 112-4512, el de la izquierda es el que presentó fractura y deformación, el de la derecha no tuvo daño. Nótese la diferencia de longitudes.



Al fracturarse el Pin Spring N/P 112-4512 el Shaft hizo contacto con el Gear As Sun N/P 140-7086 generándose partículas metálicas.

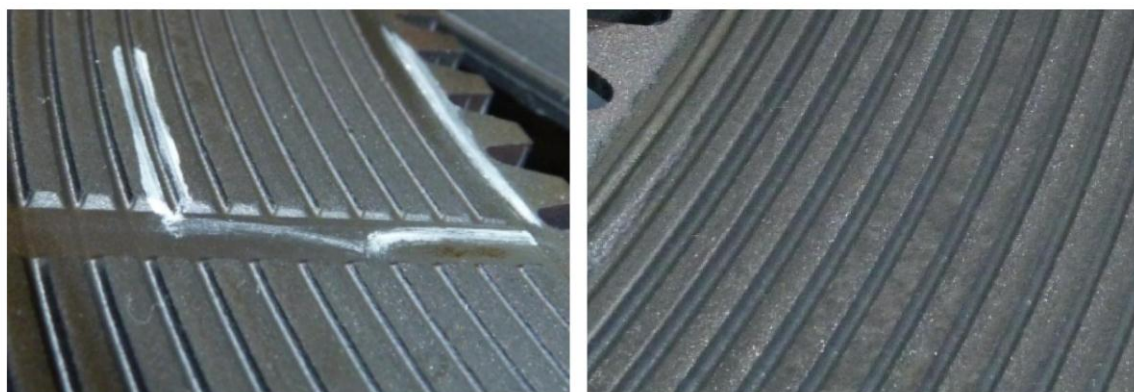
AFA.CR40315.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 13 de enero de 2014



Se observaron recalentados tres de los siete Discos de fricción N/P 151-2162 pertenecientes al séptimo paquete.



Se observó desgaste y fatiga en el material de fricción de los discos N/P 140-6125.

AFA.CR40315.01

**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 13 de enero de 2014

RECOMENDACIONES:

Reportar el caso al Fabricante.

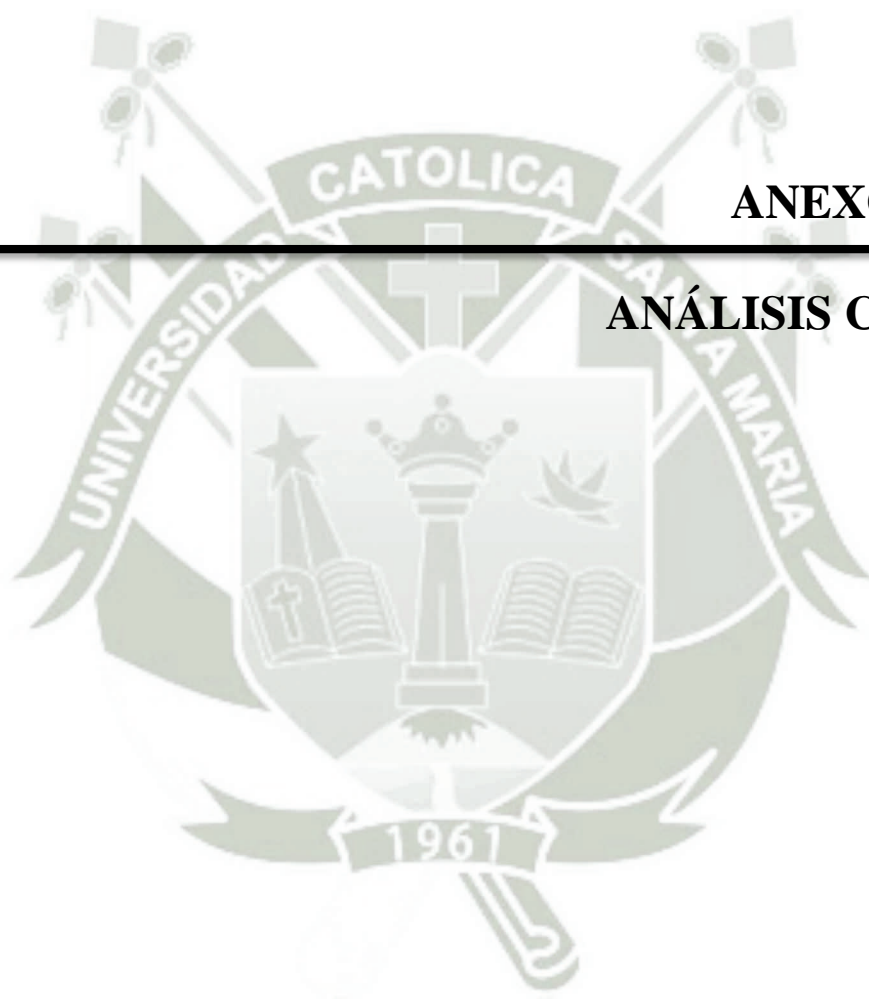
Atentamente,

Ing. Jorge Hurtado
Analista de Fallas

Ing. Manuel Sarmiento
Jefe de AFA

ANEXO N°05

ANÁLISIS CASO 5



AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

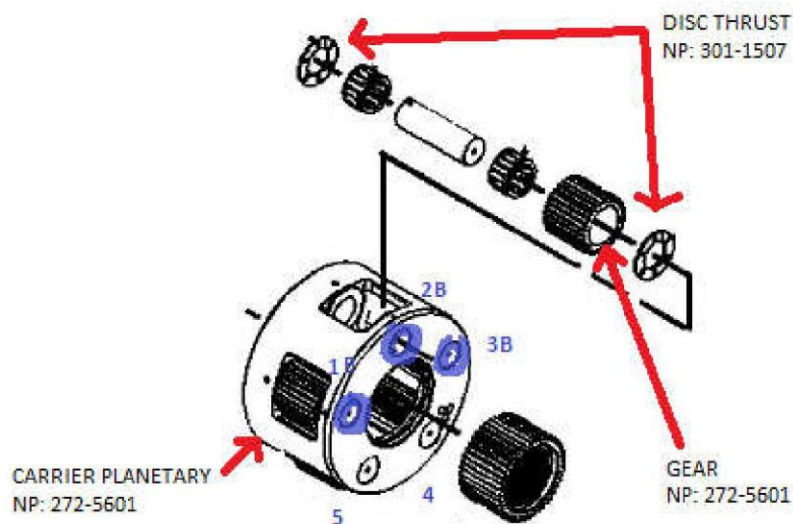
Cliente:	COMPAÑÍA MINERA ANTAPACCA Y S.A.	OT Cliente	PT17415
Modelo Máquina:	797F	Número Serie:	LAJ00196
Identificación Maq:	31-02	Horas Máquina:	26663
Componente:	TRASMISIÓN	OT Anterior:	NUEVO
Número de Parte:	316-5264	Fecha Instalación:	21/08/2013
Horas Componente:	11579	Fecha Falla:	02/05/2015
Síntoma de Falla:	La falla fue reportada por monitoreo indicando que existe elevado nivel de cobre en el aceite de transmisión		
Parte Generadora de Falla:	Carrier Planetary NP: 302-2638		

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

El elevado nivel de partículas de cobre en los resultados de análisis de aceite de la transmisión provinieron del desgaste abrasivo de 03 arandelas de empuje NP: 301-1507.

Este desgaste abrasivo se produjo por el deslizamiento de las arandelas contra superficies con altos valores de rugosidad que correspondieron a las caras 1B, 2B y 3B del portaplanetario NP. 302-2638, los cuales tienen valores diferenciados de rugosidad con respecto a las demás superficies equivalentes.

El alto valor de rugosidad corresponde a un problema de manufactura del producto portaplanetario NP: 302-2638.



AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

ANTECEDENTES:

Historial de Mantenimientos

OT	HOROMETRO	RSOCIAL	FAPERTURA	FFACTURA	SERIE	LAST LABOR	DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO
PT12132	15080	XSTRATA TINTAYA S.A.	13/08/2013	23/02/2014	0LAJ00196	22/08/2013	CAMBIO DE TRANSMISIÓN POR PRESENCIA DE FIERRO EN EL SCREEN DE LA TRANSMISIÓN - APOYO AL CLIENTE
PT12169	15085	XSTRATA TINTAYA S.A.	16/08/2013	30/12/2013	0LAJ00196	22/08/2013	COMMISSIONING DE TRANSMISIÓN
PT12416	15867	XSTRATA TINTAYA S.A.	02/10/2013	30/11/2013	0LAJ00196	04/10/2013	CALIBRACION DE PAQUETES DE TRANSMISION POR 500 HORAS
PT12696	16707	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	14/11/2013	26/11/2013	0LAJ00196	19/11/2013	EVALUACION DE LA TRANSMISIÓN POR CALENTAMIENTO 26/11/13 - DQA: EL SERVICE LETTER PAGA POR DOS
PT12567	17514	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	30/10/2013	07/02/2014	0LAJ00196	12/01/2014	1) RETIRAR TAPA DE CONTROL DE VALVULAS DE LA TRANSMISION, INSPECCIONAR SLEEVE TUBES DE LAS
PT13072	17778	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	22/01/2014	31/01/2014	0LAJ00196	25/01/2014	REALIZAR CALIBRACION DE PAQUETES DE LA TRANSMISION POR DISTORSION DE SLIP 4-3
PT13309	18383	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	21/02/2014	19/03/2014	0LAJ00196	25/02/2014	EVALUACION DE LA TRANSMISION, CALIBRACION DE PAQUETES, AJUSTE DE TIEMPO DE LLENADO
PT13857	19835	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCA	09/05/2014	14/05/2014	0LAJ00196	11/05/2014	APOYO EN LA EJECUCIÓN PM7
PT14358	20991	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	08/07/2014	14/07/2014	0LAJ00196	07/07/2014	DESMONTAJE E INSPECCIÓN DEL SCREEN DE TRANSMISIÓN
PT14402	21165	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	15/07/2014	17/07/2014	0LAJ00196	16/07/2014	CAMBIO DE MANGUERA DE RETORNO DE TRANSMISIÓN HACIA EL CONVERTIDOR
PT14472	21282	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	23/07/2014	31/07/2014	0LAJ00196	22/07/2014	CALIBRACION DE PRESIONES DE TRANSMISIÓN SOPORTE POR ESTRATEGIA 797F
PT15273	23397	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	07/11/2014	20/11/2014	0LAJ00196	11/11/2014	ACTUALIZACION DEL SOFTWARE DE LA TRANSMISION POR EL NUEVO FLASH QUE REDUCE LAS VIBRACIONES DEL
PT15530	23966	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCA	17/12/2014	23/12/2014	0LAJ00196	10/12/2014	PM7
PT17050	26342	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	16/04/2015	22/05/2015	0LAJ00196	15/04/2015	CAMBIO DE SWITCH DE NIVEL DE ACEITE DE TRANSMISION
PT17258	26670	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCA	29/04/2015	20/05/2015	0LAJ00196	04/05/2015	PM7
PT17261	26670	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCA	29/04/2015	20/05/2015	0LAJ00196	02/05/2015	TEST DE MOTOR (PM7)
PT17262	26670	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCA	29/04/2015	20/05/2015	0LAJ00196	02/05/2015	TEST DE EFICIENCIA DE FRENOS (PM7)
PT17310	26674	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	02/05/2015	20/05/2015	0LAJ00196	04/05/2015	CAMBIO DE TRANSMISION
PT17350	26675	COMPAÑIA MINERA ANTAPACCAY	03/05/2015	20/05/2015	0LAJ00196	04/05/2015	COMMISSIONING DE TRANSMISION

De la información recibida no se observan intervenciones mayores efectuadas en la transmisión durante sus 11576 horas operativas. Adicional a ello en el Informe Pre-Afa se indica que no se tienen intervenciones a la transmisión.

Resultados de Análisis de Aceite de la Transmisión

Fecha Muestreo	Valor Horometro	Horas Aceite	Tipo Aceite	Cu	Fe	Cr	Ni	Ti	V	Cd	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	Mo	B	Be	Ca	Mg	Mn	P	Zn	Cambio	Soot	Oxid	Nit	Sulf	Visc 40	Visc 100	PQ	ISO	PVI	Refri	Fuel	Water
02/05/2015	26663	363	30	54	14	0	0	0	0	0	7	1	2	5	2	2	1	1	0	3893	9	0	884	1080	Y	0	0	0	0	0	11.4	43	22/21/18	0	N	N	N
26/04/2015	26562	830	30	70	13	0	1	0	0	0	8	1	1	6	3	1	2	1	0	4010	11	0	887	1071	N	0	0	0	0	0	11.2	37	21/16/11	0	N	N	N
12/04/2015	26300	568	30	65	13	0	0	0	0	0	7	1	2	6	3	1	1	1	0	4174	9	0	874	1075	N	0	0	0	0	0	11.1	44	22/20/16	0	N	N	N
11/03/2015	25732	1154	30	51	9	0	0	0	0	0	6	1	1	6	2	1	1	1	0	4150	9	0	884	1083	N	0	0	0	0	0	11.1	49	23/22/15	0	N	N	N
23/02/2015	25449	871	30	58	8	0	0	0	0	0	7	1	1	5	2	1	1	2	0	4014	9	0	865	1081	N	0	0	0	0	0	11	49	22/20/16	0	N	N	N
16/02/2015	25317	739	30	53	8	0	0	0	0	0	5	1	1	5	2	0	1	2	0	3936	9	0	853	1045	N	0	0	0	0	0	11.4	46	22/17/13	0	N	N	N
07/02/2015	25158	580	30	51	7	0	0	0	0	0	6	1	1	5	2	0	1	1	0	3908	9	0	853	1048	N	0	0	0	0	0	11.2	42	20/18/14	0	N	N	N
22/01/2015	24818	240	30	43	6	0	0	0	0	0	4	0	1	5	2	0	1	1	0	3970	10	0	866	1071	N	0	0	0	0	0	11.1	40	19/17/12	0	N	N	N
09/01/2015	24578	612	30	50	6	0	0	0	0	0	6	1	1	4	2	0	1	1	0	4030	9	0	853	1050	Y	0	0	0	0	0	11.3	42	20/16/11	0	N	N	N
25/12/2014	24243	277	30	42	6	0	0	0	0	0	5	0	1	4	2	0	1	1	0	4005	11	0	920	1091	N	0	0	0	0	0	11.2	42	20/16/12	0	N	N	N
09/12/2014	23966	932	30	53	10	0	1	0	0	0	9	2	1	5	2	1	2	0	3940	10	0	883	1024	Y	0	0	0	0	0	11.1	48	23/21/11	0	N	N	N	
23/11/2014	23669	635	30	71	8	0	0	0	0	0	7	1	1	5	2	0	1	1	0	3973	10	0	855	1014	N	0	0	0	0	0	11	46	22/17/12	0	N	N	N
08/11/2014	23394	360	30	54	7	0	0	0	0	0	5	1	2	6	1	2	1	1	0	3753	10	0	829	921	N	0	0	0	0	0	11	51	23/22/19	0	N	N	N
21/10/2014	23034	1519	30	69	9	0	0	0	0	0	7	2	1	5	3	0	1	2	0	4053	11	0	967	1107	Y	0	0	0	0	0	10.9	52	22/19/15	0	N	N	N
05/10/2014	22697	1182	30	46	7	0	1	0	0	0	5	0	1	5	2	1	1	1	0	3881	10	0	889	997	N	0	0	0	0	0	11.2	40	20/17/13	0	N	N	N
18/09/2014	22399	884	30	32	6	0	0	0	0	0	4	0	1	4	2	1	1	1	0	4054	7	0	953	1076	N	0	0	0	0	0	11	39	19/17/12	0	N	N	N
03/08/2014	21515	252	30	19	5	0	1	0	0	0	3	0	1	5	2	2	1	1	0	3963	9	0	845	1032	Y	0	0	0	0	0	11.1	37	19/16/12	0	N	N	N
21/07/2014	21263	277	30	10	4	0	0	0	0	0	2	0	1	4	0	0	1	1	0	3890	8	0	860	1006	N	0	0	0	0	0	11	35	19/17/14	0	N	N	N
07/07/2014	20986	813	30	27	7	0	1	0	0	0	5	1	1	4	1	1	1	1	0	3806	9	0	873	985	Y	0	0	0	0	0	11.1	46	21/19/13	0	N	N	N
07/06/2014	20402	229	30	15	5	0	0	0	0	0	3	0	1	4	1	0	1	1	0	3816	9	0	887	1050	N	0	0	0	0	0	11.1	51	18/15/12	0	N	N	N

De los resultados se observa que la tendencia del elemento cobre se eleva y se mantiene así desde el 05/10/2014 hasta su desmontaje. En forma paralela se eleva la tendencia del elemento Fe en las últimas 3 muestras.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

Descarga del ECM de Transmisión

Trans 797

Parámetro	Valor
Identificación del equipo	LAJ00196
Número de serie de la transmisión	R1N00359
Número de pieza del ECM	3045687-02
Número de serie del ECM	18906152MS
Número de pieza del grupo del software	4626406-01
Fecha de publicación del grupo del software	JUL2014
Descripción del grupo del software	797F (LAJ141-146, 148-up)

Códigos de diagnóstico registrados [Reloj de diagnóstico = 25858.0115 horas] - Trans 797

Código	Descripción	Veces	Primera	Última
No hay códigos de diagnóstico registrados				

Códigos de eventos registrados [Reloj de diagnóstico = 25858.0115 horas] - Trans 797

Código	Descripción	Veces	Primera	Última
E047 (2)	Alerta de abuso de la transmisión	9	25509	25836
E155 (2)	Temperatura alta del aceite de convertidor de par	3	25795	25845
E155 (3)	Temperatura alta del aceite de convertidor de par	1	25845	25845

Códigos de diagnóstico activos - Trans 797

Código	Descripción
No hay códigos activos	

Códigos de suceso activo - Trans 797

Código	Descripción
No hay sucesos activos	

Configuración - Trans 797

Descripción	Valor	Unidad
Identificación del equipo	LAJ00196	
Número de serie de la transmisión	R1N00359	

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

Número de serie del convertidor de par	T1H00069	
Límite de velocidad de la máquina	0	mph
Modalidad de economía	Apagado(a)	
Límite de velocidad de máquina cargada	0.0	mph
Marcha de avance máxima de la transmisión	6	
Factor de corrección de velocidad de máquina	0.0000	%
Estado de activación del límite de velocidad de sobrecarga de máquina	Encendido(a)	
Límite del engranaje de activación de traba de acelerador	0	
Estado de instalación de la función de traba de acelerador	Sin instalar	
Estado de activación de la modalidad de economía del combustible	Desactivado	
Anunciador total	7	

Matriz de recuento de cambios - Trans 797

	A	N	R	1	2	3	4	5	6	7
De										
N	---	78571	136103	26	15	6	2	0	0	0
R	82812	---	14589	0	0	0	0	0	0	0
1	131745	18836	---	152337	36	2	1	0	0	0
2	144	0	148366	---	200707	49	10	0	0	0
3	2	0	3002	192271	---	200831	71	0	0	0
4	0	0	811	4439	195055	---	181537	2	0	0
5	0	0	68	183	341	180768	---	106816	0	0
6	0	0	29	21	23	187	106553	---	19533	0
7	0	0	0	0	0	1	3	19529	---	0

De la descarga del módulo ECM de la transmisión se encuentran lo siguiente:

- 09 eventos E042(2) de Alerta de Abuso de Transmisión, lo cuales se producen cuando el operador realiza cambios de marcha a altas RPM.
- Zonas de abuso de la transmisión en la matriz de cambio (recuadros en rojo), los cuales se generan en rápidos cambios de marcha y frenados intempestivos.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

VIMS

Tiempos Promedio de Desplazamiento

Trend Description	Total Samples	% Valid Samples	Average	Maximum	Minimum	Std Deviation
Trn Slip,Gear Change: 1-2, avg	2420	92.5	0.63	0.72	0.55	0.02
Trn Slip,Gear Change: 2-3, avg	2420	97.1	0.57	0.65	0.52	0.02
Trn Slip,Gear Change: 3-4, avg	2420	97.1	0.72	1.1	0.65	0.03
Trn Slip,Gear Change: 5-6, avg	2420	54.1	0.8	0.88	0.72	0.03
Trn Slip,Gear Change: 5-6, avg	2420	54.1	0.8	0.88	0.72	0.03
Trn Slip,Gear Change: 4-3, avg	2420	96.4	0.74	1.15	0.58	0.07
Trn Slip,Gear Change: 3-2, avg	2420	96.3	0.46	1.1	0.38	0.04
Trn Slip,Gear Change: 4-5, avg	2420	95.9	0.55	0.62	0.5	0.01

Los tiempos promedio de desplazamiento en las marchas monitoreadas por el módulo VIMS se encuentran dentro de tolerancias aceptables.

Eventos

Machine Event Detail											
Time/Date	SMH	Event Id	Description(ID)	Event Source	Limit	Worst Val	Event Lev	Duration	Ack #	Ack Time	DL/SS Link
16/01/2015 18:26		24709	6741 ENG CTRL	Trans Ctrl	SYS EVT	81-590-9		1 00:02:02	0	0	
16/01/2015 18:11		24709	6741 ENG CTRL	Trans Ctrl	SYS EVT	81-590-9		1 00:14:17	0	0	
09/11/2014 21:13		23396	2145 Trn-Brk ECM	Trans Ctrl	SYS EVT	81-533-9		1 00:11:16	0	0	

El módulo VIMS no registró eventos, solo 3 códigos eléctricos.

INSPECCIÓN REALIZADA EN EL CRC:

Durante el desarmado de la transmisión del lado salida se observó lo siguiente:

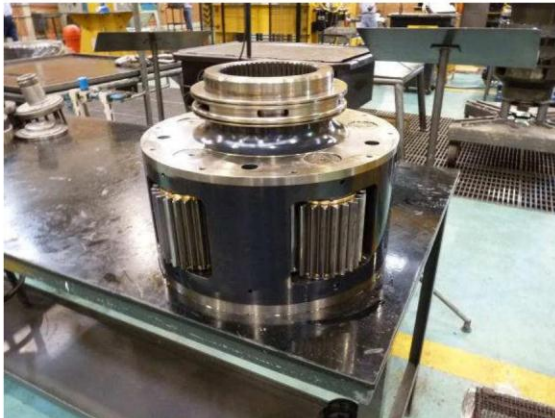


La transmisión enviada corresponde al arreglo 316-5264 y NS: R1N00493. Los filtros de malla magnéticos no presentaron cantidades críticas de partículas ferromagnéticas.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

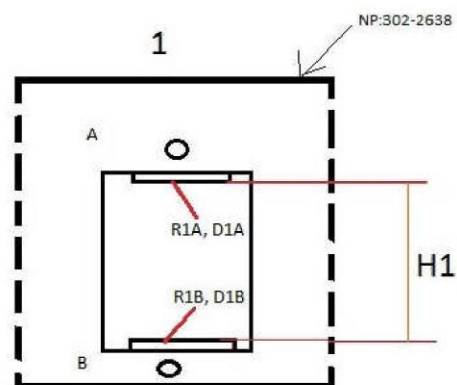
Lima, 09 de junio de 2015



Las arandelas de empuje NP: 140-7130 pertenecientes al portaplanetario NP: 250-7555 se encontraron con desgastes normales para las horas de operación del componente.



En el desmontaje del grupo completo del portaplanetario NP: 302-2638 se observaron luces anormales entre los engranajes planetarios y arandelas de empuje.

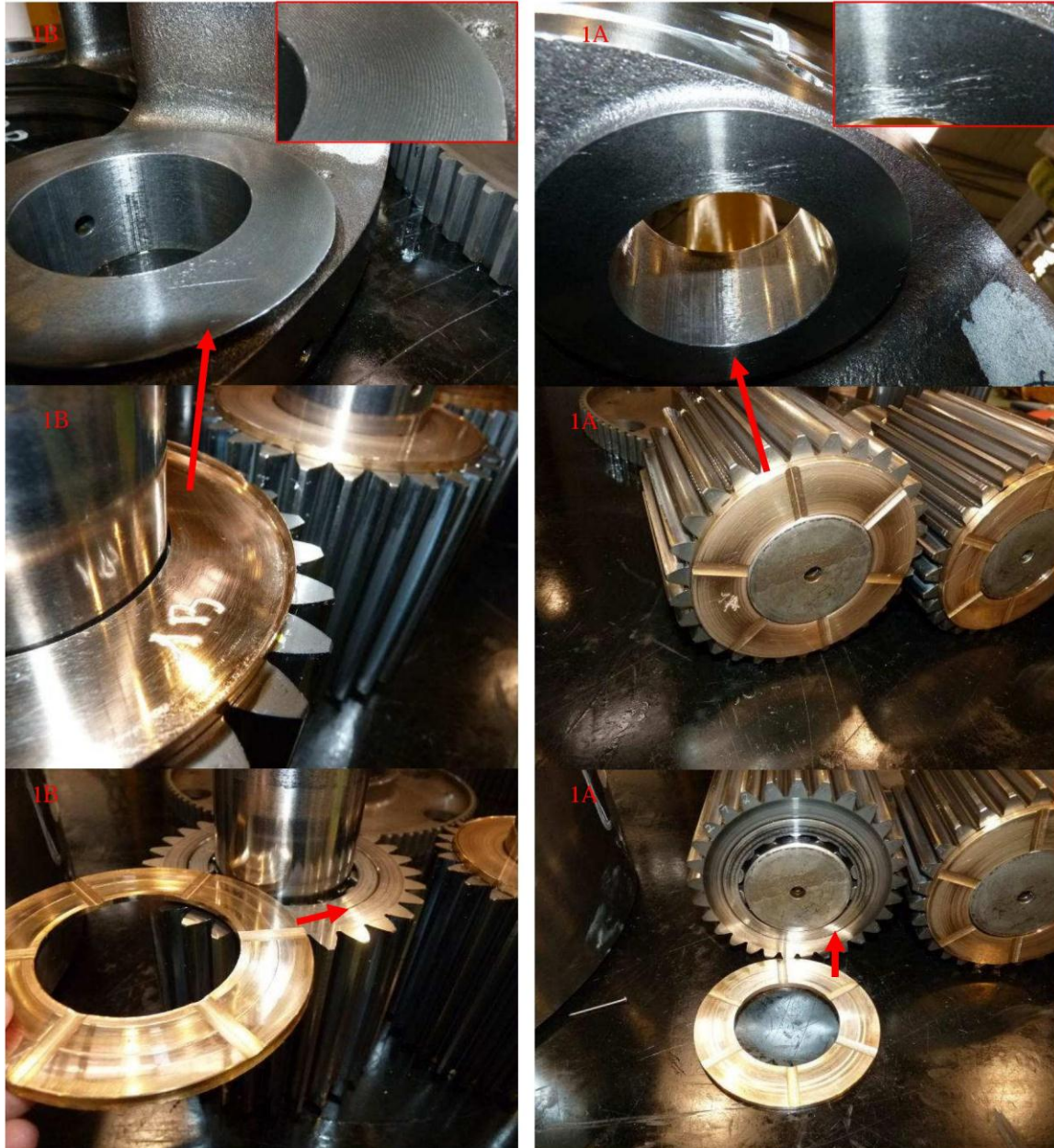


Se procedió a la inspección visual del portaplanetario NP: 302-2638 y arandelas de empuje NP: 301-1507, según la nomenclatura mostrada en la imagen de la derecha. Previo a esta inspección se corroboró el correcto armado del grupo.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

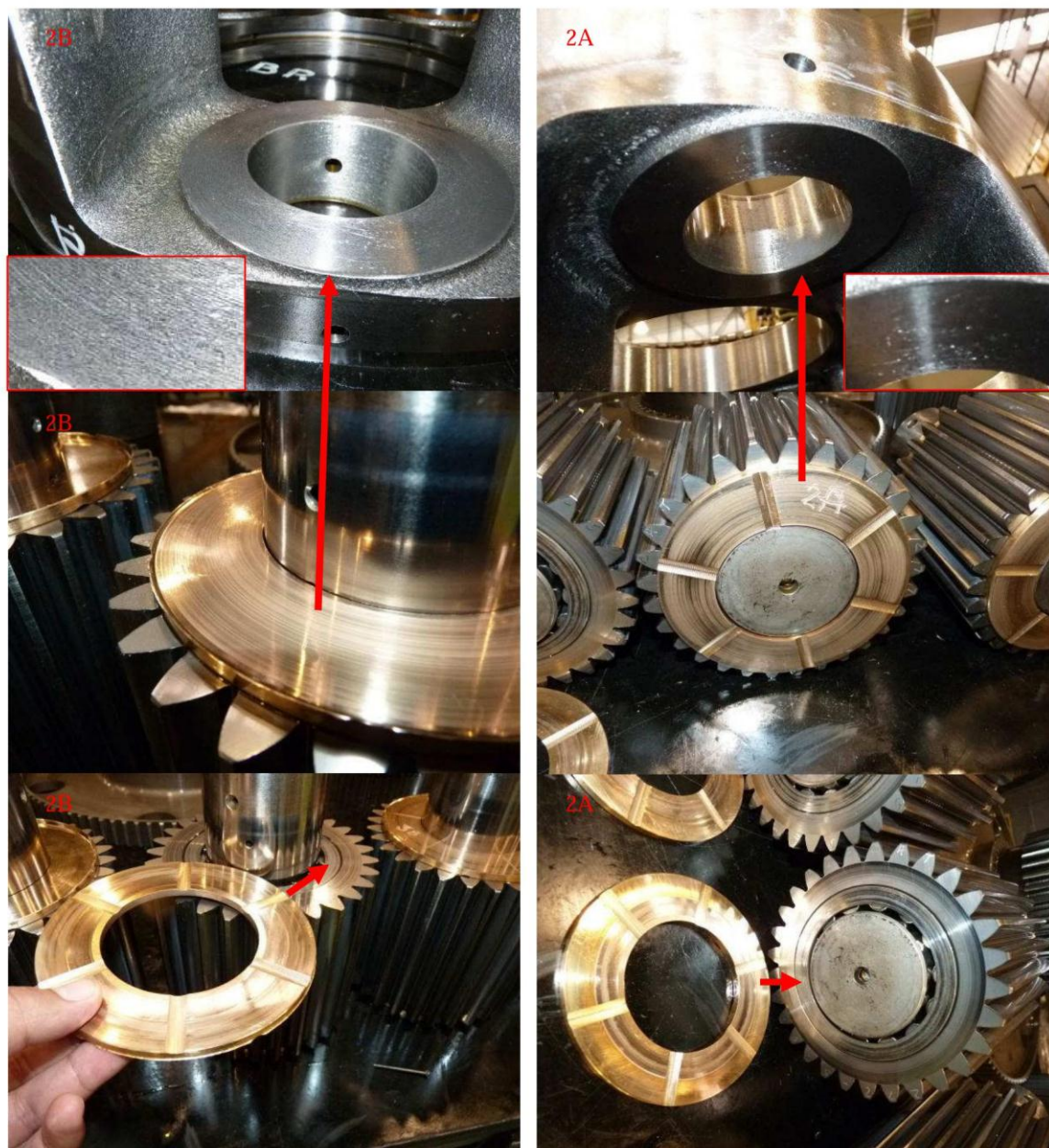


La superficie 1B del portaplanetario muestra una alta rugosidad, sensible al tacto y con circunferencias concéntricas visibles. La superficie de la arandela de empuje que tiene contacto con dicha cara presenta un severo desgaste abrasivo y la opuesta presenta desgastes normales. La arandela no presenta patrones de deformación por aplastamiento.

La superficie 1A del portaplanetario se siente liso al tacto. Ambas superficies de la arandela de empuje no presentan desgastes anormales.

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015



La superficie 2B del portaplanetario muestra una alta rugosidad, sensible al tacto y con circunferencias concéntricas visibles.

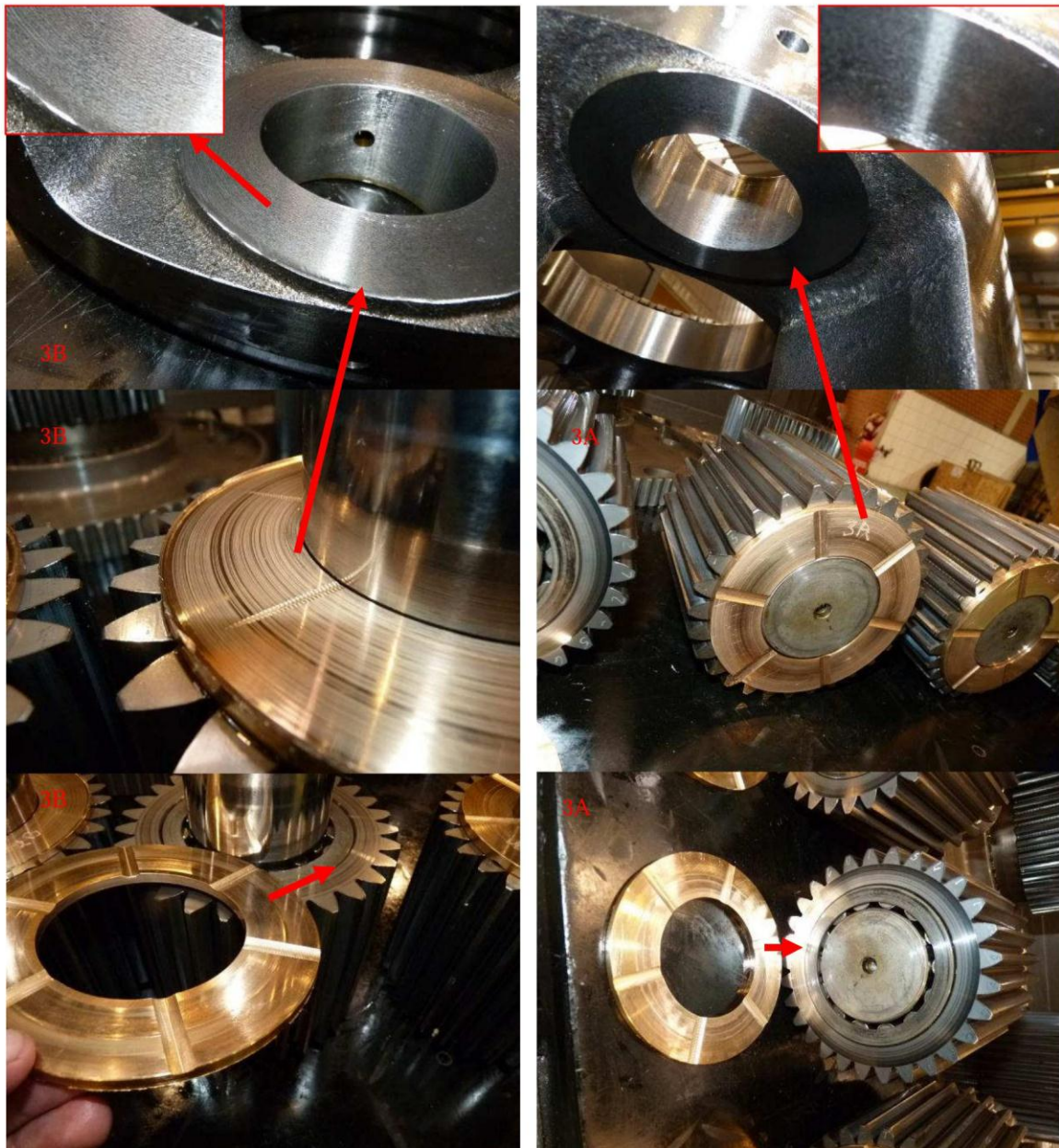
La superficie de la arandela de empuje que tiene contacto con dicha cara presenta un severo desgaste abrasivo y la opuesta presenta desgastes normales. La arandela no presenta patrones de deformación por aplastamiento.

La superficie 2A del portaplanetario se siente liso al tacto. Ambas superficies de la arandela de empuje no presentan desgastes anormales.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015



La superficie 3B del portaplanetario muestra una alta rugosidad, sensible al tacto y con circunferencias concéntricas visibles.

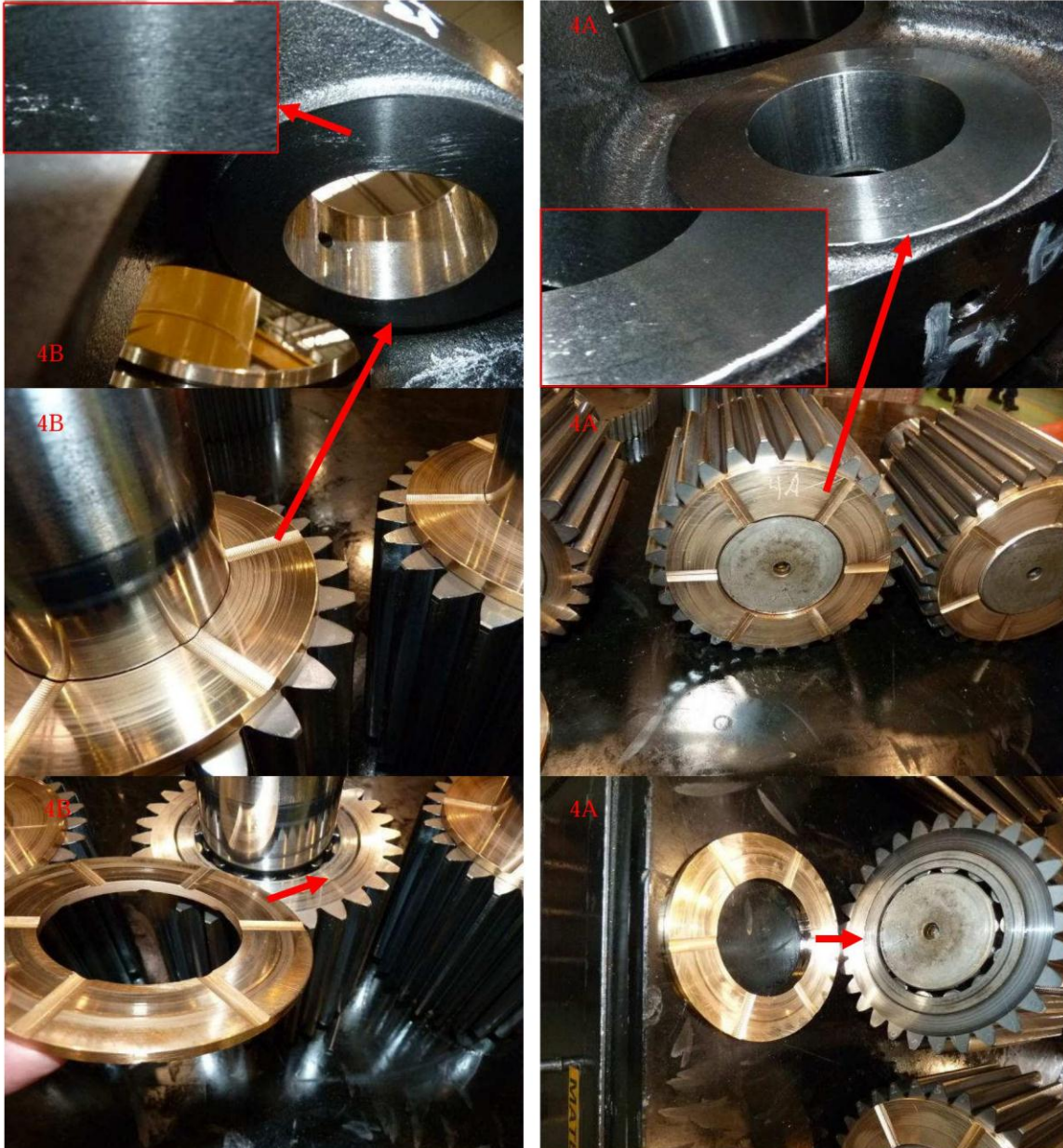
La superficie de la arandela de empuje que tiene contacto con dicha cara presenta un severo desgaste abrasivo y la opuesta presenta desgastes normales. La arandela no presenta patrones de deformación por aplastamiento.

La superficie 3A del portaplanetario se siente liso al tacto. Ambas superficies de la arandela de empuje no presentan desgastes anormales.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015



La superficie 4B del portaplanetario se siente liso al tacto y con circunferencias concéntricas menos visibles. La superficie de la arandela de empuje que tiene contacto con dicha cara presenta ligero desgaste abrasivo y la opuesta presenta desgastes normales. La arandela no presenta patrones de deformación por aplastamiento.

La superficie 4A del portaplanetario se siente liso al tacto. Ambas superficies de la arandela de empuje no presentan desgastes anormales.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015



La superficie 5B del portaplanetario se siente lisa al tacto y con circunferencias concéntricas menos visibles. La superficie de la arandela de empuje que tiene contacto con dicha cara presenta ligero desgaste abrasivo y la opuesta presenta desgastes normales. La arandela no presenta patrones de deformación por aplastamiento.

La superficie 5A del portaplanetario se siente liso al tacto. Ambas superficies de la arandela de empuje no presentan desgastes anormales.

AFA.CR44268.01

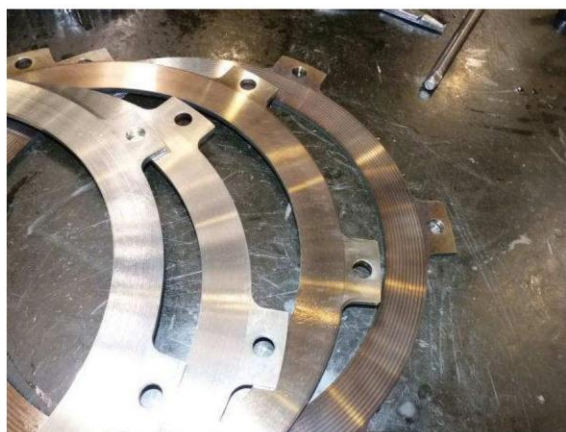
INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

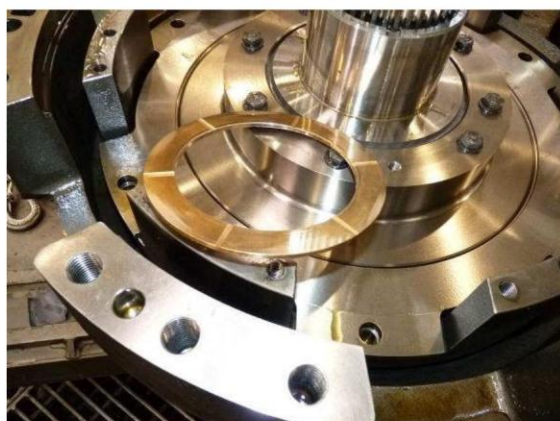


La canastilla del rodamiento de bolas NP: 198-5373 se encontró en buenas condiciones.

Durante el desarmado de la transmisión del lado ingreso se observó lo siguiente:



Los discos y frenos del embrague #1 se hallaron con signos de recalentamiento.



La arandela de empuje NP: 140-7025 se encontró sin desgastes anormales.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

Evaluación Dimensional y Superficial

CR44268-0101														
TRANSMISION MODELO 797F SERIE LAJ00196														
CARRIER PLANET 3022638														
Altura entre caras en mm.					Rugosidad en uinch		Dureza en HB							
					A	B	A	B						
1	132,39	132,38	132,38	132,39	64,93	83,35	312	329						
2	132,38	132,38	132,38	132,38	75,18	75,57	334	342						
3	132,37	132,38	132,38	132,38	62,26	90,93	303	311						
4	132,37	132,37	132,37	132,37	58,18	68,85	267	299						
5	132,37	132,37	132,37	132,38	60,94	75,77	293	305						
GEAR PLANET 2725601														
Altura														
1	122,02													
2	122,02													
3	122,02													
4	122,02													
5	122,02													
DISC THRUST 3011507														
A Espesor mm		Dureza en uinch HB Brinnell		B Espesor mm		Dureza en uinch HB		Rugosidad umm						
						A	B	A		B				
1	4,97	4,98	420	441	2,24	2,25	486	427	33	17	30			
2	4,97	4,98	518	490	3,79	3,78	397	352				33	45	40
3	4,98	4,96	386	359	4,03	4,04	390	318						
4	4,77	4,74	404	426	4,73	4,74	406	417						
5	4,97	4,95	467	423	4,94	4,95	400	429						

Del presente reporte se puede destacar, que:

- Hay una notable diferencia de rugosidad entre las caras opuestas de los alojamientos para engranajes en el portaplanetario. Los valores más altos de rugosidad se observan en las caras 1B, 2B y 3B.
- Las arandelas con los mayores desgastes son las de las posiciones 1B, 2B y 3B coincidente con las superficies medidas más rugosas del portaplanetario.
- La altura entre caras del portaplanetario no presenta variaciones significativas.
- La altura de los engranajes no presenta variaciones.

AFA.CR44268.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 09 de junio de 2015

ANÁLISIS

El patrón de desgaste observado en las arandelas de empuje corresponde a desgaste abrasivo de 2 cuerpos, habiéndose encontrado zonas con alta rugosidad en el carrier de metal que generaron ralladuras y desgaste en el material más blando (arandelas de bronce).

Se descartó lo siguiente:

- Fuerzas axiales anormales generadas por los rodamientos internos y/o engranajes planetarios, ya que no presentaron deformación por aplastamiento (extrusión) en alguno de los discos y/o fracturas por altas cargas.
- Lubricación deficiente, al no encontrarse patrones de desgaste adhesivo en las arandelas de empuje del lado A.

Además se verificó que las demás partes internas de bronce se encontraran con desgastes normales.

Atentamente,

Ing. Fernando Solari Loayza
Analista de Fallas

Ing. Manuel Sarmiento
Jefe de AFA

ANEXO N°06

**ANÁLISIS DE FALLA TRANSMISIÓN MINERA
CHINALCO PERU S.A.**

AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015

Cliente:	MINERA CHINALCO PERU S.A.	OT Cliente	PO10601
Modelo Máquina:	797F	Número Serie:	0LAJ00361
Identificación Maq:	CM105	Horas Máquina:	9337

Componente:	TRANSMISSION	OT Anterior:	CR41743
Número de Parte:	272-3224	Fecha Instalación:	14/11/2014
Horas Componente:	4042	Fecha Falla:	20/06/2015

Síntoma de Falla:	Alta temperatura del aceite del convertidor de par y presencia abundante de partículas ferrosas.
--------------------------	--

Parte Generadora de Falla:	274-5106 Rodamiento
-----------------------------------	---------------------

RESULTADO DEL ANÁLISIS:

La alta temperatura de aceite del convertidor y presencia de partículas metálicas en el screen de la transmisión, se debió a la falla de uno de los rodamientos con N/P 274-5106 de uno de los cinco engranajes planetarios N/P 272-5601 de la transmisión.

Un eje planetario 446-1331 presenta desgastes adhesivos y daños, principalmente, en la zona de trabajo de uno de los dos rodamientos 274-5106, lo que indica que dicho rodamiento falló en esa ubicación. No se observan colores de alta temperatura sobre la superficie de dicho eje, lo cual permite descartar que haya existido lubricación deficiente, hacia alguno de sus dos rodamientos. Lo más probable es que la falla del rodamiento 274-5106, se haya debido a la rotura de su canastilla (tema de producto), permitiendo que se pierda el orden y alineación de los rodillos, arrastrándose sobre la superficie del eje planetario y sobre la superficie interior del engranaje 272-5601, induciendo esfuerzos adicionales sobre dicho engranaje, que provocaron la fractura del mismo y los posteriores daños consecuentes en las diferentes partes de la transmisión.

ANTECEDENTES:

Con fecha 20 de Junio de 2015 operador reporta temperatura alta convertidor de torque en equipo identificado con el código CM105, se procede evaluar el equipo O/T 16014082 encontrándose baja presión lubricación transmisión y carga convertidor de torque, se realiza inspección de rejilla transmisión encontrándose partículas abundantes de Fe en forma de hojuelas.

El 12 de Junio de 2015 durante el PM se detectó pasta ferrosa en la rejilla transmisión, generando el aviso # 11028982 por cambio de transmisión.

AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015

La falla de la transmisión produjo contaminación del convertidor de torque debido a las partículas de Fe.

Por las evidencias encontradas en la rejilla trasmisión y filtro se decidió cambio de componente.



20/06/2015 Muestra Filtro Transmisión: partículas Fe en regular cantidad.

20/06/2015 Muestra Rejilla Transmisión: abundante partículas Fe.



12/06/2015 Muestra Rejilla Transmisión: regular cantidad de partículas Fe.



12/06/2015 Muestra Rejilla Transmisión: regular partículas Fe.



12/06/2015 Muestra Filtro Transmisión: partículas Fe de nivel 1 (mínimo).



17/02/2015 Muestra Filtro Transmisión partículas Fe de nivel 1 (mínimo).

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015

Historial de Análisis de Aceite de la Transmisión

Fecha Muestreo	Hrs Eqp	Hrs Oil	Aceite Camb.	Códg Eval	Cu	Fe	Cr	Ni	Pb	Sn	Al	Si	Na	K	B	Ca	Mg	P	Zn	W	A	Visc 100	PQI	4μ	6μ	10μ	14μ	21μ	38μ	50μ	ISO	PVI
04-jul-15	12863	253	No	NAR	3	3	0	0	1	0	1	5	5	2	1	2828	8	1019	1199	N	N	10.7	33	18483	596	21	8	2	1	1	21/16/10	0.66
12-jun-15	12610	1003	Sí	NAR	2	4	0	0	0	0	2	4	4	1	2	2890	8	1055	1222	N	N	10.7	34	4178	620	124	44	10	1	0	19/16/13	0.31
15-may-15	12092	485	No	SC	1	0	0	0	0	0	1	3	2	1	1	2953	8	1040	1178	N	N	10.7	37	2536	300	52	17	5	0	0	19/15/11	0.16
22-abr-15	11607	38	Sí	NAR	1	3	0	1	1	0	1	4	2	2	1	2735	21	1026	1143	N	N	10.8	36	3291	513	98	29	4	0	0	19/16/12	0.23
17-abr-15	11569	1169	Sí	NAR	2	5	0	0	0	0	2	4	3	1	2	3150	14	1010	1147	N	N	10.8	40	12858	1727	304	73	13	2	0	21/18/13	0.78
25-mar-15	11062	662	No	NAR	1	4	0	0	1	0	1	4	2	1	2	2968	15	1044	1184	N	N	10.8	40	10953	1944	319	92	20	1	1	21/18/14	0.79
17-feb-15	10400	1514	Sí	SEG	6	8	0	2	1	0	1	6	7	0	4	3063	10	1106	1304	N	N	10.7	43	19516	3379	419	65	6	0	0	21/19/13	1.14
16-ene-15	9766	880	No	SC	5	5	0	1	1	0	1	5	7	2	3	2905	9	1047	1174	N	N	10.8	42	13454	442	70	22	8	1	1	21/16/12	0.54
13-dic-14	9159	273	No	SEG	18	8	0	0	1	1	1	6	17	2	7	3001	12	1068	1174	N	N	10.4	44	32770	1734	90	26	8	2	1	22/18/12	1.26
03-dic-14	8966	80	No	SEG	14	6	0	0	1	0	1	5	15	1	8	2896	17	1043	1121	N	N	10.2	46	25299	4221	824	246	60	5	2	22/19/15	1.93
01-dic-14	8956	70	No	SEG	13	4	0	0	1	0	1	5	15	2	15	2867	14	1061	1179	N	N	10.2	45	16876	509	108	40	11	1	1	21/16/13	0.7
27-nov-14	8886	224	Sí	SEG	19	7	0	0	1	1	2	7	44	2	45	2903	16	1055	1174	P	N	9.4	46									

La última muestra de aceite, extraída el 12/06/2015 (08 días previos a la falla), muestran niveles normales de los elementos de desgaste.

Eventos Registrados VIMS

Time/Date	SMH	Event Id	Description(ID)	Limit	Worst Value MID-CID-FMI	Event Level	Duration	Ack #
20/06/2015 04:39	12702	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	242.6 Deg F	2	00:00:27	0
20/06/2015 03:03	12702		Transmission Lockup Clutch Solenoid	SYS EVT	81-709-5	2	00:10:28	1
20/06/2015 02:37	12702		Transmission Lockup Clutch Solenoid	SYS EVT	81-709-5	2	00:12:13	1
20/06/2015 02:25	12701	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	300.2 Deg F	2	00:04:09	0
20/06/2015 02:18	12701	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	294.8 Deg F	2	00:06:21	2
20/06/2015 00:55	12700	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	242.6 Deg F	2	00:00:48	0
20/06/2015 00:31	12700	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	239 Deg F	3	00:02:23	0
20/06/2015 00:30	12700	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	239 Deg F	2	00:03:53	0
19/06/2015 23:53	12699		Torque Converter Output Speed Sensor	SYS EVT	81-672-2	1	00:12:31	0
19/06/2015 23:53	12699		Transmission Intermediate Speed Sensor #1	SYS EVT	81-674-2	1	ACTIVE	0
17/06/2015 04:31	12651		Transmission Gear Lever Selector Sensor (Switch)	SYS EVT	87-702-3	2	00:00:01	0
13/06/2015 02:54	12612	531	Low Transmission Oil Level		Unavailable	3	00:00:21	0
26/05/2015 06:01	12228	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	0
26/05/2015 06:01	12228	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	0
24/05/2015 11:04	12194	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	246.2 Deg F	2	00:00:08	0
06/05/2015 14:23	11894	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:12	1
06/05/2015 14:23	11894	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:12	1
03/05/2015 12:31	11826	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	249.8 Deg F	2	00:00:12	0
20/04/2015 19:05	11579	49	Coasting in Neutral Warning		Unavailable	2	00:00:03	0
14/04/2015 14:00	11504	1293	Transmission Internal Component Overspeed		Unavailable	1	00:00:01	0
12/04/2015 11:41	11453	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:12	0
12/04/2015 11:41	11453	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:12	0
12/04/2015 10:25	11452	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	0

AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015

12/04/2015 10:25	11452	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	0
02/04/2015 15:47	11244	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	285.8 Deg F	2	00:00:19	0
22/03/2015 21:19	11007	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	1
22/03/2015 21:19	11007	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	1
21/03/2015 06:34	10970	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	1
21/03/2015 06:34	10970	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	1
18/03/2015 21:35	10916	49	Coasting in Neutral Warning		Unavailable	2	00:00:02	0
17/03/2015 12:13	10885	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	249.8 Deg F	2	00:00:08	1
12/03/2015 17:58	10779	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	276.8 Deg F	2	00:00:30	0
12/03/2015 17:56	10779	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	251.6 Deg F	2	00:00:20	0
06/03/2015 16:21	10654	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	239 Deg F	2	00:00:14	0
06/03/2015 05:14	10643	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	266 Deg F	2	00:02:55	2
28/02/2015 20:51	10543	1293	Transmission Internal Component Overspeed		Unavailable	1	00:00:01	0
28/02/2015 17:51	10540	2301	Transmission Slip Detected in First Reverse Gear		Unavailable	2	00:00:15	0
28/02/2015 17:50	10540	2301	Transmission Slip Detected in First Reverse Gear		Unavailable	2	00:01:02	0
27/02/2015 22:10	10525	531	Low Transmission Oil Level		Unavailable	3	00:04:06	0
19/02/2015 09:38	10433	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	239 Deg F	2	00:00:22	1
17/02/2015 21:28	10401	531	Low Transmission Oil Level		Unavailable	3	00:01:50	0
13/02/2015 23:05	10324	155	High Torque Converter Oil Temperature	239 Deg F	246.2 Deg F	2	00:00:09	0
12/02/2015 08:54	10288	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	0
12/02/2015 08:54	10288	47	Transmission Abuse Warning		Unavailable	2	00:00:10	0

Historial de Mantenimiento (AMT)

Down Date	Component Code	Description	WorkOrder Number
20/06/2015	3030 - TRANSMISION	BCO EVALUACION DEL SISTEMA DE TRANSMISION	AMT0019756
12/06/2015	3067 - 3067	BPM_INSPECCION DE REJILLA Y FILTRO DE TRANSMISION Y CONVERTIDOR - OT MCP 7019574	PO10178-1
12/06/2015	3067 - 3067	BPM_CAMBIO DE REJILLA DE TRANSMISION POR ROTURA - OT MCP 7019316	PO10179-1
12/06/2015	7598 - PM 8	PM8 - OT MCP 10032980	PO10177-1
01/06/2015	7539 - PM 7	PM7	AMT0017960
15/05/2015	7538 - PM 6	PM6	AMT0017165
01/05/2015	7515 - PM 5	PM5	AMT0016547
18/04/2015	3108 - PUMP DRIVE	BCO CAMBIO DE MANDO DE BOMBA - PO09535	AMT0021911
17/04/2015	7504 - PM 4	PM4	AMT0015013
08/04/2015	7503 - PM 3	PM3	AMT0014922
25/03/2015	7502 - PM 2	PM2	AMT0012531
10/03/2015	7501 - PM 1	PM1	AMT0010843
27/02/2015	1000 - ENGINE	CAMBIO DE MOTOR	AMT0010857
18/02/2015	7598 - PM 8	PM8	AMT0009487
01/02/2015	7539 - PM 7	PM7	AMT0007821
10/01/2015	7538 - PM 6	PM6	AMT0005522
01/01/2015	7515 - PM 5	PM5	AMT0005521

AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015

11/12/2014	7504 - PM 4	PM4	AMT0004535
27/11/2014	7503 - PM 3	PM3	AMT0004160
17/11/2014	3101 - TORQUE CONVERTER	CAMBIO DE CONVERTIDOR (TC)	AMT0004227
17/11/2014	3030 - TRANSMISION	CAMBIO DE TRANSMISION	AMT0004228

ID	OT	Prio	Entrad	Texto breve
CM105	7021370	2	25/06/2015	PI32485 Actualizac software transmisión
CM105	7021371	2	25/06/2015	Eval Mtor, convertidor y transmisión
CM105	7021257	2	23/06/2015	Presencia Fe, Cu filtro y rejilla transmision
CM105	16014082	1	20/06/2015	Cambio de trasmision y convertidor falla
CM105	16012314	2	15/05/2015	Cambio tubo llenado y tapa Convertirdor
CM105	7019576	1	03/05/2015	Muestreo de aceite de la Transmisión
CM105	7019574	1	03/05/2015	Insp. Rejilla y Filtro de Tx y Convertid
CM105	7019316	2	22/04/2015	Cambio de rejilla de Transmisión , roto
CM105	16011197	1	22/04/2015	Cambio de manguera de transmisión
CM105	7019272	2	21/04/2015	Cambio de aceite de transmisión
CM105	7018131	2	12/03/2015	Instalar Clip Harnes Transmision
CM105	7016100	2	13/01/2015	Evaluación de presiones de Transmisión
CM105	16006086	2	30/12/2014	Cmb de manguera de lubricacion transmisi
CM105	16005060	2	03/12/2014	Cambio de linea Hyd de trans
CM105	16004827	2	27/11/2014	Cambio de aceite de transmision-Limpieza
CM105	16004775	2	26/11/2014	evento de bajo nivel de aceite transmisi
CM105	16004748	2	25/11/2014	evaluacion por evento bajo nivel transmi
CM105	16004758	1	25/11/2014	Eval evento bajo nivel aceite de convert
CM105	16004328	1	14/11/2014	Cambio de transmision por falla
CM105	16004360	2	14/11/2014	Cambio de convertidor de Par
CM105	7014138	2	11/11/2014	Cambio mangueras que unen lineas Convert
CM105	16003604	2	28/10/2014	Fabric guarda protect sensorfiltro trans
CM105	7013356	2	08/10/2014	Cbio hose de Mdo bbas hacia screen Trans
CM105	7012831	2	18/09/2014	Cbio hose Convert hacia enfriador
CM105	16000610	1	16/08/2014	Relleno de aceite de transmision
CM105	7011601	2	07/08/2014	PS54154:cBIO VÁLV cONVERTIDOR
CM105	16000228	2	07/08/2014	fuga de aceite convertidor
CM105	21014206	2	14/07/2014	cambio de tapon de drenaje de convertido
CM105	7010448	2	12/06/2014	Cbio tubo llenado aceite Convertidor
CM105	21011982	1	25/04/2014	Cmb switch filtro de transmisión X satur
CM105	7006974	2	20/01/2014	PS44149:Cbio switch nivel aceite Conv To
CM105	7003029	2	07/05/2013	Inst. red inalámbrica conversor voltaje

AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015

INSPECCIÓN DE COMPONENTES EN CRC:



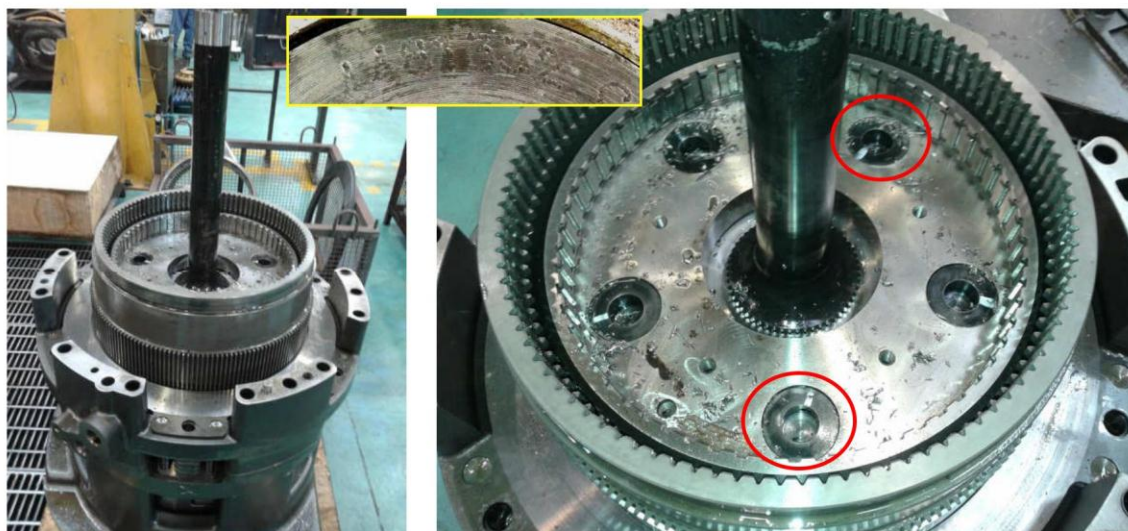
Partículas metálicas en el Screen de la transmisión.



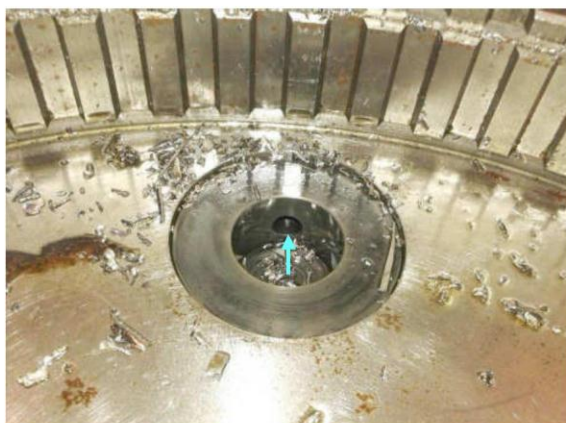
Los engranajes de la sexta reducción planetaria muestran Scoring en los dientes.

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015



En la quinta reducción planetaria, dos de los cinco ejes planetarios 272-2524, se encontraron girados respecto a su posición original en sus alojamientos. Los ejes planetarios presentan estampados el N/P 446-1332, los cuales son parte del conjunto Shaft As Planet 446-1331.



Eje planetario orientado correctamente.



Eje planetario girado en su alojamiento.

La imagen de la izquierda muestra un eje planetario correctamente posicionado en su alojamiento. Nótese que el agujero señalado está orientado radialmente hacia los dientes del Ring Gear, de modo que dicho agujero coincida con un agujero del Carrier Planet, para la instalación de pin de traba (Pin Spring).

La imagen de la derecha muestra un eje planetario que se ha girado en su alojamiento. Nótese que el agujero donde encaja el pin de traba, no se observa, dado que dicho pin se fracturó y el eje se giró.

AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015



Carrier Planetary de la 5^{ta} reducción planetaria (aledaño al embrague #6), presenta fracturas en los cinco engranajes planetarios. El fragmento de engranaje planetario mostrado en la imagen de la derecha, no presenta desgastes importantes en la superficie del diámetro interior.



El engranaje planetario mostrado en la imagen, presenta desgastes adhesivos en la superficie del diámetro interior, provocados por el rodamiento N/P 274-5106.



Otro de los engranajes planetarios también presenta desgastes adhesivos en la superficie del diámetro interior.

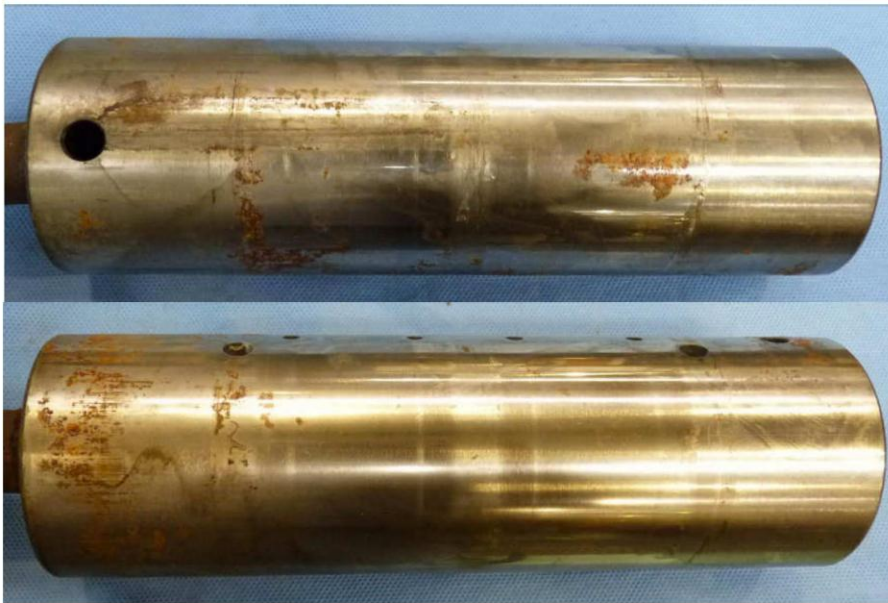
AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015



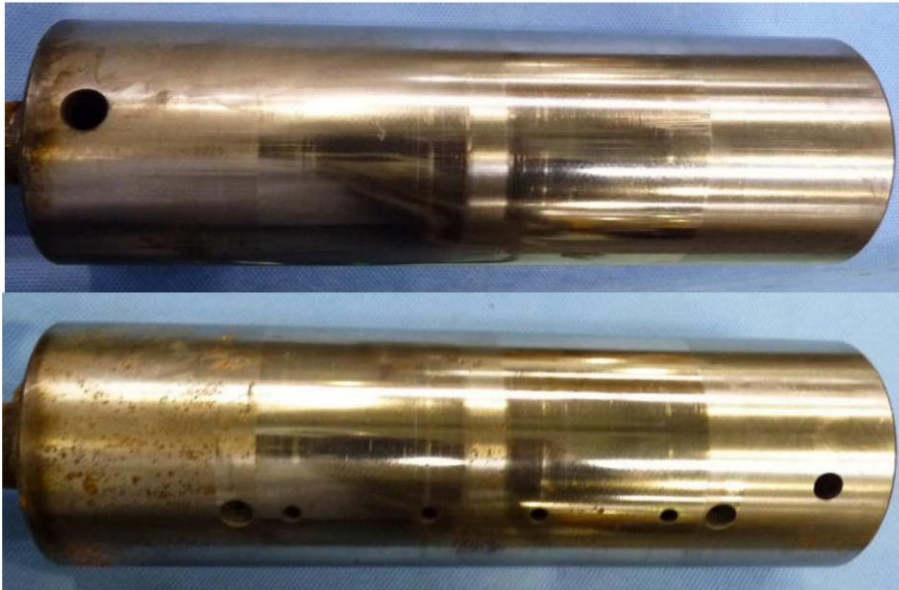
Los otros dos engranajes planetarios, no muestran desgastes adhesivos en sus superficies interiores.



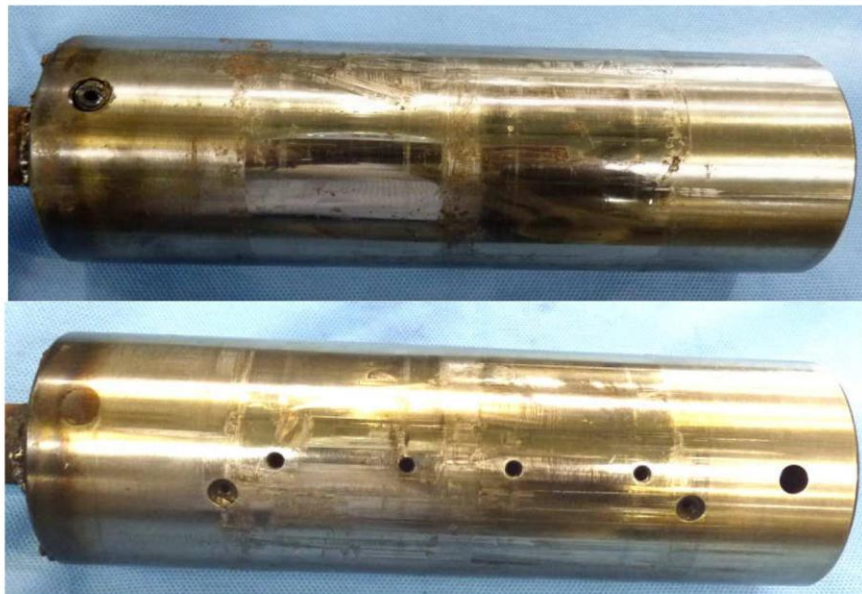
Eje planetario 446-1331 que muestra sólo ligeros desgastes adhesivos en las zonas de giro de las canastillas de los rodamientos.

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015



Eje planetario 446-1331 sin desgastes importantes.

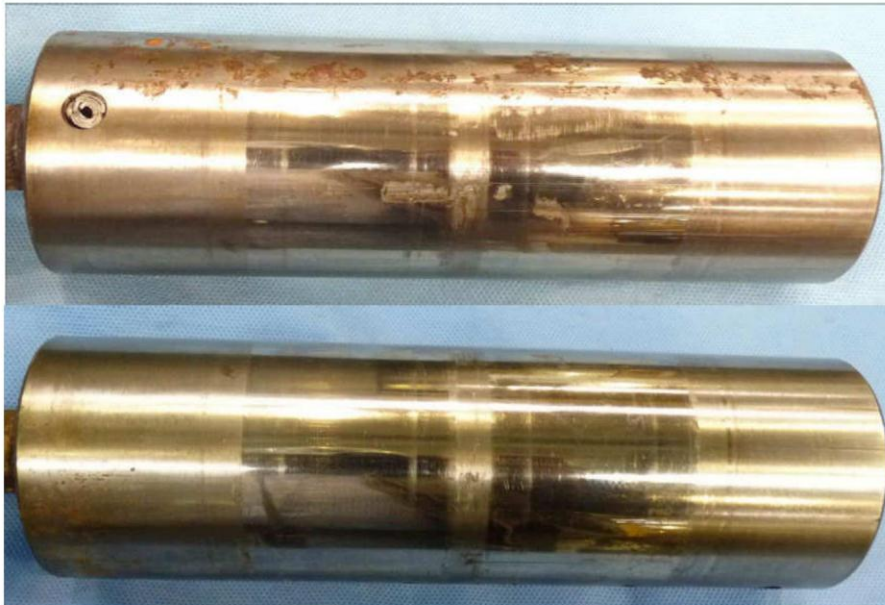


Eje planetario 446-1331 que muestra fractura del Pin Spring, indentaciones y algunos desgastes adhesivos en la superficie de rodadura para los dos rodamientos (consecuencias del desarrollo de la falla).

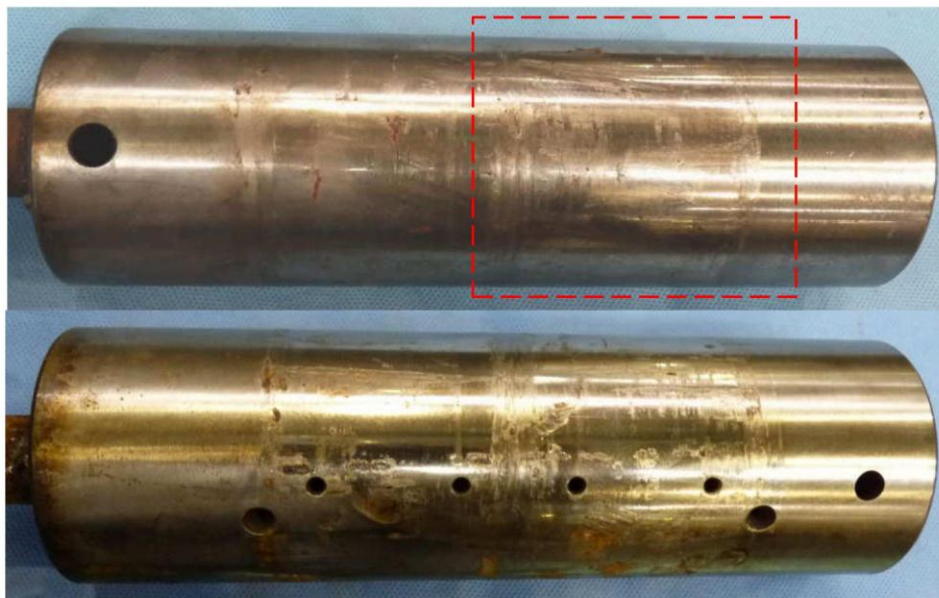
AFA. CR44614.01

INFORME DE ANÁLISIS DE FALLA

Lima, 20 de Agosto del 2015



Eje planetario 446-1331 que muestra fractura del Pin Spring y ligeros desgastes adhesivos puntuales en la superficie de rodadura para los rodamientos (consecuencia del desarrollo de la falla).



Eje planetario 446-1331 que muestra los mayores daños y desgastes en la superficie de rodadura para los rodamientos del engranaje planetario. Los desgastes se concentran principalmente en la zona donde trabaja uno de los rodamientos 274-5106, observándose desgastes adhesivos en dicha zona, sin que se observen colores por alta temperatura lo que permite descartar temas de lubricación deficiente.

AFA. CR44614.01

**INFORME DE
ANÁLISIS DE FALLA**

Lima, 20 de Agosto del 2015

RECOMENDACIONES:

Reportar el caso a fábrica.

Atentamente,

Ing. Edgar Risco Díaz
Analista de Fallas

Ing. Manuel Sarmiento
Jefe AFA

ANEXO N°07

**COSTOS DE COMPONENTES DE LA CAJA DE
TRANSMISION DEL CAMION VOLQUETE
MINERO MODELO CAT 797**

**TABLA NªA: COSTOS DE COMPONENTES DE LA CAJA DE TRANSMISION DEL CAMION
VOLQUETE MINERO MODELO CAT 797**

Item	Descripción	N/P	Costo (USD)
1	Eje principal de la transmisión.	272-3349	19663.94
2	Tren de engranajes delantero de la transmisión.	272-3226	81381.13
3	Tren de engranajes posterior de la transmisión.	272-3227	174007.17
4	Bomba hidráulica de carga de la transmisión.	276-2955	7114.86
5	Bomba de lubricación de la transmisión.	276-2995	7114.86
6	Platos y discos de la transmisión.	9U-9829	6050.00
7	Control electrónico ECM de la transmisión.	303-2381	2326.23
8	Bomba hidráulica de barrido de la transmisión.	276-2955	7114.86
9	Control de válvulas proporcionales de la transmisión.	272-3231	16032.51
10	Filtrado de la transmisión.	339-9705	3498.08
Fuente: Elaboración Propia			COSTO TOTAL
			324303.64

ANEXO N°08

**VIDA UTIL Y HISTORIAL DE LOS
COMPONENTES DE LA CAJA DE TRANSMISION
DEL CAMIÓN VOLQUETE MINERO MODELO
CAT 797**

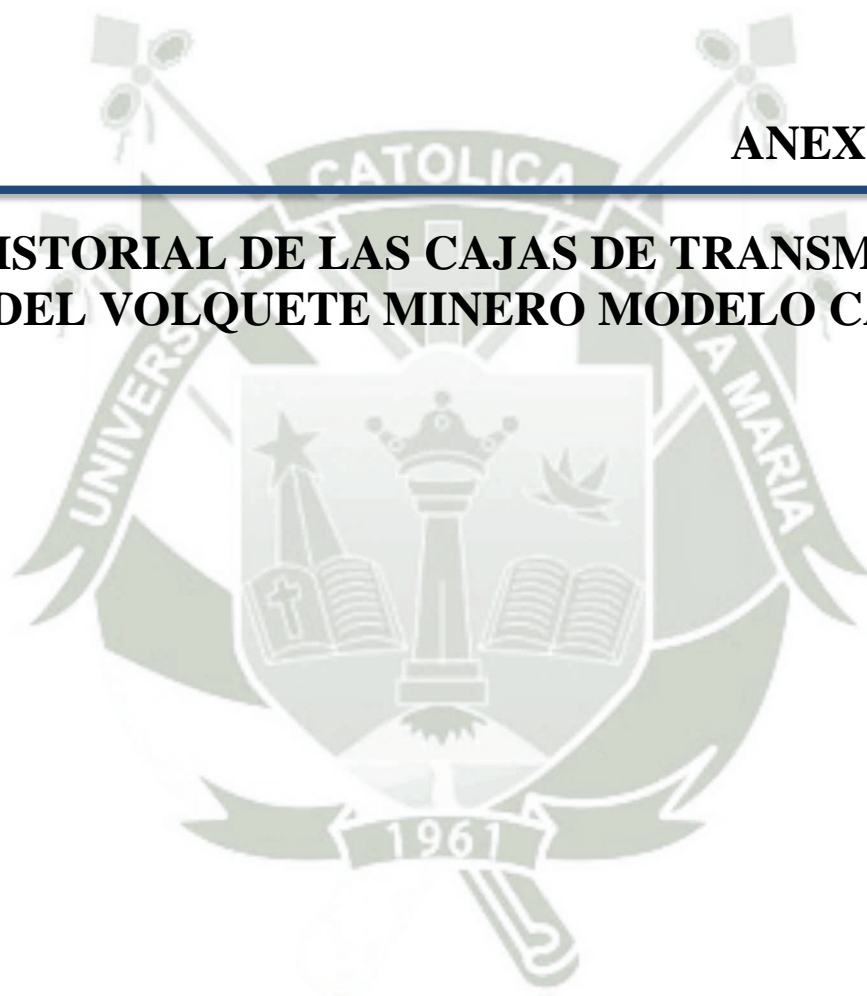
TABLA N°B: VIDA UTIL ESTIMADA Y HISTORIAL DE FALLAS DE LOS COMPONENTES DE LA CAJA DE TRANSMISION DEL CAMION MINERO VOLQUETE MODELO CAT 797

Item	Descripción	N/P	Vida Estimada	Vida de Consumible	Horas Falla 1	Horas Falla 2	Horas Falla 3	Horas Falla 4	Horas Falla 5	Horas Falla 6
1	Eje principal de la transmisión.	272-3349	32000 horas	--	16550	1753	30000			
2	Tren de engranajes delantero de la transmisión.	272-3226	32000 horas	--	12930					
3	Tren de engranajes posterior de la transmisión.	272-3227	32000 horas	--	1377	8996	1067	4043		
4	Bomba hidráulica de carga de la transmisión.	276-2955	16000 horas	--	16000					
5	Bomba de lubricación de la transmisión.	276-2995	16000 horas	--	16000					
6	Platos y discos de la transmisión.	9U-9829	32000 horas	--	5701	10602	7640	7006	7538	4601
7	Control electrónico ECM de la transmisión.	276-2995	16000 horas	--	21	16000				
8	Bomba hidráulica de barrido de la transmisión.	276-2955	16000 horas	--	16000					
9	Control de válvulas proporcionales de la transmisión.	272-3231	16000 horas	--	8293	8759				
10	Filtrado de la transmisión.	339-9705	16000 horas	500 horas	16000					

Fuente: FERREYROS S.A

ANEXO N°09

**HISTORIAL DE LAS CAJAS DE TRANSMISIÓN
DEL VOLQUETE MINERO MODELO CAT 797**



Modelo	Componente	Fecha Instalación	Fecha Remoción	Vida Usada	Causa Raíz de Falla
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	17/04/2012	07/07/2013	8293	Control de Válvulas
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	18/05/2012	24/08/2013	8759	Control de Válvulas
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	18/08/2012	12/11/2013	8651	Sin Información
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	12/12/2014	05/03/2015	1377	Falla del tren posterior de la transmisión
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	29/12/2012	20/11/2013	6272	Sin Información
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	17/02/2015	04/01/2016	5701	Falla de platos y discos
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	25/09/2015	13/10/2015	293	Falla del tren delantero de la transmisión
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	24/05/2013	15/09/2014	8996	Falla del tren posterior de la transmisión
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	14/07/2015	25/07/2015	93	Falla en el ECM de transmisión
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	30/07/2014	09/02/2016	10602	Falla de platos y discos
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	20/08/2014	20/08/2014	17	Sin Información
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	05/09/2014	05/09/2014	28	Sin Información
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	05/09/2014	16/10/2015	7640	Falla de platos y discos
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	06/10/2014	06/10/2014	27	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	16/12/2010	12/10/2011	4484	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	12/10/2011	21/02/2012	1783	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	05/02/2014	02/02/2015	7006	Falla de platos y discos
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	21/12/2010	29/04/2012	7360	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	29/04/2012	10/07/2012	972	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	10/07/2012	30/10/2012	1892	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	02/05/2015	06/08/2015	1416	Consecuencia falla de Diferencial
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	06/01/2015	04/02/2015	571	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	03/02/2015	08/12/2015	6140	Mal diagnostico. Transmisión sin falla
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	08/02/2015	17/02/2016	7538	Falla de platos y discos

797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	17/02/2016	12/04/2016	1067	Falla del tren posterior de la transmisión
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	26/02/2015	12/10/2015	4601	Falla de platos y discos
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	20/09/2013	10/11/2014	7493	Sin Información
797F	3030.00.CC.0 TRANSMISSION	17/03/2016	22/03/2016	21	ECM de la transmisión
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	23/10/2012	18/06/2014	6147	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	25/11/2012	16/10/2014	8051	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	17/12/2012	17/11/2014	8676	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	17/11/2014	27/06/2015	4043	Falla del tren posterior de la transmisión
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	13/03/2013	28/05/2014	2607	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	30/11/2013	25/12/2013	43	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	25/12/2013	13/05/2014	1835	Sin Información
797F	3030.00.CC.1 TRANSMISSION	11/07/2015	14/07/2015	92	Falla del Sello entre transmisión y diferencial

Fuente: Ferreyros S.A.

