	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	<b>FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO</b>	<b>F-AC-DBL-007</b>	<b>16-09-2020</b>	<b>A</b>
Dependencia		Aprobado	Pág.	
<b>DIVISIÓN DE BIBLIOTECA</b>		<b>SUBDIRECTOR ACADEMICO</b>	<b>i(148)</b>	

### RESUMEN TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>ANGIE TATIANA PEREZ DELGADO</b>			
FACULTAD	<b>INGENIERÍAS</b>			
PLAN DE ESTUDIOS	<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
DIRECTOR	<b>JHON ARÉVALO TOSCANO</b>			
TÍTULO DE LA TESIS	<b>DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA LA VALORACION DE SALUD DEL COMPONENTE TRANSMISION DE LA FLOTA DE CAMIONES MECANICOS DE LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON LIMITED</b>			
<b>RESUMEN</b>				
<p><b>ESTE PROYECTO ESTA ENFOCADO EN BRINDAR APOYO AL AREA DE MANTENIMIENTO, ESPECIFICAMENTE A LA FLOTA DE CAMIONES MECANICOS DE LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJON LIMITED, A TRAVES DE UNA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA DESARROLLADA EN EL SOFTWARE EXCEL, QUE RECOPILA LA INFORMACION DEL COMPONENTE TRANSMISION CON EL FIN DE ANALIZARLA Y ENTREGAR A TRAVES DE UN DASHBOARD EL ESTADO ACTUAL DEL COMPONENTE Y UN PANORAMA GENERAL DEL MISMO DENTRO DE LA FLOTA.</b></p>				
<b>CARACTERÍSTICAS</b>				
<b>PÁGINAS: 148</b>	<b>PLANOS: 0</b>	<b>FIGURAS: 58</b>	<b>TABLAS: 14</b>	<b>CD-ROM:1</b>



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552  
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88 - Fax: Ext. 104  
[info@ufpso.edu.co](mailto:info@ufpso.edu.co) - [www.ufpso.edu.co](http://www.ufpso.edu.co)

**DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA TECNOLÓGICA PARA LA  
VALORACIÓN DE SALUD DEL COMPONENTE TRANSMISIÓN DE LA FLOTA DE  
CAMIONES MECÁNICOS DE LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED**

**AUTOR**

**ANGIE TATIANA PÉREZ DELGADO**

**Trabajo de grado en modalidad pasantía, presentado como requisito para optar por el  
título de ingeniero mecánico**

**Director**

**Esp. Jhon Arévalo Toscano  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Ocaña, Colombia**

**Octubre 2020**

## **Dedicatoria**

*En primera instancia, dedico este proyecto a Dios, por darme la oportunidad de formarme como profesional, por darme la salud y perseverancia con la cual afronté este reto. A mis padres José del Carmen Pérez Bohórquez y Mireya Delgado Claro, por brindarme los valores que me conforman hoy en día. A mis familiares y principalmente a mi primo William Acosta Delgado por respaldarme a lo largo de éste proceso. A mis amigos Gian Carlos Castaño, Marlon Díaz Jiménez, Leider Quintero, Fabrian Carrión, Luis Fernando López y Jorge Páez quienes que me acompañaron el proceso regalándome siempre su apoyo. A José Armando Hernández por ser mi soporte incondicional en cada momento y por último a todos los maestros que compartieron un pedazo de su gran conocimiento conmigo.*

## AGRADECIMIENTOS

*A los profesores Jhon Arévalo y Edwin Espinel por sus consejos, enseñanzas y apoyo en este proceso.*

*A la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por darme la oportunidad de pertenecer a ella y adquirir conocimientos durante este periodo de formación académica.*

*A la empresa Carbones del Cerrejón Limited por permitirme adquirir habilidades y destrezas como ingeniero mecánico, de la mano de profesionales muy capaces y con un gran corazón para enseñar.*

*A mis supervisores Eduardo Nieto y Hernán David Pineda por su acompañamiento durante todo este proceso.*

*A todas las demás personas que hicieron parte de este proyecto y contribuyeron a mi formación como ingeniero, Muchas Gracias.*

## Índice

Introducción.....	xv
Capítulo 1: Desarrollo de una herramienta tecnológica para la valoración de salud del componente transmisión de la flota de camiones mecánicos de la empresa Carbones del Cerrejón Limited. ....	1
1.1 Descripción breve de la empresa.....	1
1.1.1 Misión. ....	2
1.1.2 Visión. ....	2
1.1.3 Objetivos de la empresa. ....	3
1.1.4 Estructura organizacional de la empresa. ....	4
1.2 Descripción de la dependencia a la que fue asignado. ....	4
1.2.1 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada ....	6
1.3 Planteamiento del problema. ....	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 General. ....	7
1.4.2 Específicos.....	7
1.5 Descripción de las actividades ....	8
1.5.1 Cronograma de actividades ....	9
CAPÍTULO 2. ENFOQUES REFERENCIALES .....	11
2.1. Enfoque conceptual .....	11
2.1.1 Activo.....	11
2.1.2 Activo crítico.. ....	11
2.1.3 Análisis de modos y efectos de falla (FMEA).....	12
2.1.4 Artículo estándar.....	12
2.1.5 Contaminación.....	12
2.1.6 Down Time (DT).. ....	12
2.1.7 Equipo Down.....	12
2.1.8 Estandarización.....	12
2.1.9 Falla.....	13
2.1.10 Fallas funcionales. ....	13
2.1.11 Garantía. ....	13
2.1.12 Indicador.....	14
2.1.13 Inspección.....	14
2.1.14 Modos de falla, efectos y análisis crítico (FMECA).....	14
2.1.15 Orden de trabajo (OT).....	15

2.1.16	Overhaul.....	15
2.1.17	Parada del equipo.....	15
2.1.18	Petición de trabajo.....	16
2.1.19	Reparación.....	16
2.1.20	Uptime.....	16
2.1.21	Vida del activo.....	16
2.1.22	Estrategias de mantenimiento.....	17
2.1.23.	Inspección visual, acústica y al tacto de componentes. ....	22
2.1.24.	Termografía. ....	22
2.1.25.	Análisis de vibraciones. ....	23
2.1.26.	Movimiento Armónico.....	23
2.1.27.	Movimiento aleatorio.....	24
2.1.28.	Metodología six sigma.....	24
2.1.29.	¿Qué es un SIPOC?.....	25
2.1.30.	Elementos del SIPOC.....	26
2.1.31.	Minería a cielo abierto.....	27
2.2.	Marco teórico.....	29
2.2.1.	Mantenimiento.....	29
2.2.2.	RCM = Mantenimiento centrado en confiabilidad.....	30
2.2.3.	Medición y análisis de ondas de alta frecuencia.....	30
2.2.4.	Análisis y pruebas de aceite. ....	31
2.2.5.	Conteo de partículas.....	32
2.2.6.	Prueba de Viscosidad.....	33
2.2.7.	Planificación y programación de mantenimiento.....	34
2.2.8.	Disponibilidad.....	35
2.2.9.	Tiempo promedio entre fallas (MTBF Mean Time Between Failure).....	35
2.2.10.	Confiabilidad.....	36
2.2.11.	Tiempo promedio para la reparación (MTTR Mean Time To Repair).....	36
2.2.12.	Tren de potencia.....	37
2.2.13.	Convertidor de Torque (TC).....	38
2.2.14.	Transmisión.....	40
2.2.15	Diferencial.....	44
2.2.16	Mandos finales.....	45
2.2.17	Módulo de Control Electrónico (ECM).....	46
2.3.	Enfoque legal.....	49
	Norma Internacional ISO 14224:2016,.....	49
	NORMA ASTM D7720 – 11 (citado por Machinery, 2014).....	57
	CAPÍTULO 3. INFORME DE CUMPLIMIENTO DE TRABAJO.....	66

3.1.	Presentación de resultados .....	66
3.1.1.	Fase I.....	66
3.1.2.	Fase II. ....	86
3.1.3.	Fase III.....	93
3.1.4.	Fase IV.....	114
4	Diagnostico final.....	119
5	Conclusiones.....	120
6	Recomendaciones .....	121
	Referencias .....	122

## Lista de figuras

Figura 1. Estructura organizacional de Cerrejón Limited .....	4
Figura 2. Estructura organizacional de la vicepresidencia de mantenimiento. ....	5
Figura 3. Mantenimiento basado en la condición. ....	20
Figura 4. Monitoreo de condición. ....	21
Figura 5. Elementos del diagrama SIPOC.....	26
Figura 6. Método de Explotación o Tajo Abierto. ....	28
Figura 7. ISO 4406 Testing: Contamination Particles in Oil 2019 Entegris .....	33
Figura 8. Viscosímetro capilar.....	34
Figura 9. Componentes del tren de potencia Camión mecánico Caterpillar .....	38
Figura 10. Convertidor de Torque .....	39
Figura 11. Embrague de traba.....	40
Figura 12. Juegos de engranajes planetarios .....	41
Figura 13. Sistema de control Electrónico (ECM) del motor.....	42
Figura 14. Sistema hidráulico de transmisión ICM .....	44
Figura 15. Diferencial .....	44
Figura 16. Mando Final.....	45
Figura 17. Diagrama de componentes del ECM.....	46
Figura 18. Camión Caterpillar 793D.....	47
Figura 19. Camión de minería Caterpillar 789D .....	47
Figura 20. Camión Caterpillar 789C.....	48
Figura 21. Parámetros SPC, Distribución normal.....	60
Figura 22. Aspectos críticos del monitoreo de condiciones Cat ECA .....	67
Figura 23. Protocolo de envío de información CAT ECA. ....	68



Figura 24. Sistema VIMS Caterpillar.....	70
Figura 25. Protocolo de envío de información Komtrax.....	73
Figura 26. Protocolo de envío de información Global e Service Hitachi .....	77
Figura 27. Protocolo de envío de información Global e-Service Consite.....	80
Figura 28. Proceso de mantenimiento sin ConSite OIL.....	82
Figura 29. Beneficios del uso de ConSite OIL.....	82
Figura 30. Propiedades del aceite que monitorea ConSite OIL .....	83
Figura 31. Desarrollo de un diagrama SIPOC para el proceso: Mejorar la vida media de las Transmisiones CAT240 y 190.....	86
Figura 32. Flujo de información para la base de datos.....	89
Figura 33. Lenguaje básico de visual Basic para la creación de macros .....	91
Figura 34. Peso porcentual de las categorías de eventos de MTBS.....	97
Figura 35. Diagrama Anderson-Darling Rellenos de aceite de lubricación flotas 789 y 793.....	99
Figura 36. Diagrama Boxplot Alarma de Alta temperatura de lubricación flota 789.....	100
Figura 37. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma de alta temperatura de lubricación flota 789.....	101
Figura 38 a) Diagrama Boxplot Alarma de deslizamiento flota 789.....	102
Figura 39. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma de Abusos flota 789.....	102
Figura 40. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Downshift Solenoid flota 789.....	103
Figura 41. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Upshift Solenoid flota 789.....	103
Figura 42. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Transmission Oil Level flota 789.....	104
Figura 43 a) Diagrama Boxplot Alarma Transmission ECM flota 789.....	104

Figura 44. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Vims Transmission ECM flota 789. ....	105
Figura 45 a) Diagrama Boxplot Alarma de temperatura de lubricación flota 793D. ....	105
Figura 46 a) Diagrama Boxplot Alarma de deslizamiento flota 793D. ....	106
Figura 47 a) Diagrama Boxplot Alarma de Abusos flota 793D. ....	106
Figura 48. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Downshift Solenoid flota 793D. ....	107
Figura 49 a) Diagrama Boxplot Alarma Upshift Solenoid flota 793D. ....	107
Figura 50 a) Diagrama Boxplot Alarma Transmission Oil Level flota 793D. ....	108
Figura 51 a) Diagrama Boxplot Alarma Transmission ECM flota 793D. ....	108
Figura 52. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Vims Transmission ECM flota 793D. ....	109
Figura 53. Código VBA Excel, para el cálculo de la clasificación del componente transmisión. ....	113
Figura 54. Tabla de clasificación de estado de transmisiones. ....	113
Figura 55. Tabla Transmisiones con mayor criticidad (Según Flota).....	115
Figura 56. Tabla Dashboard Top 10 Transmisiones críticas. ....	116
Figura 57. Gráfico Dashboard Horas actuales VS VME .....	116
Figura 58. Gráfico Dashboard Transmisiones críticas por Flota .....	117

## Lista de tablas

Tabla 1 Estado actual de la dependencia asignada .....	6
Tabla 2 Descripción de las actividades para el cumplimiento de los objetivos específico .....	8
Tabla 3 Cronograma de actividades.....	9
Tabla 4 Fases Seis Sigma .....	25
Tabla 5 Alarmas proporcionadas por MineCare.....	85
Tabla 6 Variables Priorizadas Componente Transmisión .....	87
Tabla 7 Información extraída para la base de datos.....	92
Tabla 8 Eventos (Según MTBS) Componente transmisión Flota Acarreo Mecánico .....	95
Tabla 9 Delimitaciones para rellenos de aceite SAE 30 .....	99
Tabla 10 Delimitaciones para las alarmas de la flota 789C –D.....	109
Tabla 11 Delimitaciones para las alarmas de la flota 793D .....	110
Tabla 12 Delimitaciones para las horas actuales del componente transmisión .....	112
Tabla 13 Delimitaciones para las horas actuales del componente convertidor .....	112
Tabla 14 Análisis de resultados .....	118

## **Lista de apéndices**

Apéndice A. Especificaciones Técnicas de los Camiones de minería .....	127
Apéndice B. Pestaña Inicio, interfaz de usuario del sistema de información en Excel .....	130
Apéndice C. Pestaña Base de Datos, interfaz de usuario del sistema de información.....	131
Apéndice D. Pestaña Resumen, Interfaz de usuario del sistema de información. ....	132
Apéndice E. Sistema de información en Excel. ....	133

## Introducción

Carbones del Cerrejón es una empresa minera de carbón, ubicada en el departamento La Guajira con una operación a cielo abierto siendo una de las minas más grandes de Colombia. En el proceso de extracción del carbón, se utilizan diversos tipos de maquinaria, entre ellos los camiones mecánicos, responsables del transporte de estéril y carbón.

La transmisión es un componente clave para el funcionamiento de un camión mecánico, y de alto impacto en los costos de operación. El conocer su estado es una tarea compleja ya que su vida útil, depende de diversos factores como el proceso mismo de fabricación, la instalación y su uso, entre otros. Tener un conocimiento profundo de datos exactos así como de características relacionadas con el componente, permite tener una perspectiva clara del funcionamiento de la máquina, su eficiencia y la vida útil esperada de la misma.

Actualmente Carbones del Cerrejón cuenta con 156 transmisiones activas cada una con condiciones de operación diferentes. Este proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta tecnológica que recopile los datos de reportes que maneja el sistema de información del área mantenimiento acerca de éste componente, para evaluar el estado actual de las transmisiones, siendo así un soporte para el analista de la flota de camiones mecánicos.

# **Capítulo 1: Desarrollo de una herramienta tecnológica para la valoración de salud del componente transmisión de la flota de camiones mecánicos de la empresa Carbones del Cerrejón Limited.**

## **1.1 Descripción breve de la empresa**

El presente proyecto será llevado a cabo en la empresa Carbones del Cerrejón Limited, también conocida como “Cerrejón” únicamente, la cual es una de las operaciones mineras de exportación de carbón a cielo abierto más grandes del mundo. Cuenta con una superficie total de 69.000 hectáreas, es un importante actor de la economía en colombiana y motor de La Guajira, al noreste de Colombia, región en la que concentra su actividad productiva. Integra la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades.

Cerrejón es un Proyecto conjunto independientemente operado de Anglo American (33%), Glencore International (33%) y BHP (33%). Tiene su sede administrativa en Bogotá, Colombia; su central de explotación minera se encuentra ubicada en Albania, departamento de la Guajira, también es propietaria de la terminal de exportación minera Puerto Bolívar, que cuenta con capacidad para manejar embarcaciones de hasta 180.000t. y del sistema ferroviario que posee una línea férrea de 150km que conecta la mina con este Puerto y un ferrocarril de hasta 150 vagones con tres locomotoras.

De acuerdo con el informe de sostenibilidad (2007), las obras de acondicionamiento de la empresa iniciaron aproximadamente en el año 1980 bajo el liderazgo del gigante petrolero estadounidense Exxon. En 2008 se extrajeron ya 31,3 millones de toneladas de carbón, lo que

representa el 42% de la producción total de carbón de Colombia. Para el 2017, la compañía produjo y exportó aproximadamente 31,9 millones de toneladas, correspondientes al 37,6% de toda la exportación de carbón de Colombia. Es de destacar que esta organización emplea a 5.997 trabajadores directos y a 6.122 contratistas, un 60% de los cuales procede de La Guajira. (Cerrejón, s.f.).

Cerrejón Ltd., formalmente tiene un contrato con el gobierno de Colombia que se extiende hasta el año 2034. Dentro la descripción detallada de la empresa es menester tener en cuenta cuál es su misión, como se visiona y la estructura organizacional o también conocido como organigrama. A continuación, teniendo en cuenta la información consultada por medio de la página web Cerrejón, minería responsable (2017), se relacionarán estos aspectos de la compañía.

### **1.1.1 Misión.**

“Producir y exportar carbón de manera eficiente, confiable y rentable, cumpliendo con los más altos estándares en seguridad, salud, medio ambiente y ética empresarial, contribuyendo al progreso de nuestra gente, las comunidades vecinas y La Guajira.” (p.4).

### **1.1.2 Visión.**

“Ser el productor y exportador de carbón líder a nivel mundial y un aliado clave para el progreso y desarrollo sostenible de La Guajira.” (p.4)

### 1.1.3 Objetivos de la empresa.

- **Excelencia Operacional:** afianzar el mejoramiento continuo de nuestra planeación y operación, tanto a lo largo de la cadena de producción, preparación, transporte y exportación como en las actividades administrativas y de soporte, acorde con las mejores prácticas.
- **Nuestra Gente:** atraer, desarrollar y asegurar el talento humano con las competencias requeridas para cumplir con los objetivos del negocio, en el que cada colaborador le encuentre sentido a su contribución en un adecuado ambiente de clima y cultura Cerrejón.
- **Seguridad y Salud:** consolidar una operación segura, esto es, sin fatalidades y con una cultura de seguridad y autocuidado que permita salvaguardar la vida y la salud de las personas y la integridad de nuestros procesos, instalaciones y equipos.
- **Responsabilidad Social y Ambiental:** promover activa y efectivamente el desarrollo sostenible de La Guajira, y conducir todas nuestras actividades bajo los más estrictos preceptos en materia de ética, respeto por nuestra gente, las comunidades, su cultura y por el medio ambiente.
- **Gestión de Proyectos:** planear y ejecutar los proyectos requeridos tanto para el sostenimiento de la capacidad como para expansiones, de forma segura, acorde con los estándares, tiempos y presupuestos establecidos.
- **Rentabilidad:** optimizar continuamente todos nuestros procesos con el fin de ser una de las operaciones de carbón térmico más competitivas a nivel mundial en términos de costos unitarios, asegurando la sostenibilidad, el crecimiento y la creación de valor en el largo plazo.



### 1.1.4 Estructura organizacional de la empresa.

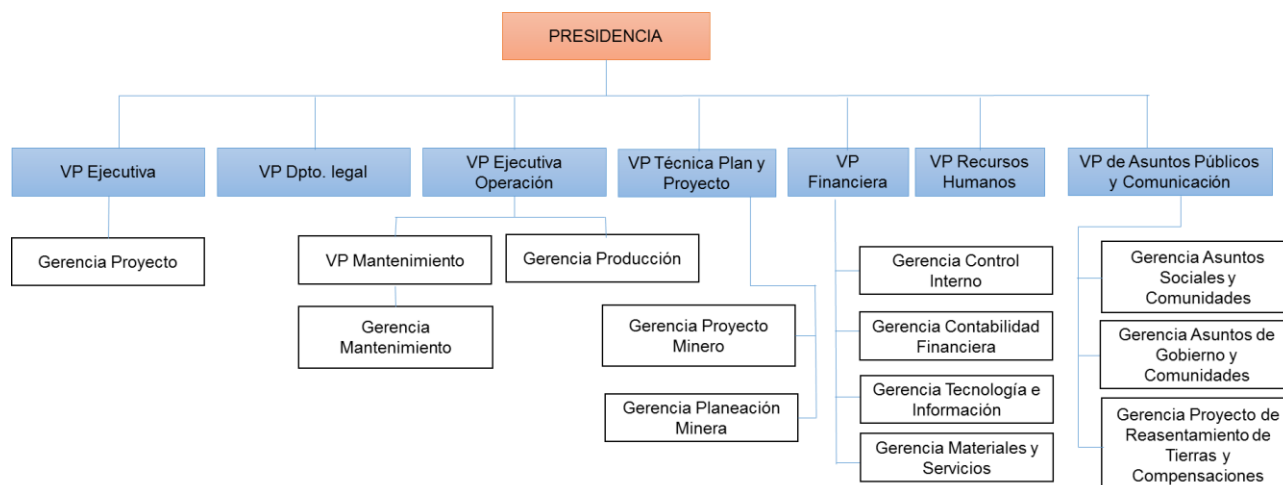


Figura 1. Estructura organizacional de Cerrejón Limited

Fuente: División de Recursos Humanos Carbones del Cerrejón Limited.

### 1.2 Descripción de la dependencia a la que fue asignado.

La superintendencia de ingeniería de confiabilidad, es una dependencia supervisada por la vicepresidencia de mantenimiento, está a cargo del ingeniero Jorge Díaz, se encuentra ubicada en el edificio administrativo 3, Cerrejón, La Mina, Albania, Departamento de la Guajira. Entre sus funciones, se encarga de definir todas las estrategias de mantenimiento de los equipos mineros y auxiliares de la mina además de realizar el monitoreo de condición de los equipos.

Está conformada por 2 analistas para la flota de camiones mecánicos, que dentro de sus tareas tienen como propósito mantener una óptima condición de los activos de la flota a través de distintas herramientas tales como, análisis de fallas, monitoreo de condición, inspecciones periódicas, entre otros; además cuenta con 2 contratistas de soporte de signos vitales y 4 bases de administradores de paradas y signos vitales, que trabajan en conjunto con el área de

mantenimiento en la mejora de horas labor-presupuesto y el área de producción en el incremento de horas-disponibilidad.

Por otro lado, también se encarga de la coordinación de los ejercicios de evaluación de estrategias, de realizar proyectos de mejora, manejar los sistemas y bases de información de mantenimiento, apoyándose en el recurso humano, que está conformado en su mayoría por ingenieros mecánicos, electrónicos y de sistemas, además de técnicos y contratistas. Es un área de soporte, que trabaja como eje transversal con las áreas de planeación y ejecución del mantenimiento, apoyando a su vez a la vicepresidencia de mantenimiento. En la figura.2 se puede observar cómo se encuentra organizada la vicepresidencia de mantenimiento de la empresa.

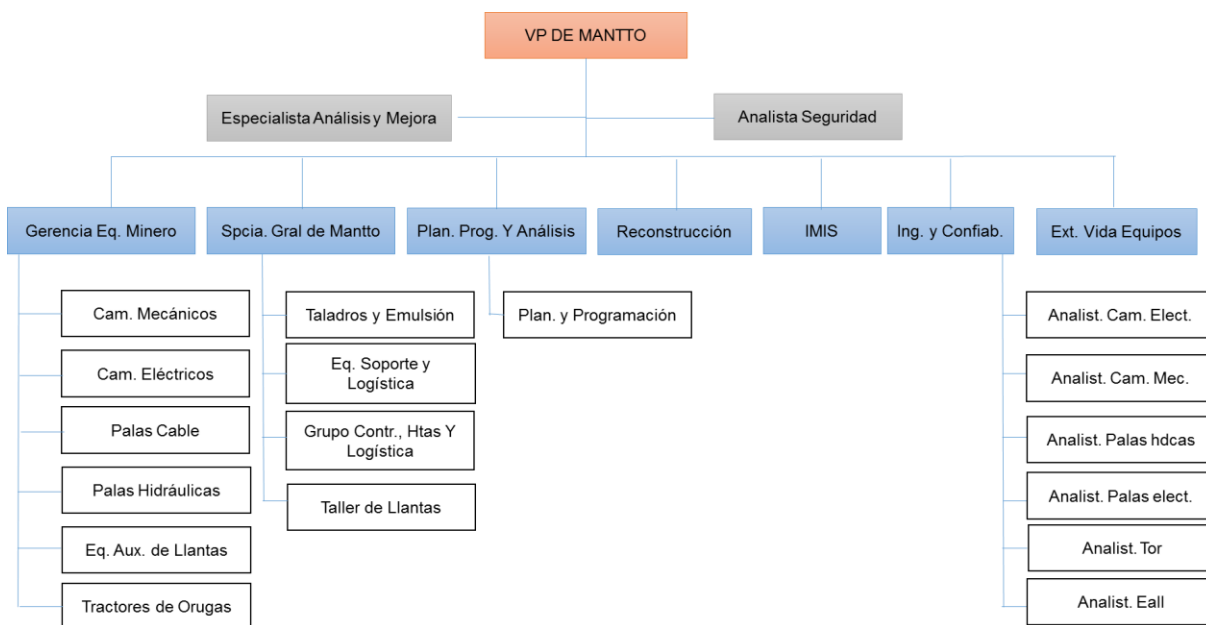


Figura 2. Estructura organizacional de la vicepresidencia de mantenimiento.

Fuente: División de Recursos Humanos Carbones del Cerrejón Limited.

### 1.2.1 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada

A continuación, en la Tabla 1 se expondrán las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas que presenta la dependencia de mantenimiento asignada.

**Tabla 1**

*Estado actual de la dependencia asignada*

<b>DEBILIDADES</b>	<b>OPORTUNIDADES</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No existe una integración de la información que permita el tratamiento estadístico para la toma de decisiones.</li> <li>• Limitación en la inyección de capital financiero para la ejecución de diferentes actividades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentar la vida media del componente transmisión.</li> <li>• Optimización de los recursos de tipo consumible para las transmisiones.</li> <li>• Reducción de costos en mantenimiento.</li> </ul>
<b>FORTALEZAS</b>	<b>AMENAZAS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El capital humano existente cuenta con amplia experiencia en proyectos de monitoreo de condición y tratamiento estadístico de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de horas disponibles operación por incremento de intervenciones de mantenimiento.</li> <li>• La situación legal de la empresa compromete la estabilidad de la operación minera.</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia (2020)

### 1.3 Planteamiento del problema.

El área de mantenimiento de Carbones del Cerrejón Limited, actualmente tiene la necesidad de implementar una herramienta tecnológica que facilite las labores de monitoreo de condición de las transmisiones de la flota de camiones mecánicos. Con el monitoreo de condición se busca extender la vida útil de las transmisiones y generar una reducción de costos en el área de mantenimiento de los equipos, evitando el desperdicio de recursos consumibles, tales como aceite, repuestos, lubricantes, entre otros.

La falta de integración y aprovechamiento de la información que se tiene y su vinculación con el recurso humano son factores que han impedido la creación de una herramienta que permita reducir el número de reparaciones y los costos asociados de mantenimiento. Uno de los objetivos de la aplicación de la metodología del monitoreo de condición, es dar seguimiento a las variaciones críticas que se pueden generar en el componente, con la finalidad de diagnosticar fallas con problemas específicos, prevenir fallas prematuras y/o catastróficas, extender la vida media de los equipos, reducir el número de reparaciones, y así obtener una reducción significativa de los costos de las intervenciones de mantenimiento.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 General.**

Desarrollar una herramienta tecnológica para la valoración de salud del componente transmisión de la flota de camiones mecánicos de la empresa Carbones del Cerrejón Limited.

### **1.4.2 Específicos.**

- Planificar y ejecutar un método para la obtención de la información necesaria para el monitoreo de condición del componente.
- Consolidar la información en un banco de datos de fácil acceso en Excel.
- Realizar un análisis estadístico de los factores actualmente monitoreados de las transmisiones con ayuda del software MiniTab.
- Generar un Dashboard para la visualización del estado de los componentes.

## 1.5 Descripción de las actividades

**Tabla 2**

*Descripción de las actividades para el cumplimiento de los objetivos específicos*

<b>OBJETIVO GENERAL</b>			
Desarrollar una herramienta tecnológica para la valoración de salud del componente transmisión de la flota de camiones mecánicos de la empresa Carbones del Cerrejón Limited.			
<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>			
Planificar y ejecutar un método para la obtención de la información necesaria para el monitoreo de condición del componente.	Consolidar la información en un banco de datos de fácil acceso en Excel.	Realizar un análisis estadístico de los factores actualmente monitoreados de las transmisiones con ayuda del software MiniTab.	Generar un Dashboard para la visualización del estado de los componentes.
<b>ACTIVIDADES POR OBJETIVO ESPECIFICO</b>			
Consultar información relacionada a buenas prácticas de monitoreo de condición en flotas mineras.	Identificar las variables a monitorear.  Priorización de las variables a monitorear.	Definir el tipo de análisis, las variables a analizar y las exclusiones a tener en cuenta.	Construir un Dashboard para la visualización del estado de los componentes.
Análisis de la información y recursos disponibles para el monitoreo de condición.	Creación de un registro de consulta de datos en Excel.	Establecer los criterios para evaluar el estado de las transmisiones instaladas.	Análisis de resultados y conclusiones.
Desarrollo de un diagrama SIPOC para el proceso: Mejorar la vida media de las Transmisiones CAT240 y 190.			

Fuente: Autor del Proyecto (2020)



<b>Identificar las variables a monitorear.</b>	X	X						
<b>Priorización de las variables a monitorear.</b>		X						
<b>Creación de un registro de consulta de datos en Excel.</b>			X	X	X			
<b>Definir el tipo de análisis, las variables a analizar y las exclusiones a tener en cuenta.</b>					X	X		
<b>Establecer los criterios para evaluar el estado de las transmisiones instaladas.</b>						X	X	
<b>Construir un Dashboard para la visualización del estado de los componentes.</b>						X	X	
<b>Análisis de resultados y conclusiones.</b>						X	X	X

---

Fuente: Autor del proyecto (2020).

## CAPÍTULO 2. ENFOQUES REFERENCIALES

### 2.1.Enfoque conceptual

En este apartado se describirá brevemente los conceptos más importantes a tener en cuenta para la ejecución de este proyecto que tiene como finalidad desarrollar una herramienta tecnológica que facilite la transmisión de flota de camiones mecánicos y procese la información adecuadamente para la empresa Cerrejón. Es menester exponer las categorías o conceptos que estarán inmersos en el tema para facilitar la comprensión teórica sobre el mismo.

**2.1.1 Activo.** Es definido de acuerdo con la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2014) como un elemento, cosa o entidad que tiene valor real o potencial para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus grupos de interés, y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero incluyendo la consideración de riesgos y obligaciones. Puede ser positivo o negativo en las diferentes etapas de vida del activo.

**2.1.2 Activo crítico.** Es conocido como aquel que tiene potencial para para impactar significativamente en el logro de los objetivos de la organización. Los activos pueden ser críticos desde el punto de vista de la seguridad, del ambiente o del desempeño y pueden relacionarse a requisitos legales, regulatorios o estatutarios. (ISO, 2014).



- 2.1.3 Análisis de modos y efectos de falla (FMEA).** De acuerdo con Aguilar, Torres y Magaña (2010), es un método estructurado para determinar las funciones del equipo, fallas funcionales, evaluar las causas de las fallas y sus efectos de falla. La primera parte de un análisis de mantenimiento centrado en la confiabilidad es un FMEA.
- 2.1.4 Artículo estándar.** Pieza, componente, material, subensamblaje, ensamblaje o equipo que se identifica o describe con precisión mediante un documento o dibujo estándar. (Peters, 2015)
- 2.1.5 Contaminación.** Perkins (2013), la define como la presencia de sustancias extrañas no deseadas en los sistemas de fluidos o piezas mojadas por los fluidos. La contaminación altera las propiedades de los fluidos, causa daños en los sistemas de fluidos y evita que los sistemas y los componentes alcancen la fiabilidad y la durabilidad deseadas. La contaminación es la causa principal de las fallas de los sistemas de fluidos.
- 2.1.6 Down Time (DT).** Law Insider (s.f), lo refiere como el tiempo que un elemento del equipo está fuera de servicio, como resultado de una falla del equipo. El tiempo que un elemento de equipo está disponible, pero no se utiliza, generalmente no se incluye en el cálculo del Down Time.
- 2.1.7 Equipo Down.** Equipo parado por mantenimiento. (Law Insider, s.f).
- 2.1.8 Estandarización.** Proceso de establecer la mayor uniformidad práctica de artículos y prácticas para asegurar la mínima variedad posible de dichos artículos y prácticas, y afectar la intercambiabilidad óptima. (ISO, 2014).

**2.1.9 Falla.** “Terminación de la capacidad de un artículo para realizar su función requerida a un estándar; un elemento del equipo ha sufrido un fallo cuando ya no es capaz de cumplir una o más de sus funciones previstas. Tenga en cuenta que un ítem no necesita ser completamente incapaz de funcionar para haber sufrido un fallo. Por ejemplo, una bomba que todavía está funcionando, pero no es capaz de bombear el caudal requerido, ha fallado. En la terminología de mantenimiento centrada en la confiabilidad, una falla a menudo se llama falla funcional.” (Peters, 2015, pág. 380)

**2.1.10 Fallas funcionales.** Un activo falla cuando no hace lo que el usuario desea que haga. Una falla funcional puede ser una pérdida total de una función o también puede ser en las que el comportamiento funcional queda al margen de los parámetros de funcionamiento establecidos. Cada activo tiene más de una función, por lo tanto, al ser posible que cada una de éstas falle, se deduce que cualquier activo puede tener una variedad de estados de fallas diferentes. Entonces es preciso definir una falla en términos de “pérdida de una función específica” y no con la “falla del activo como un todo”. Dado que este se aplica a funciones individuales, podemos definir una falla funcional como: “la incapacidad de cualquier activo de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario”. (Cuadros, 2018, pág. 8)

**2.1.11 Garantía.** Garantía de que un artículo funcionará según lo especificado durante al menos un tiempo específico, o será reparado o reemplazado sin costo alguno para el usuario.

**2.1.12 Indicador.** Según Sánchez-Arévalo y Bula-Parody (2009), un indicador es definido como la relación entre variables cuantitativas o cualitativas, que permite observar la situación y las tendencias de cambio generadas en la situación o característica observada, respecto de objetivos y metas previstas e influencias esperadas.

**2.1.13 Inspección.** “Es un requisito de mantenimiento cuando el objetivo básico es asegurar que exista una condición o calidad requerida.” (Peters, 2015, p. 387). Para inspeccionar la condición deseada, puede ser necesario quitar el artículo, obtener acceso quitando otros artículos o desmontar parcialmente el artículo para fines de inspección. En tales casos, estas acciones asociadas necesarias para realizar la inspección requerida serían tareas específicas.

**2.1.14 Modos de falla, efectos y análisis crítico (FMECA).** Aguiar y Rodríguez (2014) lo consideran como un método lógico y progresivo utilizado para comprender y evaluar las causas fundamentales de las fallas y su posterior efecto en la producción, seguridad, costo, calidad, entre otros.

**2.1.15 Orden de trabajo (OT).** Es un documento de control único que describe exhaustivamente el trabajo a realizar; puede incluir la solicitud formal de mantenimiento, autorización y códigos de cargo, así como lo que realmente se hizo. El documento principal utilizado por la función de mantenimiento para gestionar tareas de mantenimiento. Puede incluir información como una descripción del trabajo requerido, la prioridad de la tarea, el procedimiento de trabajo a seguir, las piezas, materiales, herramientas y equipos necesarios para completar el trabajo, las horas de trabajo, los costos y los materiales consumidos para completar la tarea, así como información clave sobre las causas de falla, qué trabajo se realizó, entre otros.

**2.1.16 Overhaul.** Se refiere a un examen completo y restauración de un artículo a una condición aceptable.

**2.1.17 Parada del equipo.** Es el evento de interrupción del ejercicio de la función principal de un equipo debido a la ejecución de un tipo de mantenimiento sobre él y pudo ser o no originado por una falla. (Sánchez Arévalo & Bula Parody, 2009).

**2.1.18 Petición de trabajo.** “La solicitud inicial de servicio de mantenimiento o trabajo generalmente es una declaración del problema. La solicitud de trabajo proporciona la información preliminar para la creación de la orden de trabajo. Dependiendo del costo y el alcance de una solicitud de trabajo, se puede requerir un proceso de aprobación antes de crear, planificar y programar la orden de trabajo. El documento principal generado por los departamentos de usuarios que solicita el inicio de una tarea de mantenimiento. Esto generalmente se convierte en una orden de trabajo después de que la solicitud de trabajo haya sido autorizada para completarse.” (Peters, 2015, pág. 407)

**2.1.19 Reparación.** De acuerdo con Peters (2015) para restaurar un artículo a una condición aceptable mediante la renovación, el reemplazo o la reparación de piezas desgastadas o dañadas. Restauración o reemplazo de partes o componentes según sea necesario por desgaste, rotura, daño o falla; devolver la instalación, el equipo o la pieza a condiciones de funcionamiento eficientes; cualquier actividad que devuelve la capacidad de un activo que ha fallado a un nivel de rendimiento igual o mayor que el especificado por sus funciones, pero no mayor que su capacidad máxima original. Una actividad que aumenta la capacidad máxima de un activo es una modificación.

**2.1.20 Uptime.** Se refiere al tiempo que un elemento del equipo está en servicio y operando.

**2.1.21 Vida del activo.** ISO (2014), la define como el período desde la creación del activo hasta el fin de la vida del activo.

## 2.1.22 Estrategias de mantenimiento

### 2.1.22.1. Mantenimiento reactivo o de funcionamiento hasta la falla. Saavedra

(s.f), explica que en esta estrategia es permitido a la maquina operar hasta que falle o en su defecto, que soporte, siendo justo en este momento, que se realiza una reparación o en caso de no ser posible, un reemplazo. Este mantenimiento también suele ser conocido como correctivo, y el más fácil de aplicar, no obstante, presenta una serie de desventajas como el permitir que la falla de un componente puede causar daño a otros y consecuentemente los costos pueden ser muy altos, que la falla pueda ocurrir a una hora inconveniente, o que no esté disponible ni el personal ni los repuestos necesarios para su reparación.

### 2.1.22.2. Mantenimiento preventivo basado en tiempo. “Consiste en reparar o

cambiar componentes de una máquina a intervalos de tiempo fijos, aun cuando dicha máquina esté operando satisfactoriamente.” (Saavedra, s.f, p. 1). Es un avance comparado con el mantenimiento reactivo respecto a la prevención de fallas inesperados. Sin embargo, no es el método óptimo para obtener una máximo seguridad y confiabilidad de un equipo ya que algunas fallas inesperadas de todas formas ocurrirán entre los intervalos de reparación. También, durante la detención muchos componentes en buenas condiciones se desmontarán, se inspeccionarán, o se cambiarán innecesariamente, y si se comete algún error en el re ensamble, la condición final con que queda la máquina puede ser peor que antes de realizar la intervención. Además, como en una reparación general se requiere examinar gran número de elementos,

ello puede tomar un tiempo considerable y puede resultar en una gran pérdida de producción.

**2.1.22.3. Mantenimiento Proactivo.** Con esta estrategia de mantenimiento se pretende maximizar la vida útil operativa de las máquinas y sus componentes, identificando y corrigiendo las causas que corrientemente originan las fallas. Por ejemplo, asegurando que las máquinas funcionan bajo las condiciones de carga y velocidad establecida por su condición de diseño y que además sus componentes (rodamientos, sellos, acoples, etc.) son instalados correctamente y que su condición de lubricación es adecuada ya se puede asegurar una vida útil operativa más extendida y con menos paradas intermedias que el promedio de las máquinas del mismo tipo. (Estupiñan & Saavedra, 2003)

**2.1.22.4. Mantenimiento predictivo (basado en la condición).** “Consiste en determinar en todo instante la condición mecánica real de la máquina mientras ella se encuentra operando, a través de un programa sistemático de mediciones de algunos parámetros o síntomas” (Saavedra, s.f. p.2) lo que se denomina control y seguimiento de la condición, o monitoreo de la condición. Riquelme-Hernández (2013), afirma que el principio de mantenimiento predictivo es que la intervención de la máquina se realiza únicamente cuando las mediciones indican que es necesario lo que se alinea con el recelo que la mayoría de los ingenieros tiene en intervenir las máquinas que cuando funcionan bien.

En esta misma línea, con relación al mantenimiento preventivo en su campo práctico, a continuación, se destacan algunas de las ventajas del mismo.

- Reduce el tiempo de parada al conocer exactamente qué componente es el que falla.
- Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.
- Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.
- Realiza la verificación de la condición de estado y monitoreo en tiempo real de la maquinaria, tanto la que se realiza en forma periódica cómo la que se hace de carácter eventual.
- Maneja y analiza un registro de información histórica vital, a la hora de la toma de decisiones técnicas en los equipos.
- Define los límites de tendencia relativos a los tiempos de falla o de aparición de condiciones no estándares.
- Posibilita la toma de decisiones sobre la parada de un equipo en momentos críticos.
- Facilita la confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.
- Provee el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.
- Facilita el análisis de las averías.
- Aplica el análisis estadístico del sistema.



“La condición del equipo es medido a intervalos predeterminados, para detectar cuando el componente fallará” (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016, p. 25) en la figura. 5, se observa el circuito CBM (condición basado en el mantenimiento), para el cual, será programado un reemplazo / overhaul.

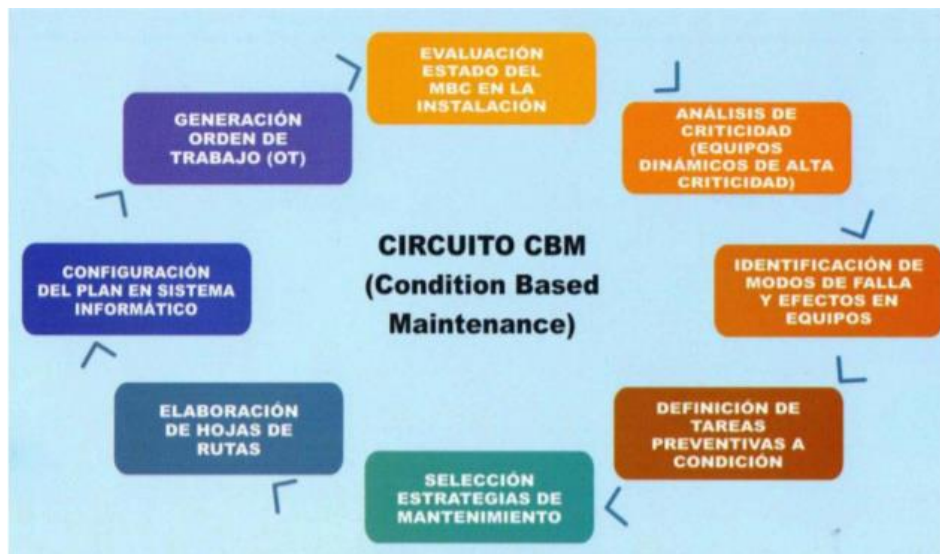


Figura 3. Mantenimiento basado en la condición.

Fuente: (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016)

Se pueden identificar dos tipos principales de mantenimiento basado en la condición:

- **Inspección:** Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, (2016), afirman que para la implementación de éste tipo de mantenimiento se emplea los cinco sentidos de una persona para establecer el estado de un equipo o componente. Esto puede circunscribir el uso de herramientas que optimizan el uso de los sentidos mediante de la amplificación o asimilación.

- Monitoreo de Condición:** El monitoreo de algunos parámetros es indispensable para para detectar signos de inminente falla. Como por ejemplo: vibración, condición de aceite, rendimiento de equipo, termografía. En la figura 6 se observa el monitoreo de la condición desde el punto donde se inicia la desviación hasta el punto donde ocurre la falla. (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016, p.26)

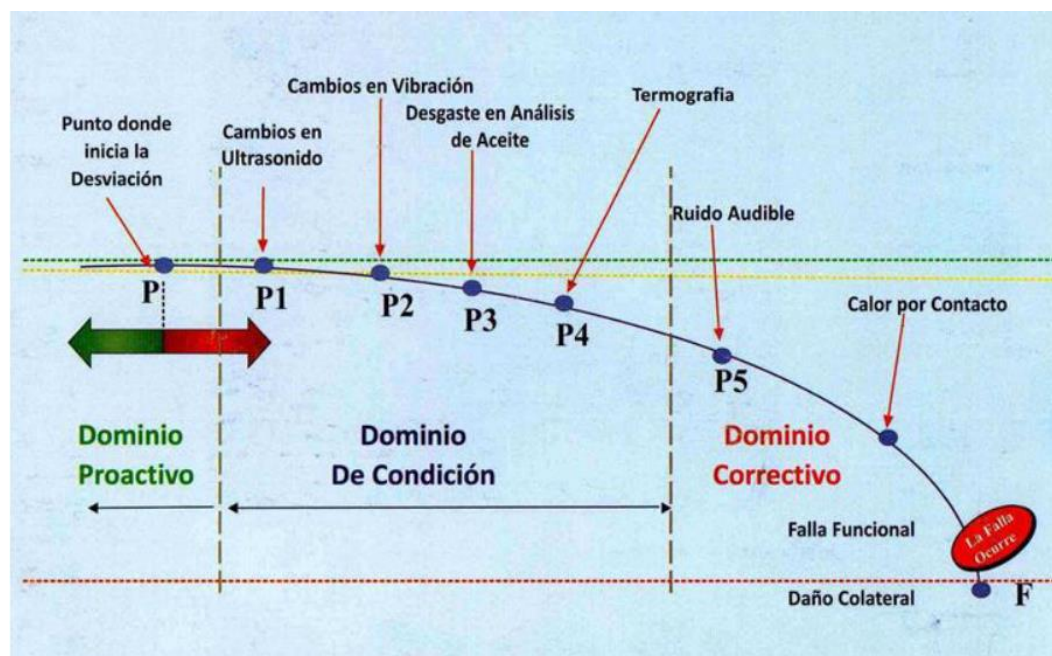


Figura 4. Monitoreo de condición.

Fuente: (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016)

Según Luna Quispe, (2017), el intervalo P-F es el intervalo de tiempo que transcurre desde que se detecta una falla potencia y que ocurra una falla funcional. Cada técnica de monitoreo tiene una curva P-F que determina la frecuencia optima de intervención, como un tercio del Intervalo P-F. Cada técnica de monitoreo posee su campo de aplicación donde es

mayor su poder de detección, así como también la aplicación combinada de varias técnicas puede potenciar y complementar su eficacia.

El principal inconveniente del mantenimiento predictivo es de tipo económico. Para cada equipo es necesaria la instalación de equipos de medición de parámetros que puedan ser: presión, pérdidas de carga, caudales, consumos energéticos, caídas de temperatura, ruidos, vibraciones, agrietamientos, etc. Las técnicas de mantenimiento predictivo aplicables a componentes del tren de potencia de equipos mineros son:

- Inspección visual, acústica y al tacto de componentes
- Termografía
- Vibraciones
- Análisis de aceite

#### **2.1.23. Inspección visual, acústica y al tacto de componentes.**

La constante vigilancia a lo largo de la operación o el mantenimiento de equipos, cumple un papel relevante en los instrumentos avanzados para descubrir fallas o situaciones fuera del esquema. “La presencia visual de desgastes, situaciones anormales y ruidos indican que se está ante la presencia de un generador de falla, que puede evitarse tomando las acciones correctivas correspondientes.” (Campo, Ordosgoitia y Protto, 2009, p.20).

#### **2.1.24. Termografía.**

“La termografía infrarroja es una técnica no destructiva y sin contacto, por medio de la cual, se hace visible la radiación termal o energía infrarroja que un cuerpo emite o refleja”.

(Neita y Peña, 2011, p.42). Esto permite visualizar las distribuciones superficiales de temperatura. Las aplicaciones son muy amplias para el control de temperatura y detección de fallas, se utiliza en equipos eléctricos fundamentalmente, pero también en equipos mecánicos, control de procesos, refrigeración, aislaciones de sistemas de fluidos, edificios y estructuras, etc. Las fallas típicas que hacen aumentar la temperatura son la fricción, exceso o falta de lubricante, chispas eléctricas, etc.

#### **2.1.25. Análisis de vibraciones.**

El movimiento de una máquina rotatoria, normalmente genera una señal vibratoria. Se puede entender como vibración a un movimiento oscilatorio (de un lado hacia otro) producido por una fuerza que varía en el tiempo. Estas vibraciones pueden clasificarse en movimientos armónicos o aleatorios.

#### **2.1.26. Movimiento Armónico.**

De acuerdo con Fernández (2016), es la forma más simple de vibración caracterizada por una senoide o alguna versión distorsionada de ella, dependiendo de su contenido armónico. Todo movimiento armónico es periódico, lo que significa que se repite en el tiempo. En un sistema en línea, el balanceo inadecuado de un equipo rotatorio puede generar un movimiento armónico. Sin embargo, bajo algunas condiciones tales como problemas de engranajes, soldaduras, defectos en los rodamientos o problemas de alineamientos; las frecuencias de sus sinusoides muy difíciles de encontrar.

### **2.1.27. Movimiento aleatorio.**

Ocurre de manera errática y contiene todas las frecuencias en una banda particular de frecuencias. Es, por lo tanto, cualquier movimiento que no se repite. Neita y Peña (2011), refieren que el movimiento aleatorio, también se denomina ruido y generalmente es producido por solturas severas. Por otro lado, puesto que ni la frecuencia ni la amplitud de la vibración pueden ser medidas por medio de la vista o del tacto, es necesario disponer de un medio que permita convertir la vibración en una magnitud aprovechable que pueda ser medida y analizada.

Para que la vibración o la frecuencia puedan ser medidas, la mejor solución es convertir esta señal mecánica en una electrónica, lo que es posible realizar mediante transductores contruidos con este propósito. La frecuencia refleja qué es anormal en la máquina y la amplitud refleja la severidad relativa del problema. Los transductores de vibración son empleados para medir la velocidad lineal, desplazamiento, proximidad, y también la aceleración de sistemas sometidos a vibración.

### **2.1.28. Metodología six sigma**

La metodología de Seis Sigma “DIMAIC” se apoya de herramientas estadísticas y administrativas para mejorar de una manera tangible los resultados de desempeño de los procesos y productos de una empresa.

**Tabla 4***Fases Seis Sigma*

Fase	Descripción
Definir	1. Definir el problema/Seleccionar el proyecto.
Medir	2. Definir y describir el proceso. 3. Evaluar los sistemas de medición.
Analizar	4. Evaluar la capacidad del proceso. 5. Determinar las variables significativas.
Mejorar	6. Optimizar y robustecer el proceso. 7. Validar la mejora.
Controlar	8. Controlar y dar seguimiento al proceso. 9. Mejorar continuamente.

Fuente: (Lean Six Sigma Institute, 2017)

### **2.1.29. ¿Qué es un SIPOC?**

De acuerdo con la Asociación Española para la Calidad (s.f), un SIPOC por sus siglas en inglés *Supplier Inputs Process Outputs*, es una herramienta que nos permite analizar un proceso relativo a sus parámetros para así conocer completamente su impacto en la cadena de valor.

Proporciona una perspectiva gráfica de las etapas del proceso en conjunto con proveedores clave, entradas, salidas y usuarios.

### 2.1.30. Elementos del SIPOC

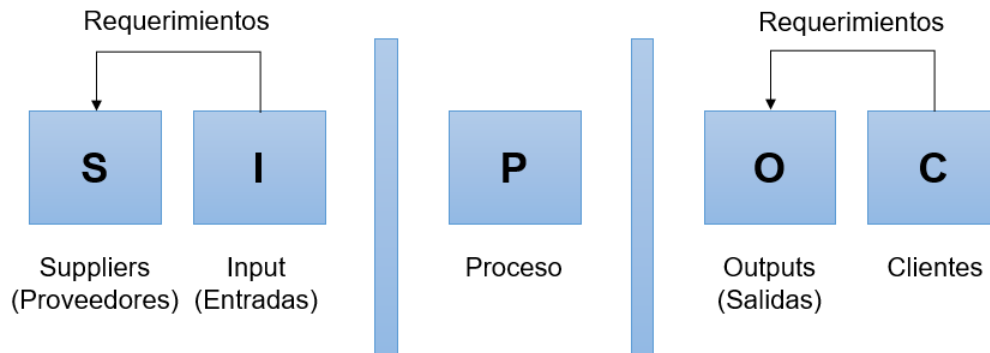


Figura 5. Elementos del diagrama SIPOC

Fuente: (Lean Six Sigma Institute, 2017)

- **Proveedores:** proporcionan las entradas al proceso.
- **Entrada:** recursos que el proceso requiere.
- **Requerimientos de las Entradas:** lo que el proceso requiere de las entradas (medibles, cuantificables)
- **Proceso:** la actividad que transforma las entradas en salidas.
- **Límite de salida:** especifica cuando termina el proceso.
- **Salidas:** productos o servicios proporcionados.
- **Clientes:** Inversionistas quienes establecen los requerimientos de las salidas.
- **Requerimientos de las Salidas:** lo que el cliente requiere de las salidas (medibles, cuantificables).

### **2.1.31. Minería a cielo abierto**

El Ministerio de Minas y Energía (MinMinas) y el Ministerio del Medio Ambiente de Colombia (2002), refieren que este es uno de los métodos más avanzados caracterizado por su capacidad para mover grandes volúmenes de material estéril. El diseño de este método se conforma por diversos bancos de extracción ubicados en el macizo rocoso o mineralizado, que por su buzamiento obligan a una profundización de la excavación. El material estéril utilizado debe ser dispuesto en la parte externa o interna del tajo. Esto, puede ser evidenciado en la figura. 4 sobre un método de explotación o tajo abierto extraído del mismo texto citado anteriormente.

Estas explotaciones pueden realizarse de manera longitudinal, transversal o mixta.

Características:

- Extracción del estéril con voladura o medios mecánicos
- Conjunto de capas con espesores variables.
- Valores mínimos de corte
- Minerales marginales
- Capas con inclinaciones superiores a 20°
- Capacidad portante de la roca.



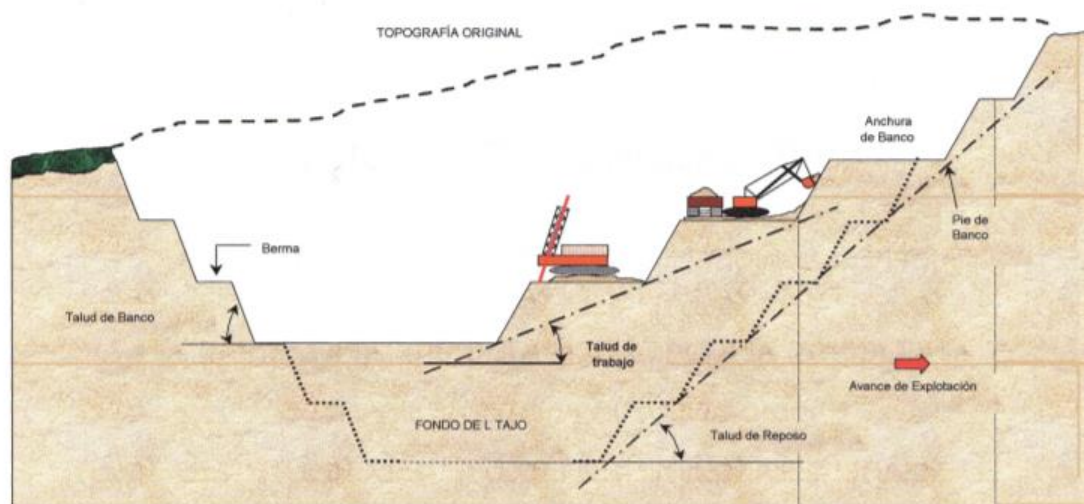


Figura 6. Método de Explotación o Tajo Abierto.

Fuente: (Ministerio de Minas & Energia; Ministerio del Medio Ambiente)

Consiguiente a lo anterior, en aras a ampliar el conocimiento con respecto al método de minería a cielo abierto, reconociéndolo como una de las formas más avanzadas y utilizadas en la extracción, es de precisar algunas conceptualizaciones a tener en cuenta para su bagaje teórico.

**2.1.31.1. Altura de banco.** Distancia vertical entre el punto más alto de un banco de explotación y el pie del mismo. (Ministerio de Minas & Energia, 2002)

**2.1.31.2. Silo.** El Ministerio de Mina y Energías de Colombia (s.f), en su glosario de términos definen el silo como un “deposito cilíndrico o prismático de altura considerable, que se carga por la parte superior y se vacía por abajo, destinado al almacenamiento y conservación de determinados productos” (p. 10). En ciertas minas subterráneas la administración de mineral se realiza mediante la utilización de silos; el mineral volado es llevado desde los frentes de explotación a la trituradora (bajo tierra) y consiguiente a esto, es acumulado

en un silo de almacenamiento y después es elevado a la superficie siendo convertido en el patio de acopio o en un silo.

**2.1.31.3. Tajo.** Es definido según el glosario minero de Minminas (2003), como un “escalón o unidad de explotación sobre la que se desarrolla el trabajo de extracción en las minas a cielo abierto” (150).

**2.1.31.4. Talud.** De acuerdo con el glosario técnico de Minminas (2003), es definido como un Resalte o inclinación de la topografía, natural o artificial, en el que su pendiente suele ser más suave que la de los acantilados y cuenta con una altura inferior a los 8 m.

**2.1.31.5. Tolva.** “Silo de almacenamiento temporal utilizado en la minería especialmente al final de un tambor; éstas se pueden construir en madera o en metal”: (Minminas, 2003, p.156).

## **2.2. Marco teórico**

### **2.2.1. Mantenimiento.**

Se define como “todas las actividades que deben ser desarrolladas en orden lógico, con el propósito de conservar en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico los equipos de producción, herramientas y demás propiedades físicas de las diferentes instalaciones de una empresa. La importancia del mantenimiento se deriva, de la necesidad de contar con una organización que permita restablecer rápidamente las condiciones de operación para reducir al mínimo las pérdidas de producción”. (García, 2006, pág. 3)

### **2.2.2. RCM = Mantenimiento centrado en confiabilidad**

El mantenimiento centrado en confiabilidad MCC o RCM (Reliability Centered Maintenance), se ha convertido en una de las herramientas más importantes en el estudio y evaluación de motores y aeronaves, integrando modelos estadísticos, análisis de fallas, análisis de riesgos, evaluación del comportamiento de los equipos y seguimiento de resultados.

De acuerdo con Patiño-Benavides y Betancourt-Coronado, (2014) esta metodología muestra que no se pueden tratar los componentes de un activo de la misma manera, es decir, cada uno tiene una función específica y presenta diferentes modos de falla, por lo que cada elemento o sistema de partes son tratados específicamente evaluando las diferentes variables involucradas en su operación, con el fin de encontrar la rutina de mantenimiento adecuada para cada componente y finalmente consolidar un plan de mantenimiento en evaluación constante gracias al registro de todos los procesos a través de documentos especializados que facilitan la implementación.

### **2.2.3. Medición y análisis de ondas de alta frecuencia.**

Las técnicas de medición de señales de alta frecuencia, son complementarias al análisis de vibraciones y pretenden detectar algunos tipos de fallas que se producen en los equipos y que no son posibles de diagnosticar con los métodos tradicionales de análisis de vibraciones de las frecuencias bajas. De las técnicas ampliamente utilizadas, se pueden nombrar las siguientes: Destellos de energía, conocido como Spikes de energía, Análisis de las ondas de choque (SPM), Análisis de las emisiones acústicas, ultrasonido, Energía espectral emitida (SEE) y Análisis de vibraciones de alta frecuencia (HDF).

Los problemas que se pueden detectar son variados, y van desde la detección incipiente de fallas en las pistas de los rodamientos, hasta la detección de fugas en trampas de vapor o de aire comprimido en estanques a presión. Es importante tener en cuenta que las técnicas de análisis de las señales de alta frecuencia tienen un mismo objetivo, esto es, detectar el origen de la emisión de alta frecuencia a partir del procesamiento de la señal global. La metodología existente para analizar las ondas de alta frecuencia, consiste básicamente en filtrar aquellas señales de baja frecuencia y analizar las de frecuencia alta. Este proceso depende de la técnica utilizada y de los medios tecnológicos que se disponga.

#### **2.2.4. Análisis y pruebas de aceite.**

Según Campo, Ordosgoita y Protto (2009) “el análisis de aceite es un extenso campo que comprende cientos de pruebas individuales, que proporcionan beneficios significativos mediante la valoración de una o más de las propiedades de un lubricante o máquina.” (p.50). Numerosos ensayos suministran información sobre los aceites nuevos, en las que se valoran las propiedades físicas, químicas o de lubricación, para el control de calidad, desarrollo de productos y clasificación de desempeño de productos.

El análisis de aceite en uso, se diferencia principalmente del análisis de aceite nuevo. El objetivo del análisis de aceite en uso, es evaluar la condición de los aceites que están en servicio y evaluar la condición de las máquinas que son lubricadas. En aplicaciones de monitoreo de condición de maquinaria, el lubricante sirve simplemente como el vehículo de información que es generada en la máquina en la forma de contaminación o partículas de desgaste. Sustancialmente, el análisis de aceite se efectúa para mejorar la calidad en las decisiones de

mantenimiento de la máquina y lubricación. Hay tres categorías importantes del análisis de aceite:

- **Análisis de las propiedades de los fluidos (la salud del lubricante):** Esta categoría del análisis de aceite trata de la evaluación de las propiedades físicas, químicas y de los aditivos del aceite.
- **Análisis de contaminación (la contaminación del lubricante):** Los contaminantes son materia externa que se introduce al sistema desde el medio ambiente o es generada internamente. La contaminación compromete la confiabilidad de la máquina y promueve la falla del lubricante. El análisis de aceite asegura que las acciones encaminadas al cumplimiento de la meta de control de contaminación se mantengan
- **Análisis de partículas de desgaste (el desgaste de la maquinaria):** Cuando los componentes se desgastan, generan partículas. El monitoreo y análisis de las partículas generadas permite a los técnicos detectar y evaluar condiciones anormales para que se puedan hacer e implementar decisiones de mantenimiento efectivas para controlar el desgaste.

#### **2.2.5. Conteo de partículas.**

Según Campo, Ordosgoita y Protto (2009) el método de conteo de partículas suministra la cantidad de partículas existentes en el aceite en un rango específico de dimensiones por volumen de fluido (comúnmente por ml o 100 ml). “La concentración de partículas y sus datos de distribución deben expresarse en términos de Códigos de niveles de contaminación sólida ISO 4406 y NAS 1638.” (p.51). Las partículas pueden ser numeradas manualmente con metodologías

de microscopio óptico, o automáticamente empleando medidores de partículas ópticos o de bloqueo de poro. Estándares aplicables: ISO 11171, ISO 4406, ISO 11500.

More than	Up to/including	Scale number
2 500 000		28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0,00	0,01	0

*Figura 7. ISO 4406 Testing: Contamination Particles in Oil 2019 Entegris*

Fuente: (Entegris, 2019)

### 2.2.6. Prueba de Viscosidad.

Campo, Ordosgoita y Protto (2009), afirman que la viscosidad cinemática es la medida de la firmeza de un fluido a destilar bajo fuerzas gravitacionales. Se comprueba calculando el tiempo en segundos, que requiere un nivel explícito de fluido para fluir un trayecto conocido, bajo gravedad mediante un capilar de un viscosímetro calibrado, bajo una presión y temperatura

controlada estrechamente, esto puede ser evidenciado en la figura 8. Este valor puede convertirse a las unidades de centistokes (cSt) o Segundos Saybolt Universales (SUS o SSU).

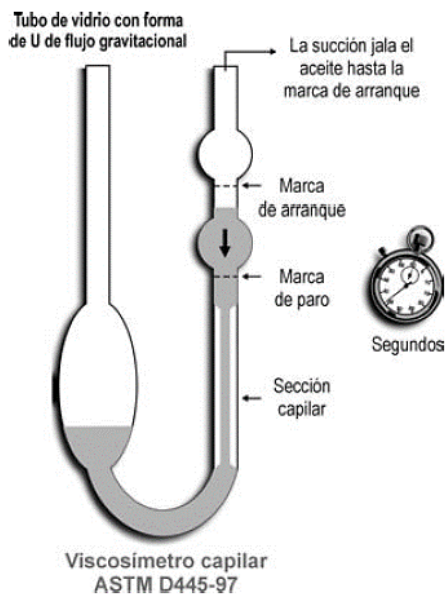


Figura 8. Viscosímetro capilar

Fuente: (Noria, 2004)

El reporte de viscosidad sólo es válido cuando se reporta la temperatura a la que la prueba se efectuó, por Ej., 32 cSt @ 40°C. La viscosidad afecta la operación del equipo, pérdidas por fricción y el espesor de la película de aceite. Aún los cambios más modestos en la viscosidad pueden afectar adversamente el desempeño y estabilidad del lubricante causando posiblemente contacto metal-metal y desgaste. El cambio en la viscosidad del lubricante es un síntoma común de la presencia de otros problemas.

### 2.2.7. Planificación y programación de mantenimiento

La planeación es el proceso mediante el cual se determinan los elementos necesarios para realizar una tarea, antes del momento en que se inicie el trabajo. La programación tiene que ver

con la hora o el momento específico y el establecimiento de fases o etapas de los trabajos planeados junto con las órdenes para efectuar el trabajo, su monitoreo, control y el reporte de su avance. La planificación se encarga de que se tenga las herramientas, repuestos y documentos necesarios para la elaboración de trabajos en el mantenimiento, asimismo asigna horas de parada de equipo y las horas hombre que se va a utilizar. (Luna Quispe, 2017)

### **2.2.8. Disponibilidad.**

La disponibilidad es medida cómo el porcentaje de tiempo (del tiempo total de producción) que la maquina está disponible para usarse para propósitos de producción (Fractal, s.f). También se puede definir una disponibilidad que depende solo del diseño del equipo, a la que llamaremos Disponibilidad Inherente, de la siguiente manera:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad \text{Ecuación 1.}$$

MTBF = Tiempo promedio entre fallas.

MTTR = Tiempo promedio para la reparación. (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016)

### **2.2.9. Tiempo promedio entre fallas (MTBF Mean Time Between Failure).**

El Tiempo Promedio entre Fallos indica el intervalo de tiempo más probable entre un arranque y la aparición de un fallo; es decir, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo”. Mientras mayor sea su valor, mayor es la confiabilidad del componente o equipo. Uno de los parámetros más importantes utilizados en el estudio de la Confiabilidad constituye el



MTBF, es por esta razón que debe ser tomado como un indicador más que represente de alguna manera el comportamiento de un equipo específico.

$$MTBF = \frac{N^{\circ} \text{ horas de operación}}{N^{\circ} \text{ de paradas correctivas}} \quad \text{Ecuación 2.}$$

MTBF = Tiempo promedio entre fallas. (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016)

### **2.2.10. Confiabilidad.**

De acuerdo con Echavarría Huamán y Echavarría Huamán (2016) es la "capacidad de una máquina, planta industrial, sistema de desempeñar una función requerida, en condiciones establecidas durante un período de tiempo determinado" (p.29). Es decir, se tendrá lograda la Confiabilidad requerida cuando la máquina o equipo hace lo que se pretende que haga y en el momento que se quiere que lo haga. La Confiabilidad impacta concisamente sobre los resultados de la empresa, correspondiendo aplicarse no sólo a máquinas o equipos aislados, sino a la totalidad de los procesos que componen la cadena de valor de la organización.

### **2.2.11. Tiempo promedio para la reparación (MTTR Mean Time To Repair).**

Las dos medidas anteriores proveen una indicación de la confiabilidad del sistema o el promedio del ciclo de producción. Lo que se necesita adicionalmente es una medida del promedio del ciclo de parada. Esto también se llama Mantenibilidad del equipo y mide la facilidad con la que un equipo es reparado.

$$MTTR = \frac{\text{Tiempo total de reparaciones correctivas}}{N^{\circ} \text{ de reparaciones correctivas}} \quad \text{Ecuación 3.}$$

MTTR = Tiempo promedio para la reparación. (Echavarría Huamán & Echavarría Huamán, 2016)

### **2.2.12. Tren de potencia**

Es conocido como tren de fuerza, es el conjunto de componentes a través de los cuales, se transforma la energía química del combustible en energía mecánica y ésta es transferida a las ruedas como movimiento circular. En la figura 9, tomada como referencia de Caterpillar (2012), se puede evidenciar claramente los componentes de un tren de potencia. La potencia generada por el motor se transfiere del motor a las ruedas traseras a través de una serie de componentes de la transmisión:

- Convertidor de par
- Transmisión
- Diferencial
- Mandos finales

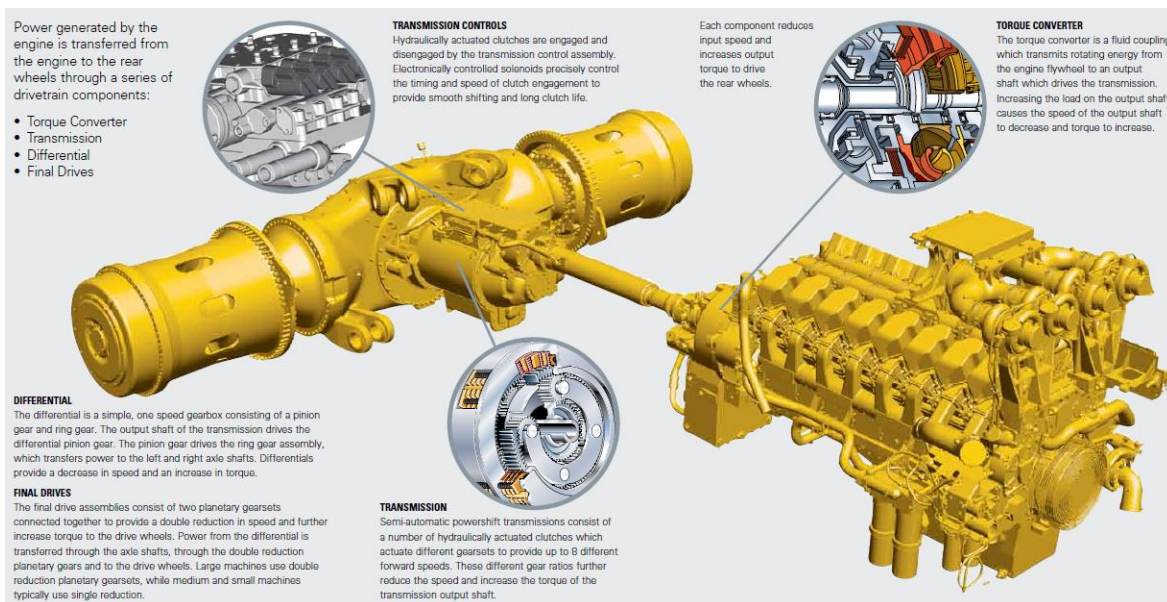
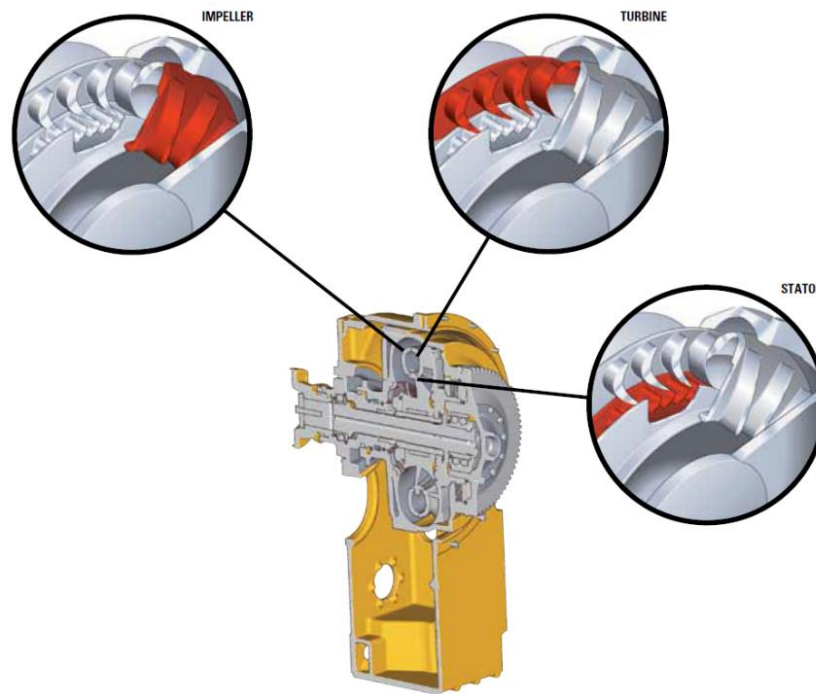


Figura 9. Componentes del tren de potencia Camión mecánico Caterpillar

Fuente: Improving component durability (Caterpillar, 2012)

### 2.2.13. Convertidor de Torque (TC).

El primer componente del sistema de Tren de Potencia es el permite que el motor continúe funcionando aun cuando el camión se ha detenido. En el mando del convertidor, el convertidor de torque multiplica el torque del motor a la transmisión. A velocidades más altas del camión, un embrague de bloqueo se engancha para proporcionar transmisión directa, conocido como mando directo. Los cambios de neutro y reversa son sólo en mando convertidor. Primera velocidad es en mando convertidor a baja velocidad de desplazamiento y de mando directa a alta velocidad, típicamente después de 5 km/h. Desde segunda velocidad hasta sexta sólo son en mando directo. El convertidor de torque siempre que se hace un cambio pasa a mando convertidor mientras pasa el cambio con el fin de hacer el cambio de velocidad suave y seguro. (Caterpillar, 2012).



*Figura 10.* Convertidor de Torque

Fuente: Improving component durability (Caterpillar, 2012)

**2.2.13.1. Embrague de traba (Lock-Up Clutch).** Combina la fuerza máxima de tracción y la suavidad en los cambios de marcha del mando del convertidor de par, con la eficacia y el rendimiento del mando directo. Posee las siguientes características:

- Proporciona conexión directa entre la transmisión y el motor.
- Se engancha automáticamente cada vez que las condiciones de funcionamiento exigen transmisión mecánica, dando mayor eficiencia al tren de mando.

- Está situado dentro de la caja del convertidor, engancha la turbina a la caja del convertidor haciendo que el impelente y la turbina giren a la misma velocidad que el motor.
- El flujo de aceite hacia el embrague es controlado por la válvula solenoide del embrague que es activada por el ECM.
- Se desengancha durante un cambio o cuando la velocidad de salida del convertidor cae por debajo de las RPM especificadas para su activación.
- Por seguridad no puede engancharse si la velocidad de salida es de sobrerrevolución.

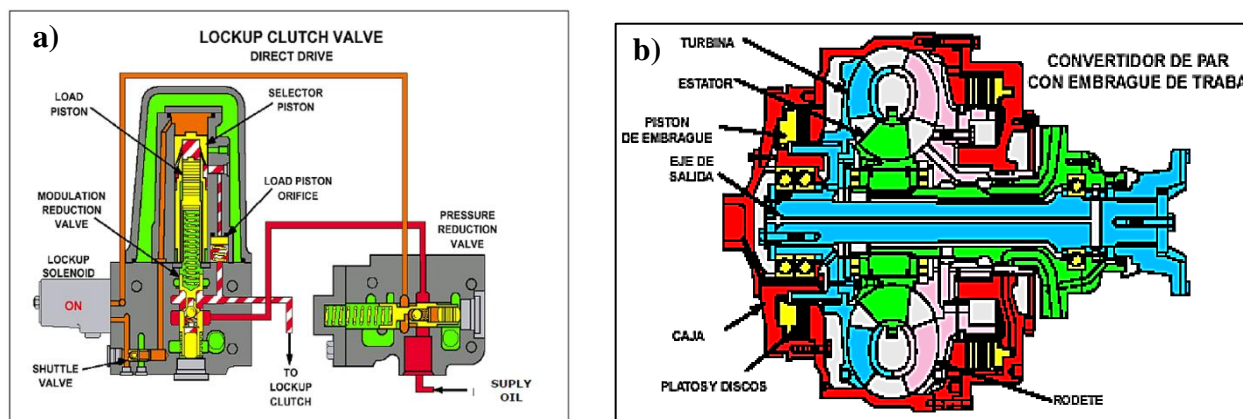


Figura 11. Embrague de traba

a) Válvula del embrague de traba del convertidor; b) Convertidor de par con embrague de traba.

Fuente: (Linero Bolaño & Otero Fernandez, 2014)

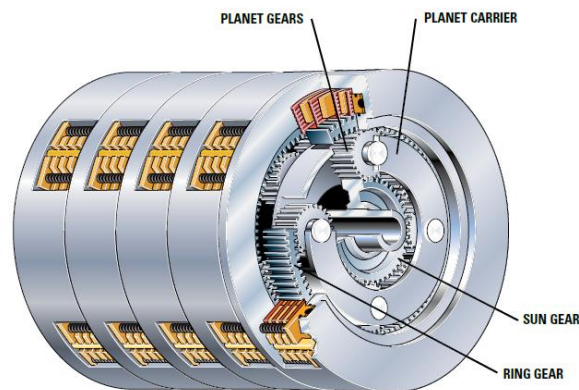
#### 2.2.14. Transmisión.

Widman (2006), afirma que la fuerza que produce el motor de combustión interna puede ser medida de dos maneras, la primera es por la potencia pura y la segunda es el torque. “Esta relación es frecuentemente referida como el régimen del giro, lo cual varía entre motores y sus

diseños. Al acelerar el motor, el torque llega a su máximo antes de que la potencia llegue a su máximo” (p. 1).

En términos simples, el propósito de la transmisión es permitir que se mantenga el motor funcionando en el rango “estable” entre el pico de torque y el pico de potencia. Con la presencia de una transmisión se puede mantener el motor en este rango de estabilidad cambiando la relación de giro del motor y las ruedas, aumentando la velocidad del motor al punto que tenga mayor potencia para mantener la velocidad.

Las transmisiones están diseñadas para el régimen del motor, el diferencial y el uso esperado del camión. Cuando se parte en primera, normalmente el motor gira unas cuatro veces más que el eje de las ruedas. Cuando llega al último cambio, esta relación es 1:1 y cuando entra en “sobre marcha” las ruedas giran más rápidas que el motor.



*Figura 12.* Juegos de engranajes planetarios

Fuente: Improving component durability (Caterpillar, 2012)

**2.2.14.1. Controles de transmisión.** Los embragues accionados hidráulicamente se activan y desactivan mediante el conjunto de control de la transmisión. Los solenoides

controlados electrónicamente controlan con precisión la sincronización y la velocidad del acoplamiento del embrague para proporcionar un cambio suave y una larga vida útil del embrague.

El ECM de la Transmisión recibe información (señales eléctricas) de varios componentes de entrada tales como el interruptor de la palanca de cambios, el sensor de velocidad de salida de la transmisión (TOS), el interruptor de posición de cambios de la transmisión, el sensor de posición de la tolva y el sensor de la palanca de levante.

Basado en la información de entrada el ECM de la transmisión determina si la transmisión debe realizar el cambio hacia arriba, abajo, enganchar el embrague de LockUp o limitar el cambio máximo de la transmisión. Estas acciones van acompañadas del envío de señales a varios componentes de salida.

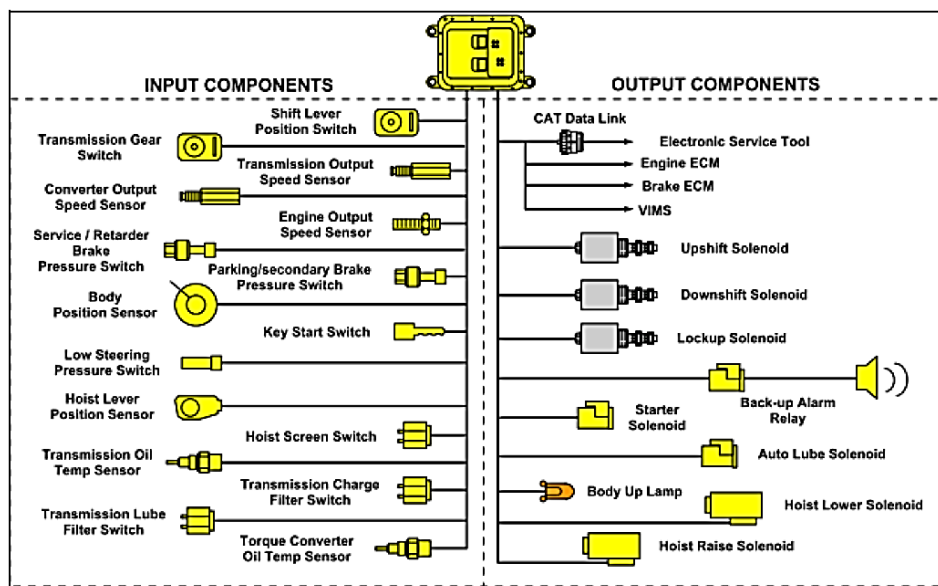


Figura 13. Sistema de control Electrónico (ECM) del motor.

Fuente: Manual del estudiante, Camiones Pequeños de minería (FERREYROS S.A.A., 2004)

El ECM del motor, el Sistema de Control Electrónico de Control (ARC/TCS), el CMS y el ECM de la Transmisión se comunican entre sí por medio del Data Link. La comunicación entre los controles electrónicos permite que se compartan los sensores de cada sistema. Se tienen muchos beneficios adicionales tales como el Cambio Controlado (Controlled Throttle Shifting (CTS)), el cual reduce los esfuerzos de la transmisión al variar el flujo de combustible del motor durante los cambios.

El ECM de la transmisión también proporciona al personal de servicio la capacidad de diagnóstico a través del uso de la memoria a bordo, la cual almacena los códigos de falla para tenerlos a la mano al momento del servicio. El ECM de la transmisión también se usa para controlar el sistema de levante, el sistema de dirección secundaria, el sistema de arranque en neutro y el sistema de la alarma de retroceso.

**2.2.14.2. Control de Transmisión/Chasis (TCC).** El TCC utiliza datos de rpm del motor transferidos electrónicamente para ejecutar cambios en puntos preestablecidos a fin de lograr un rendimiento y una eficiencia óptimos, y una prolongada vida útil del embrague. (Caterpillar, 2011)

**2.2.14.3. Sistema Hidráulico de la Transmisión.** El sistema hidráulico de la transmisión es el que permite que el fluido hidráulico trabaje junto con los embragues para producir los cambios en la máquina. El control ICM utiliza solenoides para cambios ascendentes y descendentes de la transmisión, y para operar el embrague de bloqueo del convertidor de torque de las válvulas de modulación para cada embrague individual de la transmisión proporcionan precisión y suavidad.



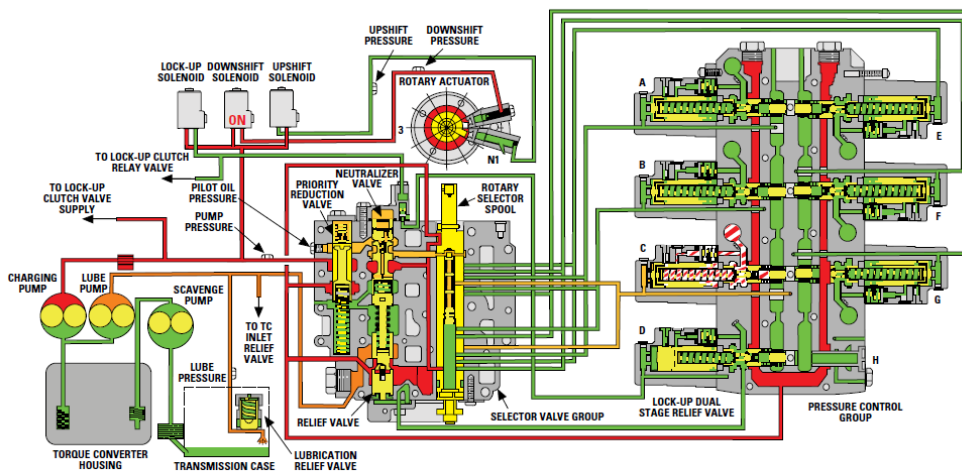


Figura 14. Sistema hidráulico de transmisión ICM

Fuente: Improving component durability (Caterpillar, 2012)

**2.2.15 Diferencial.** Es una caja de cambios simple de una velocidad que consta de un piñón y una corona dentada. El eje de salida de la transmisión acciona el engranaje de piñón diferencial. El engranaje de piñón acciona el conjunto de la corona, que transfiere potencia a los ejes del eje izquierdo y derecho. Los diferenciales proporcionan una disminución de la velocidad y un aumento del par.

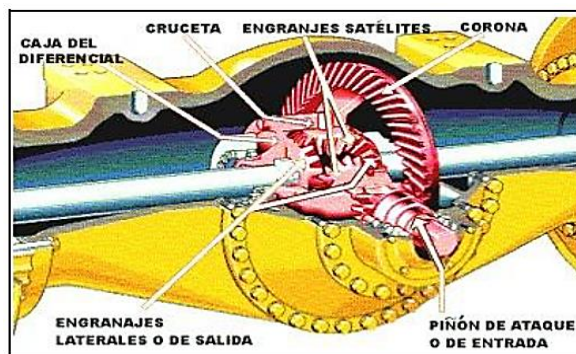
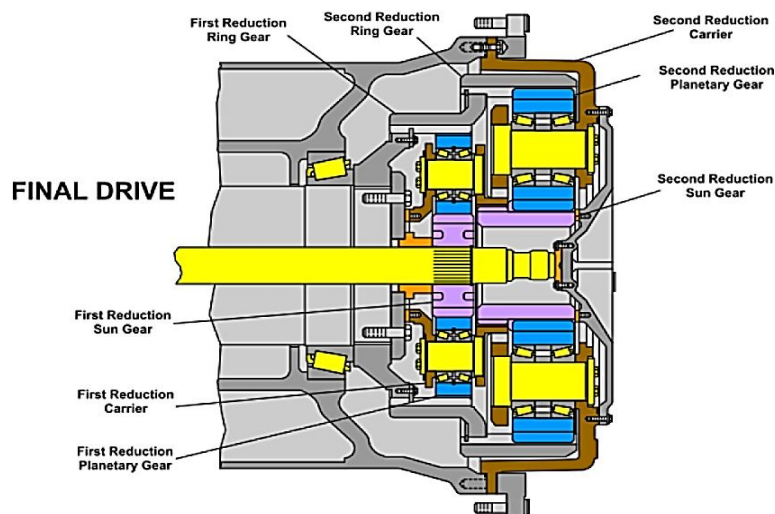


Figura 15. Diferencial

Fuente: (Linero Bolaño & Otero Fernandez, 2014)

**2.2.16 Mandos finales.** Los conjuntos de transmisión finales consisten en dos engranajes planetarios conectados entre sí para proporcionar una doble reducción en la velocidad y aumentar aún más el torque a las ruedas motrices. La potencia del diferencial se transfiere a través de los ejes del eje, a través de los engranajes planetarios de doble reducción y a las ruedas motrices. Las máquinas grandes usan engranajes planetarios de doble reducción, mientras que las máquinas medianas y pequeñas generalmente usan reducción



*Figura 16. Mando Final*

Fuente: (Linero Bolaño & Otero Fernandez, 2014)

simple.

**2.2.17 Módulo de Control Electrónico (ECM).** Caterpillar, (2005) describe que el ECM usa el software de administración avanzada del motor para vigilar, controlar y proteger el motor usando sensores electrónicos de autodiagnóstico. El sistema por computadora detecta las condiciones de operación y los requisitos de potencia y ajusta el motor para lograr un rendimiento máximo y la operación más eficiente en todo momento.

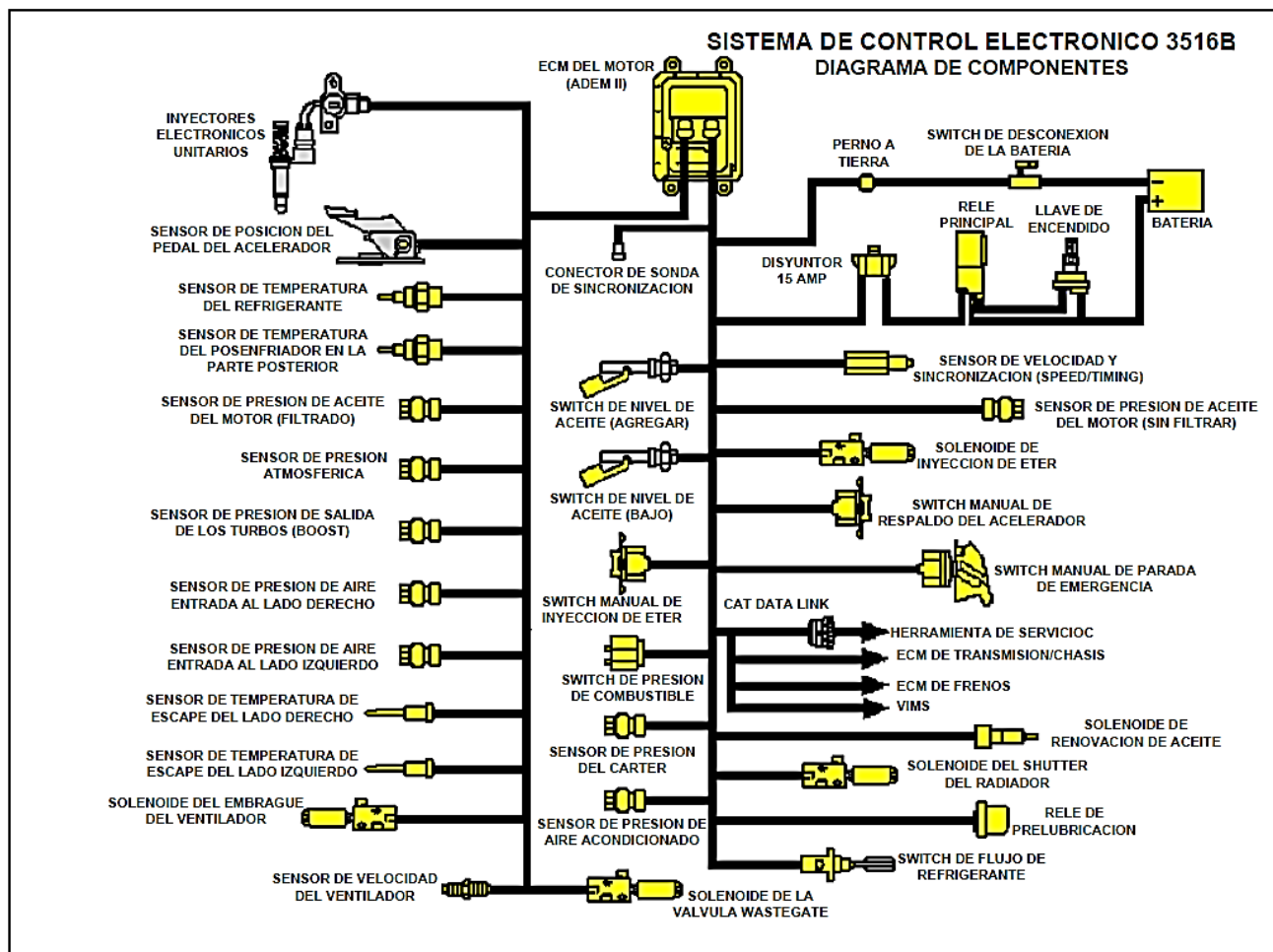


Figura 17. Diagrama de componentes del ECM

Fuente: Manual del estudiante, Camiones pequeños de minería (FERREYROS S.A.A., 2004)

A continuación se muestran los camiones que pertenecen a la flota de camiones mecánicos:

**i. Camión de minería Caterpillar 793D**



*Figura 18. Camión Caterpillar 793D*

Fuente: Manual del estudiante, Camiones pequeños de minería (FERREYROS S.A.A., 2004)

**ii. Camión de minería Caterpillar 789D**



*Figura 19. Camión de minería Caterpillar 789D*

Fuente: Manual del estudiante, Camiones pequeños de minería (FERREYROS S.A.A., 2004)

### iii. Camión de minería Caterpillar 789C



*Figura 20. Camión Caterpillar 789C*

Fuente: Manual del estudiante, Camiones pequeños de minería (FERREYROS S.A.A., 2004)

**Nota.** Las especificaciones de cada equipo mostrado en las figuras 18, 19, y 20, se pueden observar en **Apéndice A**.

### 2.3. Enfoque legal

Norma Internacional ISO 14224:2016, Estándar internacional para la recolección e intercambio de datos de mantenibilidad y fiabilidad de equipos.

**Definición de calidad de datos.** La confianza de los datos de RM recolectados, y, por consiguiente, cualquier análisis de ellos, dependen fuertemente de la calidad de los datos recolectados. Los datos de alta calidad se caracterizan por lo siguiente:

- a) Integridad de datos en relación a la especificación;
- b) Cumplimiento con definiciones de parámetros de confiabilidad, tipos de datos y formatos;
- c) Entrada, transferencia, manejo y almacenamiento de datos con alto grado de exactitud (manual o electrónicamente);
- d) Suficiente población y periodo de vigilancia adecuada para proporcionar confianza estadística;
- e) Relevancia de los datos para las necesidades de los usuarios.

**Medidas de planificación** Las siguientes medidas deberán ser enfatizadas antes de que el proceso de recolección de datos comience.

- Definir el objetivo de la recolección de datos con el fin de recolectar datos relevantes para el uso destinado. Ejemplos de análisis donde tales datos puedan ser utilizados son: análisis de riesgos cuantitativos (QRA); análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad



(RAM); mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM); costo de ciclo de vida (LCC); análisis de nivel de integridad de seguridad (SIL).

- Investigar la fuente(s) de los datos para asegurar que los datos relevantes de calidad suficiente estén disponibles. Las fuentes incluyen el inventario/información técnica de equipos, los datos de eventos de RM y los impactos en la planta asociados.
- Definir la información taxonómica incluida en la base de datos para cada equipo.
- Identificar la fecha de instalación, población y periodo(s) operativo para los equipos de los cuales se pueden recolectar datos.
- Definir los límites para cada clase de equipo, indicando los datos de RM que se deben recolectar.
- Aplicar una definición uniforme de la falla y un método de clasificación de fallas.
- Aplicar una definición uniforme de las actividades de mantenimiento y un método de clasificación de mantenimiento.
- Definir los controles utilizados en la verificación de la calidad de datos. Al mínimo se deberá verificar lo siguiente.
  1. Los orígenes de los datos son documentados y trazables.
  2. Los datos originan de un tipo de equipos, tecnología y condiciones de operación similares.
  3. El equipo es relevante para su propósito (p.ej. modelos no obsoletos).
  4. Los datos cumplen con las definiciones y reglas de interpretación (p.ej. definición de una falla).

5. Las fallas registradas están dentro del límite de equipo definido y el periodo de vigilancia.
6. La información es consistente (p.ej. consistencia entre modos de falla e impactos de falla).
7. Los datos son registrados en el formato correcto.
8. Se recolectan suficientes datos para entregar un nivel confianza estadística aceptable, p.ej. sin sesgos por valores atípicos.
9. Personal de operaciones y mantenimiento son consultados para validar los datos.
  - Definir un nivel de prioridad para la integridad de los datos mediante un método adecuado. Un método de ponderar la importancia de los diferentes datos a recolectar es mediante el uso de tres clases de importancia, de acuerdo con la siguiente clasificación:

ALTO: datos obligatorios (cobertura  $\approx$  100 %)

MEDIO: datos altamente deseables (cobertura > 85 %)

BAJO: datos deseables (cobertura > 50 %)

- Definir el nivel de detalles de datos e RM informados y recolectados y vincularlo estrechamente a la importancia del equipo para la producción y la seguridad. La priorización debe basarse en la seguridad, rendimiento de la producción y/u otras medidas de severidad.



- Preparar un plan para el proceso de recolección de datos, p.ej. programación, hitos, secuencia de recolección de datos para instalaciones y equipos, periodos de vigilancia a cubrir, etc.
- Planificar cómo se agruparán y presentarán los datos y diseñar un método de transferencia de datos desde la fuente de datos al banco de datos de confiabilidad utilizando un método adecuado.
- Capacitar, motivar y organizar al personal de recolección de datos, p.ej. interpretación de fuentes, conocimiento de equipos, software, herramientas, involucramiento del personal de operaciones y expertos en equipos, comprensión/experiencia en aplicación de análisis de datos RM, etc. Asegurar que ellos obtengan una comprensión profunda de los equipos, sus condiciones operativas, este Estándar Internacional y los requisitos dados por la calidad de datos.
- Realizar un plan para la garantía de la calidad del proceso de recolección de datos y sus resultados. Esto como mínimo, deberá incluir procedimientos para el control de calidad de los datos y el registro y corrección de desviaciones.
- Se recomienda llevar a cabo un análisis de rentabilidad de la recolección de datos mediante la puesta en marcha de un ejercicio piloto antes de que comience la fase de recolección de datos principal y revisar el plan si es necesario.
- Revisar las medidas de planificación después del periodo de uso del sistema.

**Fuentes de datos.** El CMMIS de la instalación constituye la fuente principal para datos de RM. La calidad de los datos que se pueden recuperar desde esta fuente depende de la forma en que los datos de RM son informados en primer lugar. La información de los datos de RM de conformidad con este Estándar Internacional debe ser permitida en el CMMIS de la instalación, proporcionando así una base más consistente y sólida para transferir los datos de RM al equipo. Otros recursos de información pueden difundirse a través de los diferentes sistemas (computadores, archivos, libros, planos) por ejemplo, la retroalimentación de los resultados de la recolección de datos, involucramiento con procesos de QA. El uso adecuado de los campos de información en el CMMIS de la instalación estimulará la calidad de los informes de, etc.

En relación a lo anterior, tal recolección de datos produce fuentes de datos de confiabilidad para varias aplicaciones, clasificadas en:

- 1) Datos genéricos;
- 2) Datos específicos de la compañía/operador;
- 3) Datos del fabricante;
- 4) Juicio de expertos;
- 5) Datos de error humano.

**Métodos de recolección de datos.** El proceso típico de recolección de datos consiste de datos compilados desde diferentes fuentes en una base de datos, donde el tipo y formato de los datos están pre-definidos. Los métodos más comunes son los siguientes.

a) Abordar todas las fuentes de datos que estén disponibles, y extraer los datos “brutos” relevantes en un almacenamiento inmediato. Si la información se encuentra en una base de datos computarizada, utilizar cualquier método adecuado para extraer la información relevante; por ejemplo, extracción de información específica mediante métodos de software específicos o informes impresos con la información deseada.

b) Interpretar esta información y traducirla en el tipo y formato deseado para la base de datos de destino. En la mayoría de los casos, esto se hace mediante una interpretación manual.

c) Transferencia de datos desde una fuente(s) al banco de datos de confiabilidad utilizando cualquier método adecuado. Un software adecuado listo para usarse se puede utilizar para transferir los datos desde una base de datos a otra con la conversión deseada de “lenguaje” hecha por algoritmos de software. Esto solo es factible mientras se pueda definir un algoritmo de conversión suficientemente robusto para hacer una conversión confiable. Estos métodos requieren un cierto esfuerzo inicial adicional y, por lo tanto, son sólo rentables para grandes cantidades de datos o recolección de datos repetitivos de la misma categoría. También pueden ser usados para el mantenimiento donde se transfieren datos de un CMMIS a otro.

d) Los métodos de recolección de datos impactan de manera significativa el análisis de costo-beneficio de la recolección de datos, y por lo tanto deberán planearse y probarse cuidadosamente antes de que empiece el proceso principal de recolección de datos.

**Categorías de datos.** Los datos RM se deberán recolectar en una forma organizada y estructurada. Las categorías de datos importantes para equipos, fallas y datos de mantenimiento son los siguientes:

**a) Datos del equipo (datos de inventario)**

La descripción de un equipo está caracterizada por lo siguiente:

1. Datos de clasificación, p.ej. industria, planta, ubicación, sistema;
2. Atributos del equipo, p.ej. datos del fabricante, características del diseño;
3. Datos operacionales, p.ej. modo operativo, energía operativa, ambiente.

Las categorías de datos deberán ser en general para todas las clases de equipos. Además, se requieren algunos datos específicos para cada clase de equipo (p.ej. número de etapas para un compresor).

**b) Datos de falla**

Estos datos están caracterizados por lo siguiente:

1. Datos de identificación, p.ej. número de registro de falla y equipo relacionado que ha tenido la falla;
2. Datos de falla o la caracterización de una falla p.ej. datos de falla, ítems defectuosos, impacto de falla, modo de falla, causa de falla, método de detección de falla.

### c) Datos de mantenimiento

Estos datos están caracterizados por lo siguiente:

1. Datos de identificación, p.ej. número del registro de mantenimiento, falla relacionada y/o registro de equipo;
2. Datos de mantenimiento, parámetros que caracterizan una acción de mantenimiento, p.ej. fecha del mantenimiento, categoría del mantenimiento, actividad del mantenimiento, impacto del mantenimiento, ítems mantenidos;
3. Recursos de mantenimiento, horas hombre de mantenimiento por disciplina y total, herramientas/ recursos aplicados;
4. Tiempos de mantenimiento, tiempo activo de mantenimiento, tiempo de parada.

El tipo de falla y los datos de mantenimiento normalmente deben ser comunes para todas las clases de equipo, con excepciones donde sea necesario recolectar tipos específicos de datos, p.ej. equipos submarinos.

Los eventos de mantenimiento correctivo se deberán registrar para describir la acción correctiva después de una falla. Los registros de mantenimiento preventivo se requieren para retener la historia del tiempo de vida completa de un equipo.

**Estructura de base de datos.** Los datos recolectados se organizan y vinculan en la base de datos para proporcionar un acceso fácil a las actualizaciones, consultas y análisis. Varias bases de datos comerciales se encuentran disponibles y se pueden usar como los principales

bloques de construcción para el diseño de la base de datos de confiabilidad (ISO Internacional , 2016).

NORMA ASTM D7720 – 11 (citado por Machinery, 2014), Guía estándar para evaluar estadísticamente los límites de alarma de medición cuando se usa el análisis de aceite para monitorear el estado físico y la contaminación del aceite y el equipo.

***Términos de nivel de alarma (en orden de gravedad).***

- **BLANCO**, adj: designación de alarma de nivel favorable que muestra una condición no dañada o nueva con un desgaste razonable o una condición operativa esperada.  
Discusión: algunos otros términos utilizados para este nivel de alarma pueden incluir, entre otros, normal, satisfactorio, aceptable, nivel 1, nivel A, adecuado para un uso continuo y bueno. Discusión: la condición de alarma de nivel BLANCO no suele verse acentuada por ninguna indicación especial de color en las pantallas o informes.
- **VERDE**, adj: designación de nivel de alarma favorable que muestra una condición aceptable y que muestra un cambio medible en un valor medible y en comparación con el nivel de alarma blanco. Algunos otros términos utilizados para este nivel de alarma pueden incluir, entre otros, justo, lista de observación, monitor, aceptable, nivel 2, nivel B y moderado. Discusión: la condición de alarma de nivel VERDE se acentúa comúnmente con letras verdes, o resaltado verde o fondo verde en pantallas o informes.
- **AMARILLO**, adj: designación de alarma de nivel intermedio que advierte que existe una condición de falla y que probablemente necesitará atención en el futuro.

Discusión: algunos otros términos utilizados para este nivel de alarma pueden incluir, entre otros, ámbar, alerta, nivel 3, nivel C, baja prioridad de acción, precaución, advertencia y anormal. La condición de alarma de nivel AMARILLO se acentúa comúnmente con letras amarillas, o resaltado amarillo o fondo amarillo en pantallas o informes.

- **ROJO**, adj: designación de alarma de alto nivel que muestra un deterioro significativo, revise otra información de condición y considere una posible intervención. Discusión: algunos otros términos utilizados para este nivel de alarma pueden incluir, entre otros, extremo, peligro, nivel 4, nivel D, inadecuado, accionable, alarma y falla. La condición de alarma ROJA se acentúa comúnmente con letras rojas o resaltado rojo o fondo rojo en pantallas o informes.

**Niveles de alarma.** Una alarma es un medio de alertar al operador de que existe una condición particular. Con esta guía se proporciona un ejemplo de cuatro niveles distintos de estados de alarma. Son BLANCO, VERDE, AMARILLO y ROJO. Se pueden usar menos o más niveles distintos. Los límites de alarma son los valores que representan umbrales mayores o menores que estos niveles de alarma.

#### **Técnicas de control estadístico de procesos (SpC) para evaluar los límites de alarma.**

El SPC se usa para evaluar los límites de alarma para una población de conjuntos de datos medibles y que se ajustan a una distribución estadísticamente normal. Calcule la desviación estándar para la población de datos. La figura 1 representa gráficamente una distribución paramétrica normal.

SPC “Límites de una sigma”: el 68.27% de los valores del conjunto de datos se ubicará dentro de una desviación estándar de la media de la población. Los datos de muestra dentro de una desviación estándar menor o igual a la línea central (por ejemplo, aproximadamente igual a la media estadística) pueden ser comparables a un nivel de alarma BLANCO.

SPC “Límites de dos sigmas” o “Límites de advertencia”: el 94,45% de las muestras se ubicará dentro de dos desviaciones estándar de la media de la población. Los datos de muestra superiores a una desviación estándar lejos de la línea central y menores o iguales a dos desviaciones estándar de distancia pueden ser comparables con un nivel de alarma VERDE.

SPC “Límites de tres sigmas” o “Límites de control”: el 99.73% de las muestras se ubicarán dentro de las tres desviaciones estándar de la media de la población. Las condiciones anormales de falla son sugeridas por mediciones y datos mayores a un segundo y menores o iguales a una tercera desviación estándar lejos de la línea central pueden ser comparables con un nivel de alarma ROJO.

SPC "Variación de cuatro sigmas": el 99,99% de las muestras se ubicará dentro de las cuatro desviaciones estándar de la media de la población. A menudo se sugiere una variación de causa especial o asignable para los datos que exceden tres desviaciones estándar de la media de la población.



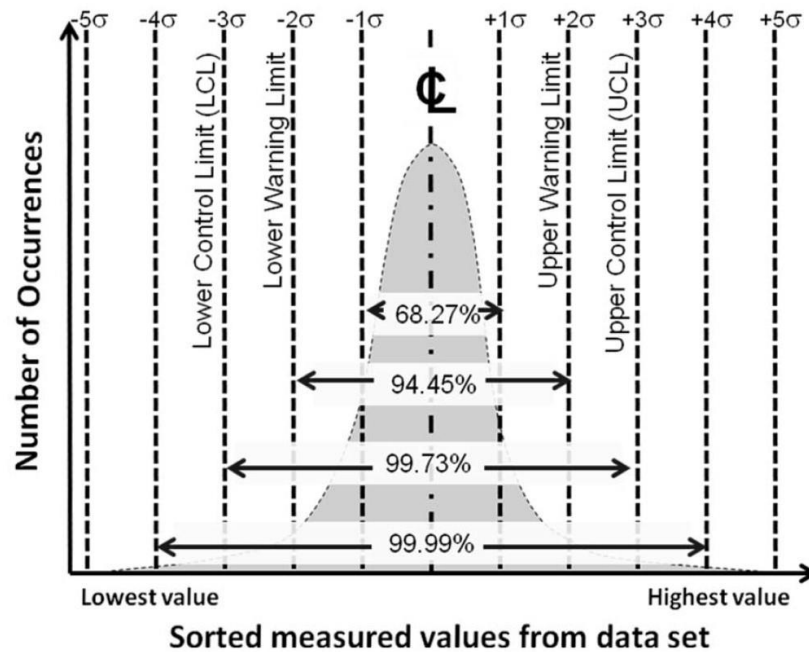


Figura 21. Parámetros SPC, Distribución normal.

Fuente: (ASTM International, 2013)

Los valores atípicos identificados utilizando técnicas estadísticas aceptadas deben eliminarse de las poblaciones del conjunto de datos como valores atípicos. Una vez eliminados, las estadísticas deben reevaluarse.

La aparición de un patrón aplanado bajo en la distribución de frecuencia generalmente indica que el mensurando no es sensible al modo de falla. La aparición de un patrón multimodal en la distribución de frecuencia generalmente indica que el mensurando no es exclusivo del modo de falla, es decir, hay más de un modo de falla identificado por el medidor. En las situaciones anteriores, el mensurando no se puede usar solo para identificar la falla.

Cuando la población de la muestra tiene una incidencia anormalmente alta de datos que indican fallas significativas, entonces estos resultados elevarán los valores de desviación estándar y media que generarán límites de alarma más altos. Estos límites superiores son evidentes por una distribución de frecuencia que tiene una curva distinta en el extremo superior. Para superar este efecto, los datos de la muestra con más de la media de más o menos 6 desviaciones estándar deben extraerse de la población. La media recalculada y la desviación estándar en el conjunto de datos restante deberían proporcionar límites de alarma mejorados. Si no hay valores superiores a 6 desviaciones estándar, se debe revisar el equipo, la práctica de mantenimiento, etc. para determinar la causa de las fallas.

Utilizando los datos de desviación promedio y estándar para cada conjunto de datos de medición y medida, calcule una serie de límites de alarma tentativos basados en lo anterior.

Los límites de alarma enumerados aquí son ejemplos ilustrativos de cómo se puede usar la desviación estándar. Algunos usuarios pueden desear una advertencia más temprana para componentes difíciles de mantener, críticos o de alto costo. Tenga en cuenta que la política para establecer niveles de alarma suele ser una decisión de gestión de alto nivel.

**Información básica sobre SPC.** SPC utiliza diversas metodologías estadísticas para mejorar la calidad de un proceso al reducir la variabilidad de uno o más de sus resultados, por ejemplo, una característica de calidad de un producto o servicio. Existirá una cierta cantidad de variabilidad en todos los resultados del proceso, independientemente de qué tan bien esté diseñado o se mantenga el proceso. Se dice que un proceso que opera solo con esta variabilidad

inherente se encuentra en un estado de control estadístico, con su variabilidad de salida sujeta solo al azar o causas comunes.

Las alteraciones del proceso, supuestamente debidas a causas asignables o especiales, se manifiestan por cambios en el nivel de salida, como un pico, cambio, tendencia o cambios en la variabilidad de una salida. Cuando se elimina la variación de causa especial, la variabilidad del proceso se reduce a su variabilidad inherente, y los gráficos de control funcionan como un monitor de proceso. Una mayor reducción en la variación requeriría la modificación del proceso mismo.

El uso de tres errores estándar (por ejemplo, desviaciones estándar) para los límites de control (los llamados "límites de tres sigmas") fue elegido por Shewhart, y, por lo tanto, también se conocen como Límites de Shewhart. Shewhart eligió estos límites para equilibrar los dos riesgos de: (1) no señalar la presencia de una causa especial cuando se produce una, y (2) la aparición de una señal fuera de control cuando el proceso está realmente en un estado estadístico control (una falsa alarma).

La variación de causa especial también puede estar indicada por ciertos patrones no aleatorios del estadístico de subgrupo trazado, tal como se detecta mediante las llamadas Reglas Eléctricas Occidentales. Aquí, un estadístico de subgrupo es un subconjunto de un conjunto de datos como datos relacionados con un particular pieza de equipo o un lubricante específico o una causa raíz particular que afecta a una parte de la población del conjunto de datos. Para implementar estas reglas, los límites adicionales se muestran en la tabla con 6 dos errores

estándar (“límites de dos sigma” o “límites de advertencia”) y con 6 un error estándar (“límites de una sigma”).

A partir de los conjuntos de datos candidatos que representan historiales de datos de muestras de máquinas, reúna una población que contenga los datos de condición relevantes. Para obtener el mejor rendimiento, seleccione todos los datos disponibles. Para grandes flotas de maquinaria, seleccione datos de diez (10) o más muestras consecutivas de cada máquina en la población de equipos. Se esperaría que más muestras consecutivas mejoren la calidad inicial de los límites de alarma establecidos y se debe considerar un número mayor cuando los límites de alarma se aplican a equipos críticos en lugar de equipos no críticos.

No seleccione selectivamente los datos ni seleccione aleatoriamente muestras de los datos para un conjunto de datos. Los valores de datos de muestra seleccionados selectivamente pueden introducir un sesgo del usuario. Los datos elegidos al azar de un conjunto de datos medibles y para una flota grande no siempre reflejan los modos de falla bajo consideración y pueden generar límites de alarma poco confiables.

Los límites de alarma tentativos se pueden establecer con una población de datos tan pequeña como 10 como se indica. En los casos en que no se representan todos los modos y causas de falla identificados, se producirán límites de alarma de menor calidad. Estos límites de alarma se pueden ajustar manualmente hacia arriba a través de la experiencia con maquinaria similar. En los casos en que los modos de falla y las causas están sobre representados, se producirán límites de alarma más altos. Estos límites de alarma se pueden ajustar manualmente hacia abajo a través de la experiencia con maquinaria similar. En todos los casos, los límites de

alarma deben ser continuamente revisados y actualizado a través de estadísticas o experiencia a medida que se encuentran más datos de muestra y más modos de falla y causas.

Los límites prácticos de alarma pueden determinarse mediante análisis estadístico de maquinaria monitoreada y lubricante. Las poblaciones de datos de monitoreo de condición histórica y de tendencia pueden describirse en formas paramétricas y no paramétricas. Estas poblaciones de conjuntos de datos no dependen del tiempo, aunque se obtienen mejores resultados cuando se utilizan conjuntos de datos de muestras consecutivos.

Los datos paramétricos pueden describirse como datos que satisfacen una distribución normal. Se pueden usar tres pruebas para determinar si los datos son paramétricos: (1) los valores medios y medianos para la población de datos son aproximadamente iguales, (2) un gráfico de distribución de frecuencia de la población de datos tiene forma de campana y (3) la distribución Tiene dos colas. Cuando existe un sesgo claro o una forma bimodal, la distribución de datos no es paramétrica y no es una distribución normal.

También pueden existir condiciones degradadas que aún no están en una condición de falla. Para este caso, no siempre se requieren medidas correctivas y la operación continua puede ser razonable. Sin embargo, estas condiciones generalmente progresan a un fracaso. Los niveles de alarma se utilizan para documentar estos sucesos y producir sensibilidad organizacional para estas condiciones.

**Técnica de distribución acumulativa.** También se recomienda una técnica de distribución acumulativa estadística para evaluar los límites de alarma. Esta técnica particular

emplea un porcentaje de distribución acumulativa de los valores del conjunto de datos ordenados. La técnica se basa en una distribución real del conjunto de datos y, por lo tanto, no depende de un supuesto perfil estadístico. La técnica se puede usar cuando el conjunto de datos es paramétrico o no paramétrico, y se puede usar si una distribución de frecuencia parece sesgada o tiene una sola cola. Además, esta técnica se puede usar cuando el conjunto de datos incluye variación de causa especial además de la variación de causa común, aunque la técnica debe repetirse cuando la variación de causa especial identificada cambia significativamente o se elimina. Los resultados de la técnica de distribución acumulativa incluyen valores de medición y datos específicos correspondientes a niveles de porcentaje seleccionados en la gráfica de distribución acumulativa del conjunto de datos ordenados. Estos valores de medición y datos basados en porcentajes se utilizan para evaluar y ajustar los límites de alarma. Los usuarios deben estudiar la información disponible.

## CAPÍTULO 3. INFORME DE CUMPLIMIENTO DE TRABAJO

### 3.1. Presentación de resultados

El desarrollo del presente capítulo, se llevará a cabo con la finalidad de desarrollar y dar respuestas a los objetivos y actividades que fueron planteados inicialmente, dando cumplimiento a una serie de fases que han facilitado el desenvolvimiento de este proyecto, de esta forma, en la primera fase se formuló la metodología a emplear, seguida de la consolidación del informe, análisis y por último, la generación o creación del Dashboard.

#### 3.1.1. Fase I.

Planificar la metodología de monitoreo de condición. Con el fin de dar cumplimiento a esta fase se plantearon un conjunto de actividades que relacionadas entre si, son la base para iniciar con el proceso de monitoreo de condición.

#### 2.2.17.1 Consultar información relacionada a buenas prácticas de monitoreo de condición

**en flotas mineras.** Para el desarrollo de ésta actividad, se inicia con una revisión del monitoreo que se tiene actualmente en Cerrejón para la flota de camiones mecánicos. Con el apoyo del analista de confiabilidad de la flota, se obtiene la información del sistema que se está implementando, y posteriormente se procede a indagar que otras prácticas de monitoreo se están llevando a cabo en otras empresas mineras.

En Cerrejón, los Camiones mecánicos Caterpillar, se monitorean remotamente con una plataforma web, denominada CAT ECA., por sus siglas en inglés Equipment Care Advisor, que se traduce como consejero de asistencia de equipos. ECA, de acuerdo con Caterpillar (2012), es

una poderosa plataforma web que permite el monitoreo Remoto de la condición de los equipos pesados. Esta permite combinar la experiencia de Caterpillar y los Dealer con información probada en los sitios alrededor del mundo, la cual permite la generación de acciones de mantenimiento mucho antes de que ocurran fallas catastróficas (Preventivo y Predictivo).

La plataforma CAT ECA posee diferentes sistemas analíticos ajustables que cubren los 5 aspectos críticos del monitoreo de condiciones, que pueden ser datos electrónicos, inspecciones, fluidos, historial de reparaciones y las condiciones del sitio.

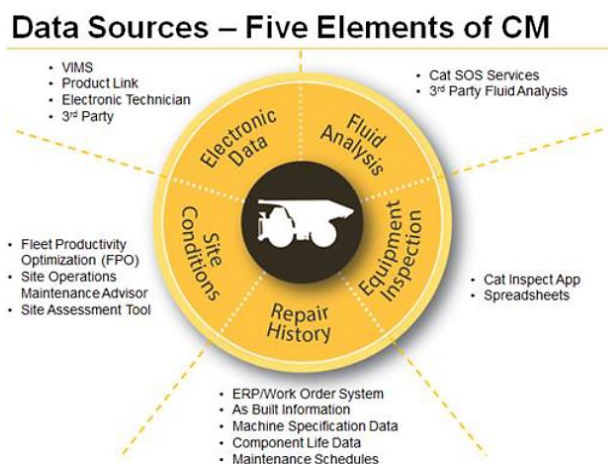


Figura 22. Aspectos críticos del monitoreo de condiciones Cat ECA

Fuente: Vims System (Caterpillar, 2009)

Cat ECA toma y evalúa la información de estas 5 fuentes y luego el sistema a través de sus motores analíticos compara si los datos actuales del equipo han sobrepasado los límites previamente establecidos y genera unas excepciones o alertas el cual el ingeniero analiza y genera las acciones correspondientes para solucionar los problemas del equipo. Estos motores



comparan el desempeño del equipo contra sí mismo y frente a los demás equipos de la misma flota y contra los límites mundiales. Actualmente se monitorean con este Sistema 94 equipos.

- High/Low
- ROC (Rate of Change)
- Trends
- Eventos
- Dataloggers

### Protocolo de envío de Información



Figura 23. Protocolo de envío de información CAT ECA.

Fuente: Vims System (Caterpillar, 2009)

El sistema descarga los datos del módulo electrónico VIMS (Sistema de Administración de Información vital) que es una computadora a bordo del equipo a través de un módulo de enlace o HIMBOX/PL y luego lo envía a través de un modem celular (conexión LAN - Ethernet) a un servidor local el cual es luego enviado al servidor de Caterpillar. Esta información es analizada 24X7 por los diferentes motores para posteriormente generar unas alertas vía correo

electrónico y por la página WEB, el analista de monitoreo revisa las alertas para luego generar las acciones de mantenimiento necesarias para los equipos de acuerdo al nivel de urgencia requerido.

### **¿Qué es Cat Inspect?**

De acuerdo con Caterpillar (2012), se trata de una aplicación muy sencilla de usar la cual permite realizar inspecciones Visuales de los equipos sin necesidad del uso de papel con la ventaja de poder anexar registros fotográficos y comentarios (Inspecciones en PM, Pre PM, diarias). Luego el histórico de las inspecciones realizadas al equipo puede revisarse en la página web y también puede enviarse por correo electrónico a un listado de personas interesadas. Los formatos de preguntas y acciones se diseñan de acuerdo a las necesidades y requerimientos de la intención de la inspección, luego son publicados y asignados a través de la página web a los inspectores en campo. Las preguntas pueden ser de tipo cualitativa o cuantitativa, también surge la duda ¿qué tipo de información se obtienen del Cat Inspect?

- Información de fugas de componentes mayores y menores.
  
- Información de partículas o desgaste en filtros, tapones magnéticos y screenes.
  
- Información de problemas de seguridad para el operador y el equipo.
  
- Pre-entregas de equipos.

## VIMS

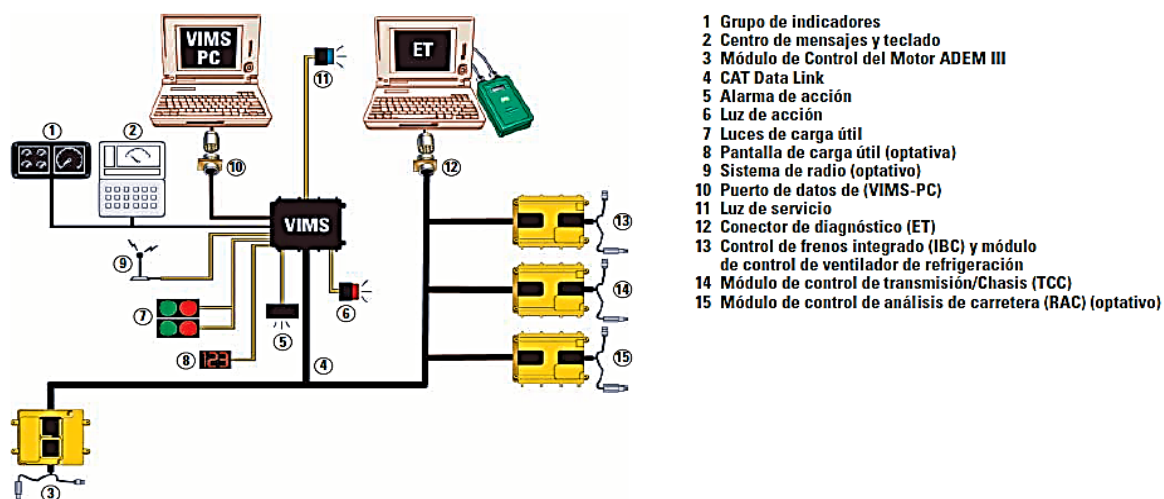


Figura 24. Sistema VIMS Caterpillar

Fuente: (Caterpillar, 2011)

El sistema VIMS ayuda a administrar toda la flota al permitir que cada máquina le proporcione información actualizada sobre su propia salud y las condiciones de trabajo a su alrededor. La clave para permitirle "escuchar" su equipo es una combinación de dos sistemas integrados:

- **El sistema a bordo VIMS:** este sistema basado en hardware captura los datos de la máquina, brinda retroalimentación instantánea al operador y pone a disposición para su descarga los datos vitales generados por la máquina.
- **El sistema externo VIMS:** principalmente una solución de software, este sistema lo ayuda a profundizar en la información, recoger los hechos relevantes y tomar decisiones de mantenimiento, operaciones y administración bien informadas.

El sistema VIMS también permite muchas otras tecnologías de minería Cat integradas, lo que hace que todos sus datos sean aún más potentes y valiosos. Además, Caterpillar y su distribuidor Cat ofrecen herramientas para ayudarlo a administrar y analizar sus datos patentados, lo que ayuda a brindar el máximo valor para toda su operación.

- **Relojes del sistema VIMS.** El sistema VIMS recopila datos de los sensores y los módulos de control electrónico (ECM) en la máquina. Estos datos pueden almacenarse para futuras descargas y análisis, u opcionalmente pueden enviarse de forma inalámbrica a una ubicación remota.
- **El sistema VIMS informa.** Los datos solo son valiosos cuando se convierten en información útil. El sistema VIMS lo hace instantáneamente al proporcionar comentarios en tiempo real a través de una pantalla en la cabina que mantiene a los operadores informados sobre las condiciones de la máquina y les aconseja tomar las medidas adecuadas. En algunos casos, puede gobernar automáticamente el rendimiento de la máquina.
- **El sistema VIMS recuerda.** El sistema almacena mucha información durante un largo período de tiempo. También proporciona información detallada sobre eventos específicos, como un registrador de vuelo de un avión, para ayudar a su equipo a analizar los problemas a medida que ocurren y decidir el mejor curso de acción.
- **El sistema VIMS analiza.** Una vez que los datos se descargan o transmiten, el Sistema VIMS ofrece varias herramientas de software que lo ayudan a profundizar y

resumir los datos. Estas herramientas le brindan una imagen completa de toda su operación.

- **El sistema VIMS permite.** El sistema VIMS recuerda lo que sucedió ayer y puede ayudar a pronosticar mañana. Ayuda a su equipo a identificar posibles problemas, planificar procedimientos de mantenimiento y programar reparaciones antes de la falla.
- **El sistema VIMS ofrece.** Todo se suma a una administración de equipo más proactiva, lo que se traduce en una mayor disponibilidad de la máquina, más producción, menores costos y más vida útil de su equipo Cat.
- **Extensión del Sistema VIMS Guardian.** El sistema de actualización VIMS Guardian proporciona datos sobre el estado y el rendimiento de la máquina, pero sin una interfaz de operador. Está disponible en ciertos tractores de cadenas, equipos de minería subterránea y más. (Caterpillar, 2009)

Actualmente, existe gran variedad de equipos que son monitoreados remotamente, con el fin de conocer en tiempo real, la salud y condición de sus activos. A continuación, se presentan algunas técnicas de monitoreo que ofrecen otros fabricantes de maquinaria, tales como Komatsu y Hitachi, entre otros.

## KOMTRAX

### ¿Qué es el Komtrax?

Komatsu (2018) explica que se trata de un Sistema de Monitoreo Satelital del equipo y la flota, que por medio de tecnología inalámbrica, fundamentada en la Internet, administra a los usuarios información crítica de los equipos en cualquier momento y lugar.

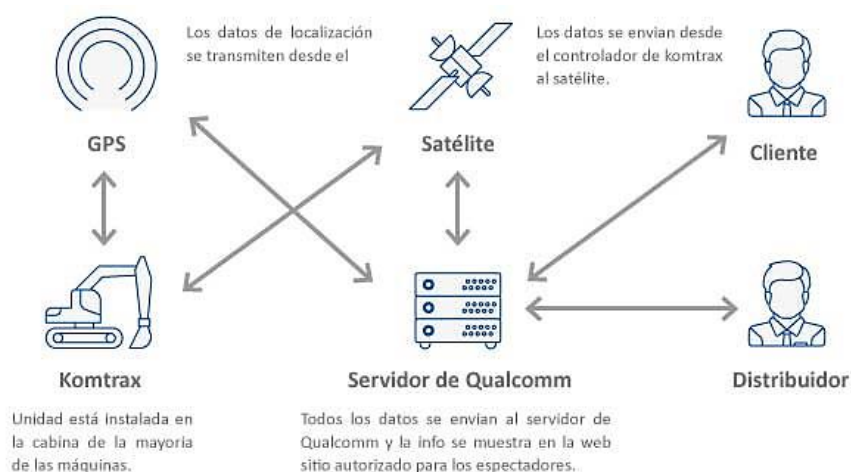


Figura 25. Protocolo de envío de información Komtrax.

Fuente: Komatsu, Komtrax (Komatsu, s.f.)

### ¿Qué Beneficios Ofrece?

“La información que recolecta el Sistema de Monitoreo Satelital permite a los usuarios tener un control mayor de sus operaciones, prolongando la vida útil de los componentes de la máquina, reduciendo la probabilidad de fallas catastróficas y eliminando la mayoría de los tiempos muertos imprevistos”. (Komatsu, 2018,p.1).

## ¿Qué Información Ofrece?

Teniendo en cuenta lo que expone Komatsu (2018) El Sistema de Monitoreo Satelital ofrece los siguientes datos:

- **La Localización.** KOMTRAX manipula la red de los satélites de enfoque mundial para informar en todo instante donde se encuentra la máquina, eliminando el riesgo de robo o uso no autorizado.
- **Los Límites Geográficos.** Proporciona información sobre donde se espera que la maquina este funcionando para supervisar el área donde la actividad se desarrolla.
- **Las Horas de Trabajo.** Ofrece información minuciosa de la operación y producción de la máquina y el operador.
- **Consumo de Combustible.** Brinda información diaria, mensual y anual del gasto de combustible del equipo. Estos datos propician a un óptimo manejo de la programación del servicio del combustible.
- **La Temperatura del Refrigerante.** Con información del cambio de temperatura del agua, se consigue una mayor información de las necesidades del equipo.
- **La Frecuencia de Carga.** El discernimiento de los niveles de la presión hidráulica y las cargas de la máquina, favorecen a mejorar el programa de sustitución de componentes y prevenir fallas mayores.
- **La Lectura del Horómetro.** Con esta lectura se pueden rastrear las horas del equipo, incluyendo lo referente al servicio y mantenimiento.

- **Los Códigos de Falla.** Esta información pronostica las proporciones a tomar en los programas de mantenimiento, economizando tiempo y otros gastos.
- **Los Mapas de Operación.** El sistema puntualiza cual es la condición de la máquina, si se encuentra operando o en reposo.
- **Posibles Trabas del Motor.** Número de cierres y aperturas del seguro de trabas del motor asegura que la maquina esta sólo en el área y horario asignados.

### ¿Cómo Funciona?

KOMTRAX utiliza la red de satélites de la órbita baja para conseguir información crítica de la máquina y transmitirla hacia su computadora y la del distribuidor local. En el Perú, Komatsu-Mitsui Maquinarias Perú S.A. quien tiene el personal experto para analizar la información y retroalimentarla. De acuerdo con Komatsu (2018), Komtrax se encarga de coleccionar información específica de la máquina diariamente mediante los envíos de eventos. De este modo, usuario es proveído de reportes diarios, mensual y anual de aspectos fundamentales y avanzados de la máquina.

A través de la web, una variedad de búsqueda de parámetros está disponibles para ayudar rápidamente a encontrar la información específica de la máquina en factores claves como ratios de utilización, horómetros, mensajes de notificación y más. “La data de KOMTRAX puede también ser descargada directamente en hojas de cálculo para mayor análisis.” (Komatsu, 2018, p.2)



### **Sistema de Monitoreo de la Salud del Vehículo**

El KOMTRAX Plus (anteriormente VHMS) proporciona los medios para monitorear la salud de los componentes mayores de las máquinas grandes, permitiéndole hacer evaluaciones remotas de sus condiciones y de sus operaciones. Este sistema ha sido diseñado para reducir los costos de reparaciones y mantener la disponibilidad óptima de la máquina ayudando a prevenir tiempos muertos imprevistos.

El sistema KOMTRAX Plus permite transferir del internet los datos concernientes de la máquina para ser revisados por Komatsu y el personal de servicio de su Distribuidor. En casi todas las regiones, por conveniencia adicional y tiempo de respuesta rápido, los datos también son transmitidos por los satélites Orbcomm.

El KOMTRAX Plus reporta información vital de varias áreas. Las condiciones de operación de las máquinas y sus horómetros se pueden monitorear. Las tendencias, cuando se exhiben gráficamente con los cambios a través del tiempo, permiten tomar medidas preventivas antes de que ocurra una avería. Las fallas y los códigos de eventos que son exhibidos en el tablero monitor de la máquina quedan registrados para referencia futura. Otro tipo de datos incluyen rendimiento de motor, análisis de fallas en tiempo real, e historia de operación de la máquina. (Komatsu, s.f.)

## Global e-Service Hitachi

### Fácil acceso a máquinas On-Site a través de Internet

El sistema de gestión de vehículos basado en Internet “e-Service Owner’s Site” permite proporcionar no solo el estado de mantenimiento sino también información respecto al medio ambiente para los clientes. Al proporcionar a los clientes datos de gestión de comentarios sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el tiempo de inactividad y los niveles de consumo de combustible de las máquinas durante el trabajo, este sistema puede respaldar la gestión medioambiental. (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., s.f.)

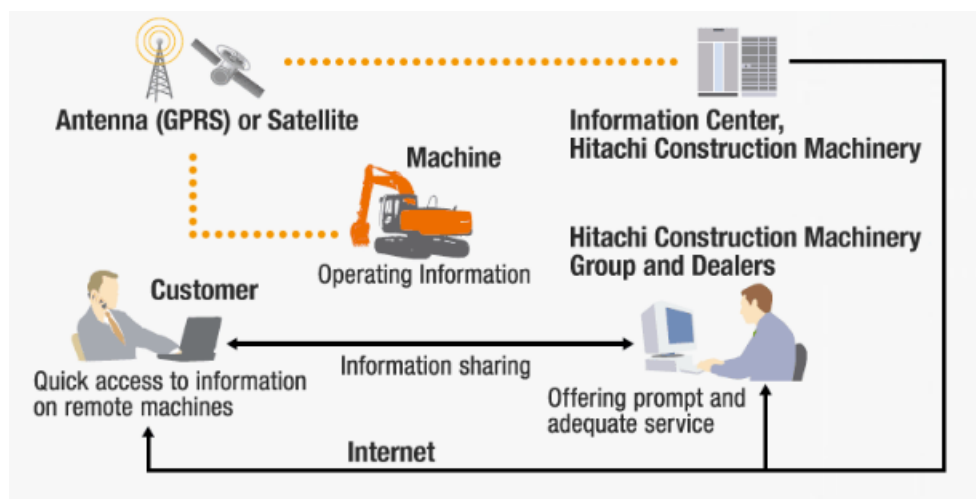


Figura 26. Protocolo de envío de información Global e Service Hitachi

Fuente: (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., s.f.)

### Características principales de Global e-Service

- **Funciones.** Global e-Service proporciona un fácil acceso a una máquina en el sitio, transmitiendo informaciones de operación y registro, incluidas las horas de operación diarias, el nivel de combustible, las temperaturas, las presiones y los gustos.

- **Mantenimiento.** Los datos de mantenimiento y el registro se muestran en una pantalla de monitor fácil de leer, lo que sugiere un mantenimiento recomendado para una gestión eficiente de la flota.

### **Monitoreo remoto de flota – ConSite**

El servicio de informes de datos de ConSite, se fundamenta en el envío de un correo electrónico mensual para resumir la información disponible en el servicio electrónico global para cada una de sus máquinas Hitachi. Está disponible para excavadoras Zaxis (incluidas las excavadoras de minería mediana, grande y con ruedas) y EX, así como para camiones volquete EH y una gama de cargadores de ruedas ZW. (Ground Control, 2020). Dentro del informe, se incluye un análisis detallado de los datos operativos, relaciones y horas, para que el cliente pueda ver lo productivo y eficiente que sus máquinas han sido en el último mes. Toda la información del informe también se almacena en el Owner's Site del propietario, para facilitar su consulta.

Las horas de trabajo diarias y el consumo de combustible se resaltan en un formato de calendario codificado por colores. También recibirá estadísticas mensuales sobre la relación del modo de funcionamiento, destacando una comparación con el mes anterior para el consumo de combustible y la eficiencia, así como las emisiones de CO<sub>2</sub> para los modelos Zaxis.

Además en el informe de ConSite, verá índices y tasas de eficiencia de operación y oscilación. Estos comparan el rendimiento de la máquina con la misma clase de modelo de todos los propietarios de Hitachi en su región. El análisis mensual de estas variables se compara con la

vida útil total de la máquina en un gráfico fácil de usar. Un gráfico lineal muestra el número real y proyectado de horas, lo que le ayuda a administrar los requisitos de mantenimiento.

Para camiones de volteo, los datos sobre la distancia recorrida, el análisis de la carga útil y la durabilidad de los neumáticos también están disponibles. ConSite también ayuda en el improbable caso de una falla. Envía al individuo y a su distribuidor autorizado de Hitachi un informe de alarma de emergencia, para que ambos puedan responder rápidamente con el fin de minimizar el tiempo de inactividad no programado.

También puede informar del estado del motor y del aceite hidráulico de las excavadoras Zaxis-6. Esto es gracias a los datos de dos sensores únicos, que controlan la calidad del aceite 24/7. Si la calidad se deteriora o el aceite se contamina, por ejemplo, su concesionario local será notificado a través de texto o correo electrónico para que la causa pueda ser identificada y arreglada rápidamente. Esto no sólo aumenta la disponibilidad de la máquina sino que también reduce los requisitos de mantenimiento, ahorrándole tiempo y dinero.

ConSite, fue creado para mejorar las operaciones de su negocio, y permitirle analizar la productividad y eficiencia de su equipo. La información que proporciona sobre el uso de la máquina está pensada para ayudarle en la planificación del mantenimiento y también promueve el apoyo proactivo de su distribuidor. En última instancia, le proporciona confianza en su equipo de construcción Hitachi y tranquilidad para centrarse en otras áreas de su negocio. (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., 2019). En la figura. 27, se puede observar la información anteriormente descrita respecto a los protocolos para el envío de información global por medio de Consite.

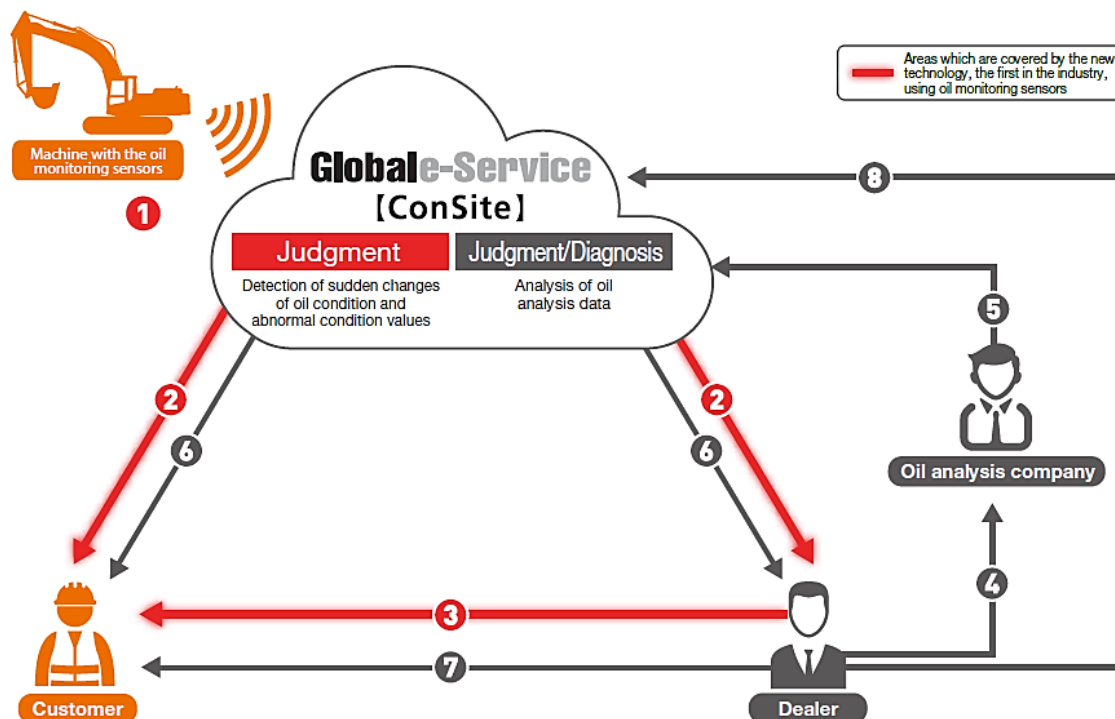


Figura 27. Protocolo de envío de información Global e-Service Consite

Fuente: (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., 2019)

1. Los sensores instalados en la máquina, monitorean el aceite continuamente durante 24/7 mientras la máquina está funcionando.
2. Si los sensores detectan datos anormales, como cambios repentinos de la condición del aceite, los datos deben ser evaluados por Global e-Service. Luego, se transmitirá automáticamente un informe de alarma de emergencia al cliente y al distribuidor. Se transmitirá un manual de contramedidas al distribuidor junto con el informe de alarma de emergencia.

3. Un mecánico del distribuidor debe inspeccionar y reparar la máquina de acuerdo con el manual de contramedidas. Además, el mecánico debe tomar muestras de aceite si es necesario.
4. Las muestras de aceite se envían a la compañía designada para el análisis de aceite.
5. Después de analizar el aceite, se transmiten los datos del resultado.
6. Los datos que se transmiten se calculan y analizan automáticamente. Un reporte de análisis de aceite, consiste en el diagnóstico de resultados que se transmiten al cliente y al distribuidor en el mismo día. Las instrucciones de contramedidas deben transmitirse al distribuidor al mismo tiempo.

Nota: el reporte del análisis del aceite será transmitido al día siguiente si los datos se transmiten después de las 8pm.

7. El mecánico del distribuidor debe inspeccionar y reparar la máquina de acuerdo con el manual de contramedidas, que se transmitió junto con el informe de análisis de aceite.
8. Finalmente, el mecanismo debe cargar los resultados de la inspección y la contramedida en Global e-Service, que se acumularán como información más detallada.

### **Beneficios obtenidos al implementar ConSite OIL**

#### **1. Detección de cambios repentinos de la condición del aceite.**

En caso de que una gran cantidad de agua se mezcle repentinamente con el aceite del motor:

1. En el caso de no tener sensor de monitoreo:

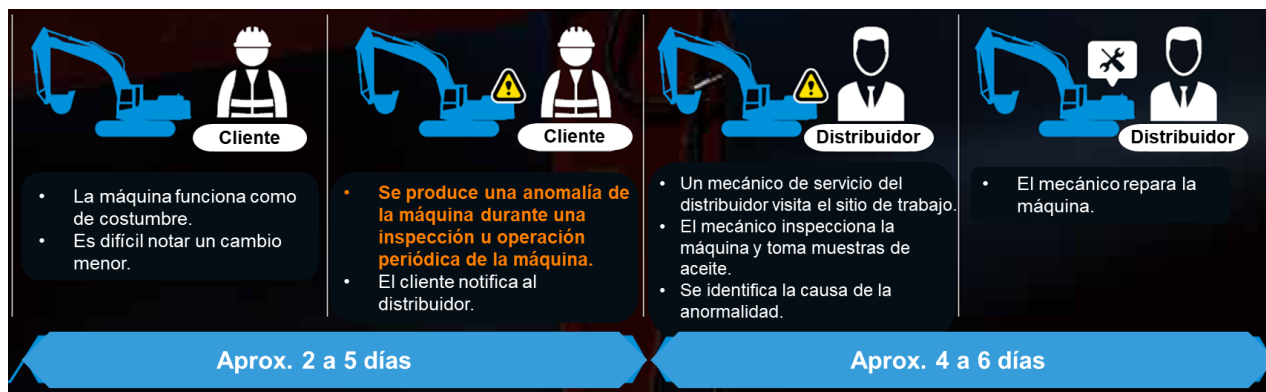


Figura 28. Proceso de mantenimiento sin ConSite OIL.

Fuente: (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., 2019)

2. En el caso de sensores de monitoreo de aceite provistos:



Figura 29. Beneficios del uso de ConSite OIL.

Fuente: (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., 2019)

### Propiedades del aceite que monitorea ConSite OIL

Los niveles de deterioro y contaminación se juzgan automáticamente en función de cuatro tipos de propiedades que vigilan los sensores de monitoreo de aceite, las cuales se pueden observar en la figura 30.

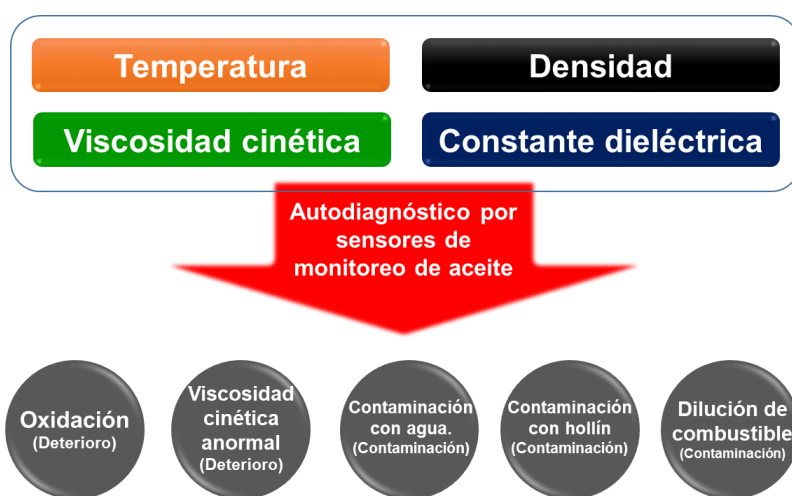


Figura 30. Propiedades del aceite que monitorea ConSite OIL

Fuente: (Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., 2019)

#### 3.1.1.1. Análisis de la información y recursos disponibles para el monitoreo de condición.

Para continuar con el proceso de monitoreo de condición del componente transmisión es importante conocer con que información se cuenta actualmente, y que uso se le puede dar, por lo cual se realizó una revisión de los reportes proporcionados por el sistema de información del área de mantenimiento, y con la orientación del analista de confiabilidad de la flota, se escogieron los siguientes:



- **Proyección de Componentes:** este reporte indica que componentes están instalados actualmente, en que equipo se encuentran ubicados, su fecha de instalación, sus horas acumuladas de operación, la vida media esperada del componente, entre otros.
- **Vida de Componentes:** en este se encuentran el número del componente, la flota en donde se encuentra ubicado, los costos horarios, los costos de la última reparación, entre otros.
- **Consumo de aceite por componente:** este reporte indica la cantidad de galones de aceite SAE 30 que son suministrados al componente transmisión.
- **Action History:** este reporte es proporcionado por un software de mantenimiento predictivo, que registra la salud de los activos que se encuentran operando, así como de los inactivos, también nos proporciona un análisis de aceites en servicio.
- **Tableros dinámicos de mantenimiento:** este reporte muestra los indicadores del departamento de mantenimiento, además indica las fechas de ejecución de los PMs y de las calibraciones, así como de otros eventos ocurridos.
- **Alarmas últimos 7 días:** reporte proporcionado por la contratista MineCare, que toma registro de cada una de las alarmas de los eventos que se presentan en los equipos en operación.

El analista de la flota escogió 9 alarmas correspondientes al componente transmisión, dos de ellas pertenecientes a las alarmas de tendencia y las restantes a las alarmas de fabricante; que son las siguientes:

**Tabla 5***Alarmas proporcionadas por MineCare*

<b>Alarmas de Fabricante</b>	<b>Alarmas de Tendencia</b>
Abusos	Alta Temperatura Lubricación
Downshift Solenoid	Deslizamientos
Gear Select	
Transmission Ecm	
Transmission Oil Level	
Upshift Solenoid	
Vims Transmission Ecm	

Fuente: Autor del proyecto (2020).

### **3.1.1.2.Desarrollo de un diagrama SIPOC para el proceso “Mejorar la vida media de las Transmisiones CAT240 y 190”.**

Con la orientación del supervisor de monitoreo de condición, se construyó un diagrama SIPOC con el fin de caracterizar el proceso por el cual pasa el componente transmisión a lo largo de su vida, definiendo los actores que están involucrados en dicho proceso. En la figura. 31, se puede observar con claridad el panorama completo del proceso que se lleva a cabo para tratar los componentes que ingresan a Cerrejón.

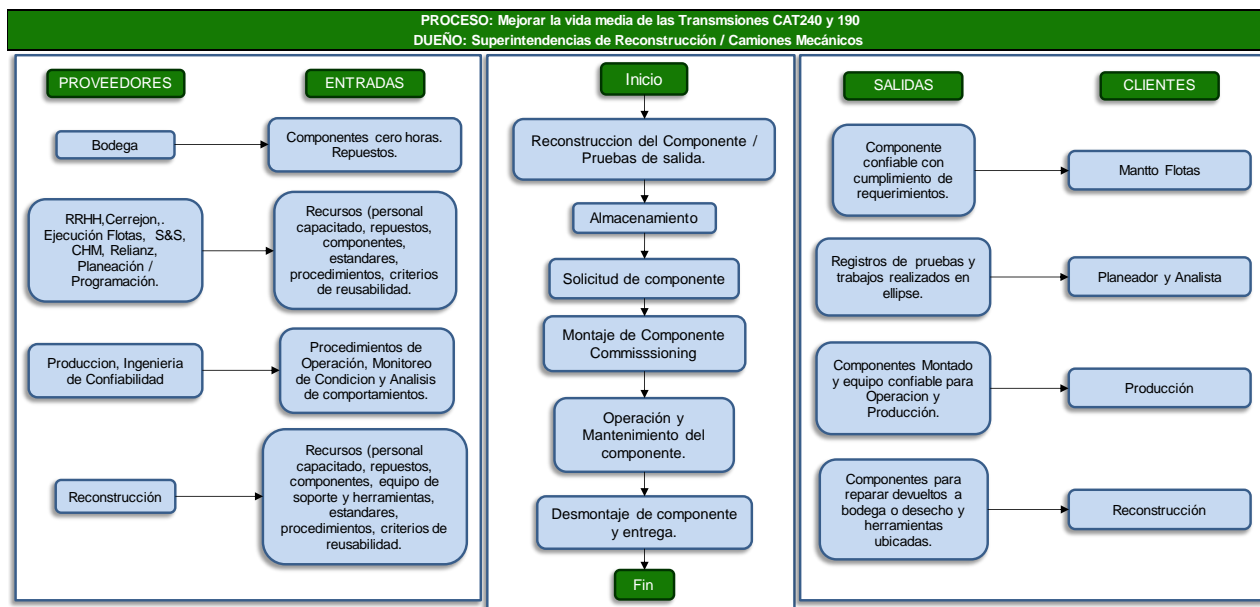


Figura 31. Desarrollo de un diagrama SIPOC para el proceso: Mejorar la vida media de las Transmisiones CAT240 y 190.

Fuente: Supervisor de Monitoreo de Condición Carbones del Cerrejon Limited.

### 3.1.2. Fase II. Consolidar la información en un banco de datos de fácil acceso.

#### 3.1.2.1. Identificar las variables a monitorear.

Se realizó una recopilación del proceso al cual son sometidas las transmisiones desde su ingreso a reconstrucción, su paso por bodega y su posterior ingreso a la flota. De lo cual se obtuvo un diagrama de proceso. Teniendo en cuenta el proceso al cual es sometido el componente transmisión desde su entrada en reconstrucción hasta su llegada a la flota, se realizó una tabla con las variables que corresponden a cada ítem del proceso, para identificar cuáles son las variables que ya están siendo monitoreadas, cuáles están en proceso y cuáles no. Es menester precisar que esta tabla y diagrama mencionado, no son adjuntados a este documento, debido a las políticas de confidencialidad de la empresa.

### 3.1.2.2. Priorización de las variables a monitorear.

Con el apoyo y orientación del supervisor de monitoreo de condición, en calidad de practicante la presente autora realizó una revisión de las variables que se tienen por cada ítem del proceso del componente transmisión, para seleccionar los datos de mayor importancia, teniendo en cuenta que está siendo monitoreado, los progresos que se tienen actualmente en la flota, y lo que hace falta por monitorear. Se escogieron un grupo de variables, con el fin de tenerlas en cuenta para la selección de la información que será consignada en la base de datos, esto puede ser constatado en la tabla 6, donde se muestra las variables e ítems de las mismas.

**Tabla 6**

*Variables Priorizadas Componente Transmisión*

<b>Variables Priorizadas Componente Transmisión</b>	
<b>1</b>	Estrategia de mantenimiento (Bajar por Condición)
<b>2</b>	Competencias del personal
<b>3</b>	Calidad de los repuestos
<b>4</b>	Control de calidad
<b>5</b>	Control de contaminación
<b>6</b>	Criterios de reusabilidad de partes y componentes
<b>7</b>	Estándar de almacenamiento
<b>8</b>	Estándar de commissioning
<b>9</b>	Estándar de reconstrucción
<b>10</b>	Estándar de entrega de la transmisión a reconstrucción
<b>11</b>	Estándar de lavado de componente en reconstrucción y partes desarmadas

- 12 Estándar de montaje
  - 13 Estándar de operación
  - 14 Atención para reparación de reportes
  - 15 Estándar de diagnóstico
  - 16 Flushing y limpieza de aceite
  - 17 Criterios de prioridad en atención de críticos
  - 18 Monitoreo de condiciones de aceite
  - 19 Seguimiento de Reparación de componente en base a pautas de atención de críticos
  - 20 Preservación
  - 21 Registro de información
  - 22 Verificación de condición de aceite
  - 23 Verificación de condición de los embragues
- 

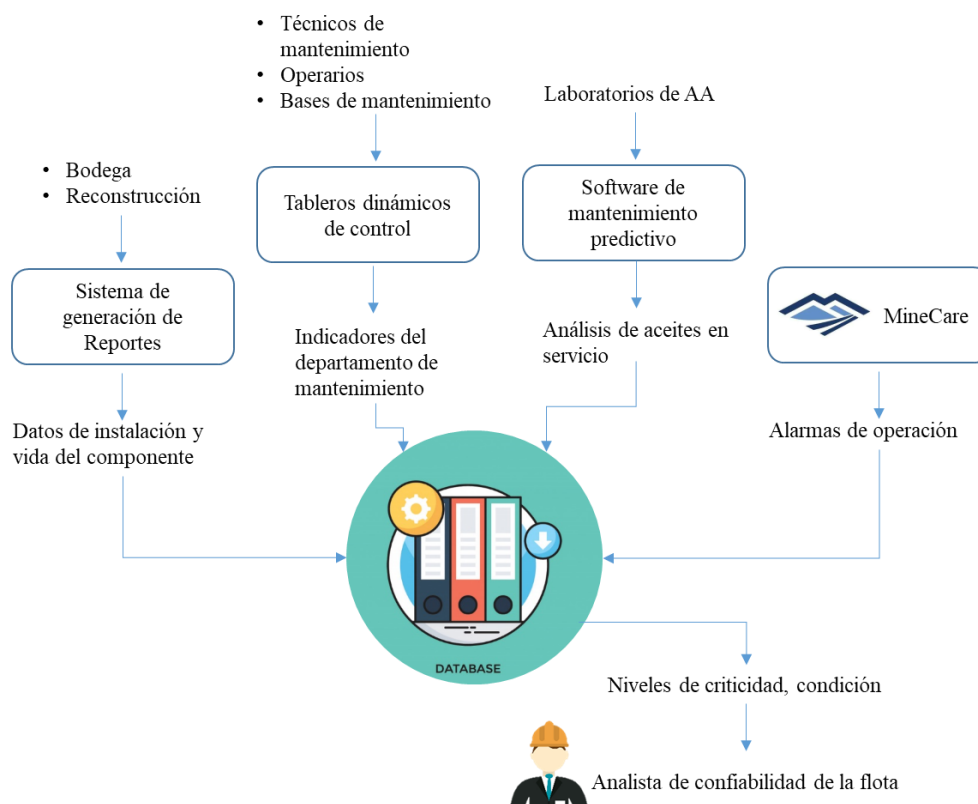
Fuente: Supervisor de Monitoreo de Condición y autor del proyecto (2020).

En el ítem 21 de la tabla 6, se puede observar la necesidad de la creación de un registro de información, para apoyar los procesos que actualmente se efectúan en la empresa.

### **3.1.2.3. Creación de un sistema de información para consulta de datos.**

Un sistema de información es un conjunto de componentes interrelacionados que permiten capturar, procesar, almacenar y distribuir la información para apoyar la toma de decisiones y el control en una institución; un sistema de información puede guardar los datos acerca de personas, lugares, inventarios, activos materiales, ventas, y demás cosas importantes que puedan interesar a la organización.

Según su clasificación un sistema de información, se torna tan importante para un proceso, puesto que este permite agilizar los procesos para lo cual ha sido creado el mismo, teniendo la capacidad que las personas tanto internas como externas, puedan tener un correcto funcionamiento del mismo, generando buenos beneficios para la institución. Para iniciar la construcción del sistema de información se necesita realizar un diagrama de flujo que describa el proceso que atraviesa la información, de donde se obtiene, quienes son sus principales actores y los responsables directos de la actualización, además de establecer quien estará a cargo de la supervisión del mismo, este diagrama de flujo realizado puede ser observado en la figura 32.



**Figura 32.** Flujo de información para la base de datos.

Con relación a lo anterior, cabe destacar que para el tratamiento de los datos, se tiene como base la norma ISO 14224, y para el procesamiento y análisis de los mismos, la norma ASTM D7720-11, que ya fueron descritas previamente en el apartado del enfoque legal.

El procesamiento de la información y la base de datos, fue realizada con ayuda del programa de Microsoft Excel, el cual, es un programa informático desarrollado por la empresa Microsoft, el cual es un útil y práctico programa en el que se pueden llevar a cabo registros completamente detallados con toda clase de información, de manera totalmente ordenada, también permite la utilización de macros para personalizar las operaciones a realizarse en Excel haciendo aún más especializado el trabajo que debe realizar, a través del lenguaje de programación Visual Basic, mismo que fue utilizado en el desarrollo de éste proyecto.

La información consignada en la base de datos es proporcionada por los 6 reportes ya mencionados los cuales están internamente vinculados a los reportes de Proyección de componentes y Vida de componentes, es decir, se necesita descargar obligatoriamente estos dos reportes, para que ésta base de datos pueda funcionar correctamente, ya que estos documentos contienen la información inicial de los componentes, debido a que son la base para la búsqueda de la información faltante.

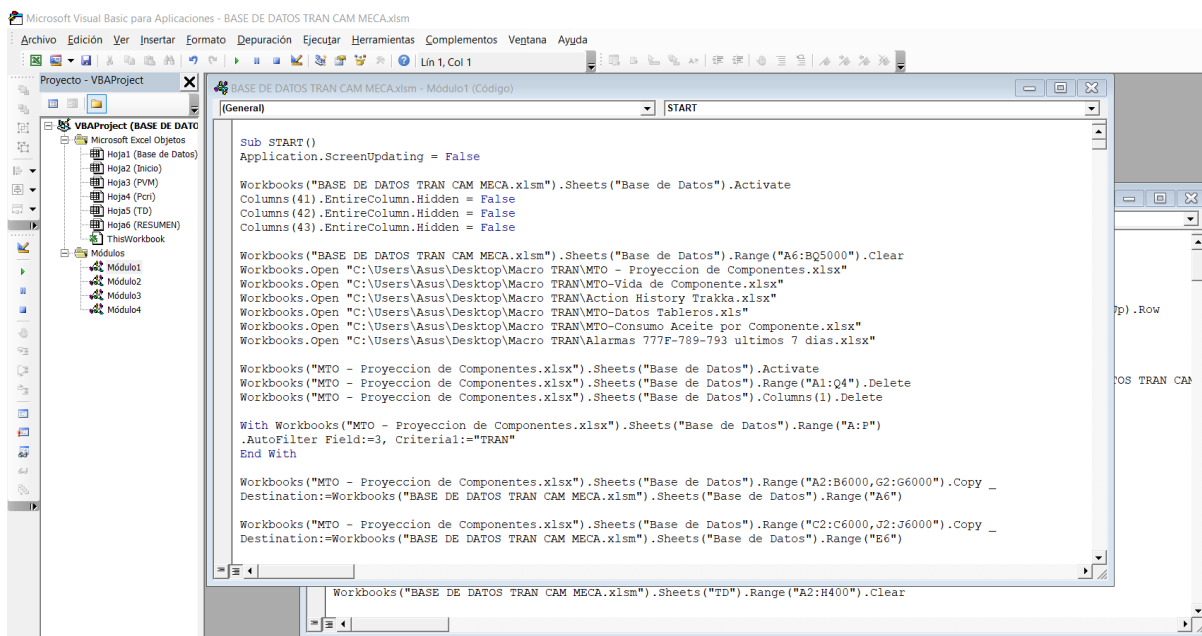


Figura 33. Lenguaje básico de visual Basic para la creación de macros

El sistema de información, consta de 3 pestañas principales, la primera denominada “Inicio” en la cual se encuentra una descripción de cada ítem que se carga en el sistema, además del botón que inicializa la actualización de la base de datos, la cual se puede observar en el **Apéndice B**. La segunda pestaña “Base de Datos”, contiene toda la información extraída de los reportes creada ya mencionados a través de una macro que integra los datos en un total de 40 columnas.(Ver **Apéndice C**) esta información extraída puedes ser evidenciada en la tabla 7. La tercera pestaña “Resumen”, contiene el dashboard de visualización de estado de las transmisiones, tema que será tratado más adelante.



**Tabla 7***Información extraída para la base de datos*

Reporte	Datos extraídos
1 Proyección de Componentes	Flota Equipo Fecha de instalación Código del componente Horas actuales de la transmisión Horas actuales del convertidor Horas acumuladas de la transmisión
2 Vida de Componente	Número del Componente Transmisión Número del Componente Convertidor Procedencia Costos OT De Reparación (Rebuilt Onsite - Rebuilt Offsite) Costos OT De Reparación Anterior Costo Horario Componente Transmisión Costo Horario Componente Convertidor
3 Consumo Aceite por Componente	Consumo de Aceite SAE 30 Número de Rellenos SAE 30
4 Action History	Fecha de Observación Trakka Valoración de la observación

	Grado de Trakka
	Valoración del Estado Asignada
	Modo de Falla
5	Datos Tableros dinámicos
	Ultimo PM
	Ultima Calibración
6	Alarmas últimos 7 días
	Abusos
	Alta Temperatura Lubricación
	Deslizamientos
	Downshift Solenoid
	Gear Select
	Transmission Ecm
	Transmission Oil Level
	Upshift Solenoid
	Vims Transmission Ecm

---

**Nota.** Fuente: Autor del proyecto (2020).

La información que se obtiene después de cargar la base de datos está directamente vinculada al tiempo seleccionado para la descarga de los reportes mencionados anteriormente.

### **3.1.3. Fase III.**

Realizar un análisis estadístico de los factores actualmente monitoreados de las transmisiones con ayuda del software MiniTab.

### **3.1.3.1. Definir el tipo de análisis, las variables a analizar y las exclusiones a tener en cuenta.**

El análisis exploratorio tiene como objetivo identificar el modelo teórico más adecuado para representar la población de la cual proceden los datos muestrales. Dicho análisis se basa en gráficos y estadísticos que permiten explorar la distribución identificando características tales como: valores atípicos u outliers, saltos o discontinuidades, concentraciones de valores, forma de la distribución, etc. Por otra parte, este análisis se puede realizar sobre todos los casos conjuntamente o de forma separada por grupos.

El tipo de variable analizada es discreta, analizaremos la cantidad de alarmas de cada tipo ocurridas semanalmente durante un periodo de 22 semanas. En este se puede observar las variaciones de ocurrencia de la alarma de alta temperatura de lubricación y la existencia de gran cantidad de datos atípicos, que deben ser eliminados para obtener un resultado óptimo.

Se hizo una revisión de la información y se escogen las columnas con la información más significativa, la cual se divide en tres categorías, con el fin de iniciar la evaluación del estado de las transmisiones, estas categorías son:

- **Aceites:** corresponde a las columnas de análisis de aceites proporcionados por el software de mantenimiento predictivo de la empresa, el número de galones del último consumo y la cuenta de rellenos ocurrida en el último mes.

- **Alarmas:** corresponde a las columnas de alarmas de tendencia y alarmas de fabricante que contienen la cuenta de alarmas ocurridas en los últimos 7 días provenientes del reporte semanal de MineCare.
- **Vida:** corresponde a las horas actuales de funcionamiento del componente transmisión y al costo horario de la última reparación del mismo.

Para definir el estado de la transmisión, se determinó realizar un análisis de los datos de eventos de MTBS (Mean Time Between Stoppages) del componente transmisión, ocurridos desde enero de 2019 hasta junio de 2020, los cuales se clasificaron en tres categorías que se muestran en la tabla 8.

**Tabla 8**

*Eventos (Según MTBS) Componente transmisión Flota Acarreo Mecánico*

Eventos (Según MTBS) Componente transmisión Flota Acarreo Mecánico			
Modo de falla	Cant. Eventos (Según MTBS)	Peso %	Peso acumulado %
Bajo Nivel	906	57,27%	57,27%
Dañado/a	146	9,23%	66,50%
Abierto/En Corto	130	8,22%	74,72%
Defec-Defectuoso	118	7,46%	82,17%
Deformado	57	3,60%	85,78%
Deteriorado	34	2,15%	87,93%
Desgastados	32	2,02%	89,95%
Cristalizados	21	1,33%	91,28%
Abierto	18	1,14%	92,41%

Descalibrado	18	1,14%	93,55%
Sucio	14	0,88%	94,44%
Fuga Externa	14	0,88%	95,32%
Pegado Cerrado	12	0,76%	96,08%
Pegado Abierto	12	0,76%	96,84%
Faltante	7	0,44%	97,28%
Puenteado	6	0,38%	97,66%
Partido/a	6	0,38%	98,04%
Fuga	5	0,32%	98,36%
Degradado	4	0,25%	98,61%
Quemado	4	0,25%	98,86%
Falsos Contactos	3	0,19%	99,05%
Fuga Interna	2	0,13%	99,18%
Baja Presion	2	0,13%	99,30%
Corto	2	0,13%	99,43%
Agrietado/a	2	0,13%	99,56%
Agrietado/Desgastado	2	0,13%	99,68%
Sulfatados	2	0,13%	99,81%
Contaminado	1	0,06%	99,87%
Falso Contacto	1	0,06%	99,94%
Descalibrado/a	1	0,06%	100,00%
<b>Total de Eventos</b>	<b>1582</b>		

**Nota.** La categoría aceites, corresponde a las filas resaltadas en color azul, las alarmas, corresponde a las filas resaltadas en color amarillo y la categoría vida, corresponde a las filas resaltadas en color amarillo.

**Fuente:** Analista de confiabilidad de la flota de camiones mecánicos.

En la tabla 8, la categoría de aceites indica los modos de falla que tienen relación con los cambios ocurridos en el lubricante, tales como pérdida del mismo, variación propiedades, contaminación, etc. La categoría alarmas indica las alarmas emitidas por el componente transmisión, la última categoría, indica los eventos que corresponden a la finalización de la vida útil de los componentes.

Con la clasificación de los eventos se procedió a calcular el porcentaje de concurrencia de las fallas para así definir el peso de cada categoría, porcentaje que fue utilizado para el cálculo de clasificación de los componentes.

Categoría	Peso %
Aceite	60,21%
Alarmas	29,60%
Vida	10,19%

*Figura 34.* Peso porcentual de las categorías de eventos de MTBS.

Fuente: Autor del proyecto

### **3.1.3.2. Definir los criterios para evaluar el estado de las transmisiones instaladas.**

Los límites de alarma se utilizan normalmente para el monitoreo de condiciones para producir indicaciones de gravedad relacionadas con los estados de desgaste de la maquinaria, la calidad del aceite y la contaminación del sistema. Los límites de alarma distinguen o separan varios niveles de alarma. Cuatro niveles son comunes, pero en éste caso se decide trabajar con 3 niveles. Se decide generar una calificación según la información más relevante de las

transmisiones que consiste en asignar un número dependiendo del estado actual del componente, en el que 1 es normal y 3 es crítico.

Para la categoría de aceites, el software de mantenimiento predictivo de la empresa proporciona una calificación para el análisis de aceites, ubicado en las columnas de Valoración de la observación, Grado de Trakka y Valoración del Estado Asignada, la cual fue tomada en cuenta en su totalidad.

Para el caso de Consumo de Aceite SAE 30, teniendo en cuenta que la capacidad de aceite que se suministra al componente es 60 galones de aceite, se decide tomar los siguientes criterios:

1. Entre 1 y 40 galones de aceite SAE 30 = Normal
2. Entre 40 y 50 galones de aceite SAE 30 = Advertencia
3. Más de 50 galones de aceite SAE 30 = Crítico

Para definir los criterios de la columna No de Rellenos SAE 30, se tomó una muestra correspondiente a 53 semanas de datos de rellenos, la cual fue analizada con el software MiniTab, se realizó la eliminación de datos atípicos y se obtuvo lo siguiente:

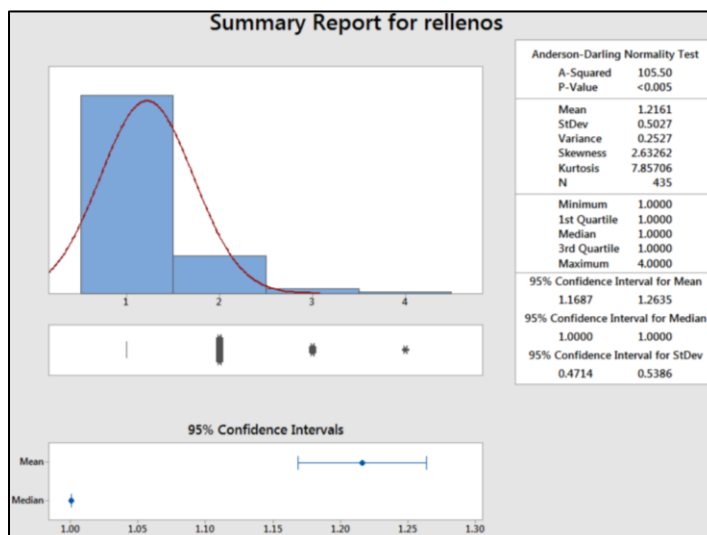


Figura 35. Diagrama Anderson-Darling Rellenos de aceite de lubricación flotas 789 y 793.

Teniendo en cuenta la norma ASTM D7720-11 se tomaron los siguientes criterios:

**Tabla 9**

*Delimitaciones para relenos de aceite SAE 30*

	<b>Media</b>	<b>Aprox.</b>	<b>Desviación</b>	<b>Aprox.</b>	<b>Normal</b>	<b>Warning</b>	<b>Critical</b>
<b>Rellenos</b>	1,2161	1	0,5027	1	1	2	3

Fuente: elaboración propia (2020).

Para la categoría de alarmas, se eligió una población de 156 transmisiones activas en la flotas 789C (14), 789D (34) y 793D (108) de camiones mecánicos con un histórico de aproximadamente 22 semanas proveniente de la plataforma de monitoreo Minecare.

A través del software MiniTab se realizó la identificación de los datos atípicos de las alarmas previamente seleccionadas, para su posterior eliminación, así como también se realizó el cálculo de la media y la desviación estándar, y basados en la norma ASTM D7720 - 11



(“Statistically Evaluating Measurand Alarm Limits when Using Oil Analysis to Monitor Equipment and Oil for Fitness and Contamination”) que indica los requisitos específicos para evaluar estadísticamente los umbrales de medición y alarma, que se denominan límites de alarma, ya que se aplican a los datos recopilados para análisis de aceite en servicio, se realizó lo siguiente:

### Flota 789C – 789D

Se usaron diagramas boxplot para identificar los datos atípicos en las poblaciones de datos que fue necesario, como se puede observar en la figura 40, para la alarma Alta temperatura de lubricación.

#### 1. Alarma de Alta temperatura de lubricación

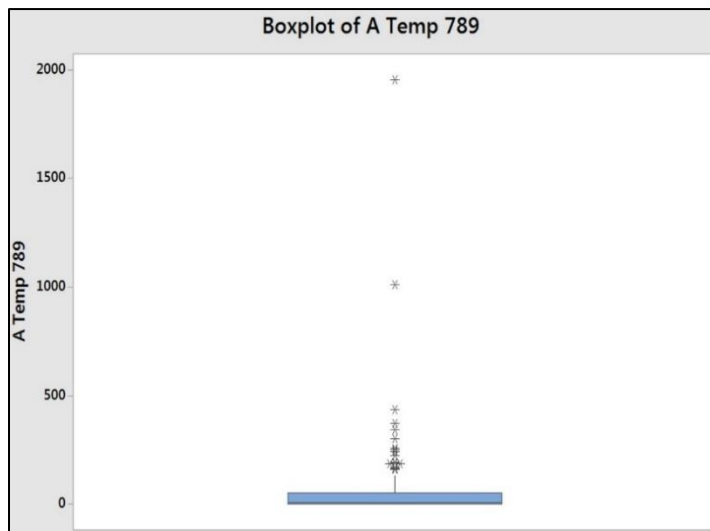
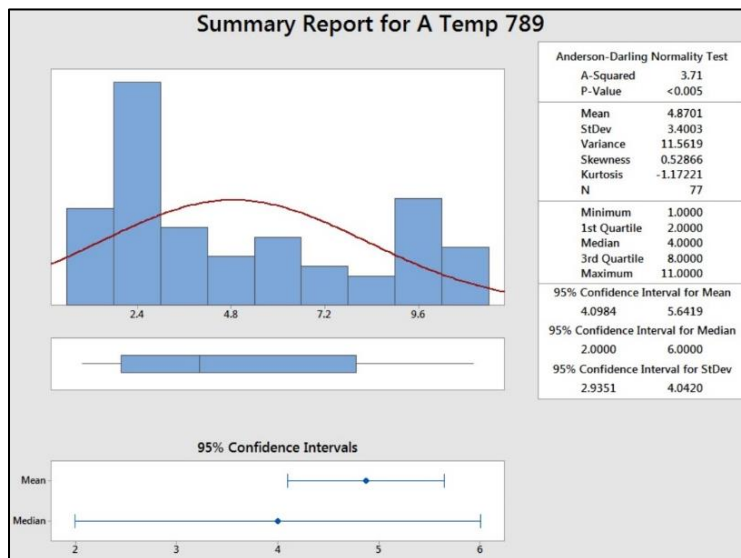


Figura 36. Diagrama Boxplot Alarma de Alta temperatura de lubricación flota 789.

Posterior a la eliminación de los datos atípicos se obtiene el siguiente diagrama que corresponde al histograma del test de normalidad de Anderson-Darling.



*Figura 37.* Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma de alta temperatura de lubricación flota 789.

Como se puede observar en la figura 38, se obtuvo una distribución casi simétrica, con una media de 7 eventos de alarma semanales, también se ve una variación de los datos que aumenta y posteriormente disminuye, esto puede ser signo de una posible condición en el aceite de lubricación. Una vez obtenido el histograma, se procede a revisar el valor p, si éste es menor a 0.05 procedemos a escoger la media y la desviación estándar, como indica la norma ASTM D7720-11, para iniciar los cálculos de las delimitaciones, si el valor p es mayor a 0.05, usaremos la mediana en reemplazo de la media, los resultados están consignados en las tablas 10 y 11.

Se realizó el mismo procedimiento con las siguientes alarmas, lo que puede ser apreciado en las siguientes figuras que van desde la figura 38 hasta la figura 52.

2. Alarma de deslizamiento



a)

b)

Figura 38 a) Diagrama Boxplot Alarma de deslizamiento flota 789.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma de deslizamiento flota 789.

3. Alarma de abusos

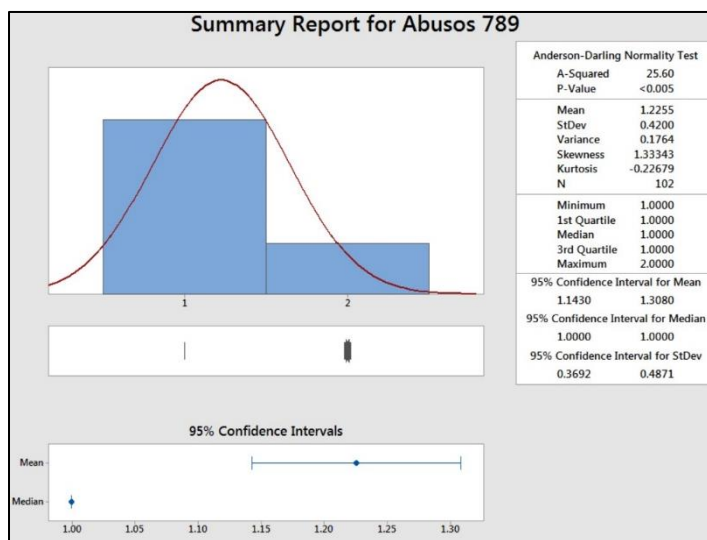


Figura 39. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma de Abusos flota 789.

## 4. Alarma Downshift Solenoid

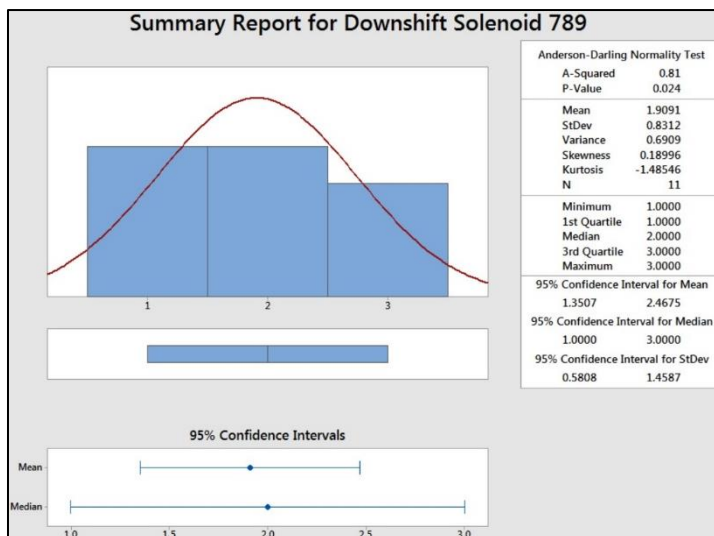


Figura 40. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Downshift Solenoid flota 789.

## 5. Alarma Upshift Solenoid

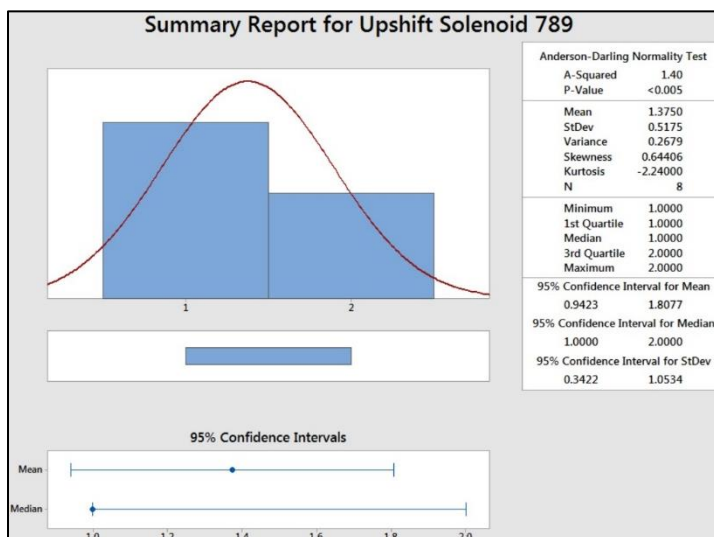


Figura 41. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Upshift Solenoid flota 789.

## 6. Alarma Transmission Oil Level

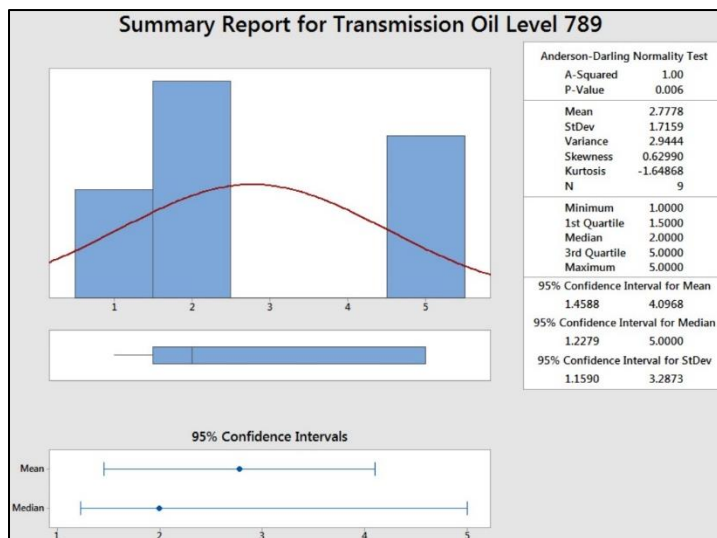
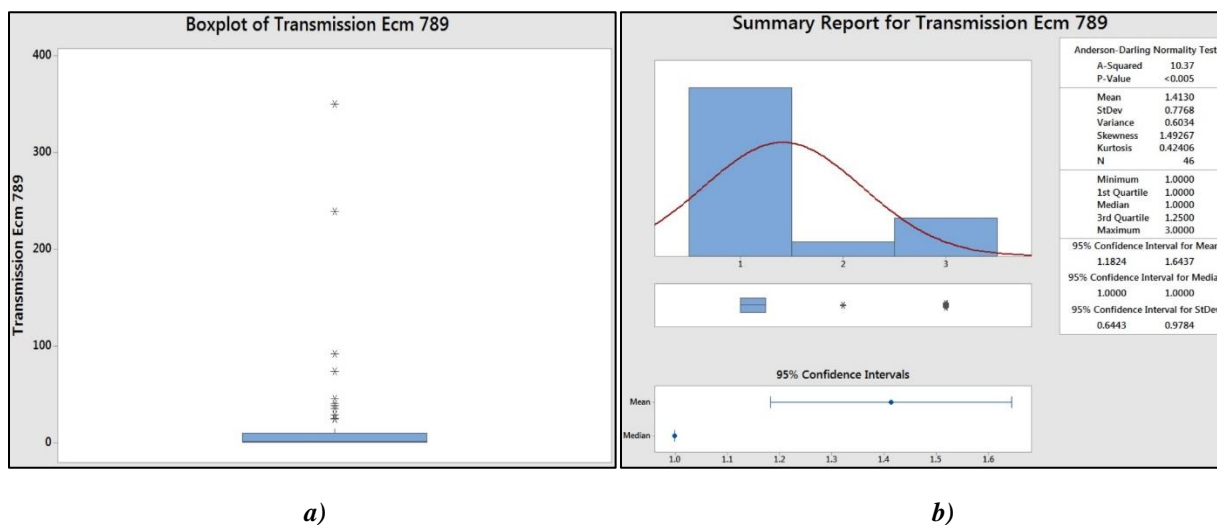


Figura 42. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Transmission Oil Level flota 789.

## 7. Alarma Transmission Ecm



a)

b)

Figura 43 a) Diagrama Boxplot Alarma Transmission ECM flota 789.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Transmission ECM flota 789.

## 8. Alarma Vims Transmission ECM

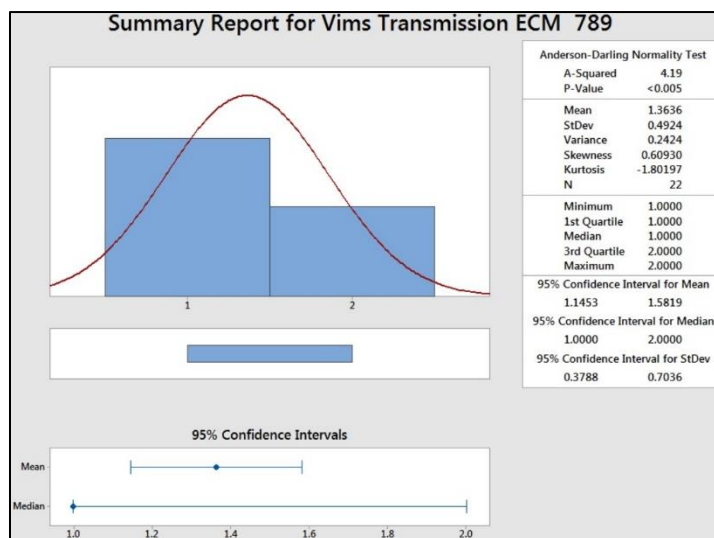
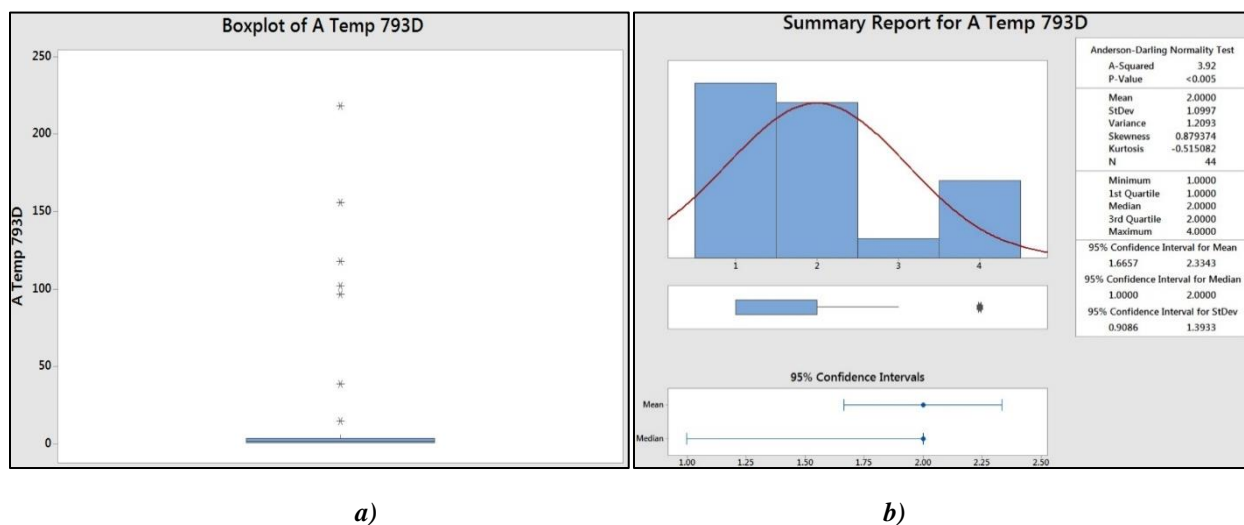


Figura 44. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Vims Transmission ECM flota 789.

## Flota 793D

### 1. Alarma de Alta Temperatura de lubricación



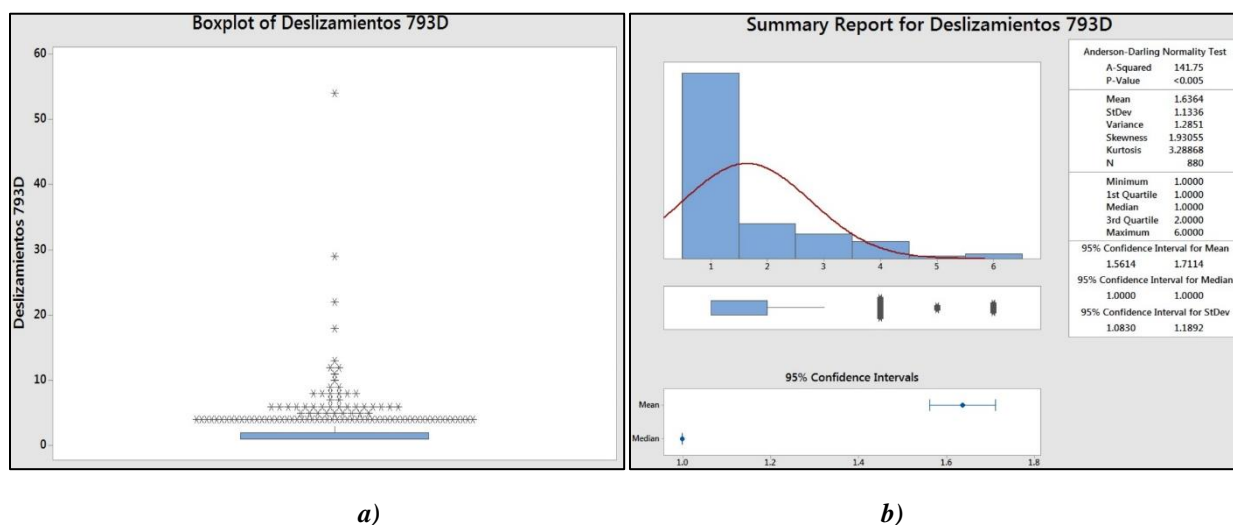
a)

b)

Figura 45 a) Diagrama Boxplot Alarma de temperatura de lubricación flota 793D.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Alta temperatura de lubricación flota 793D.

## 2. Alarma de deslizamiento



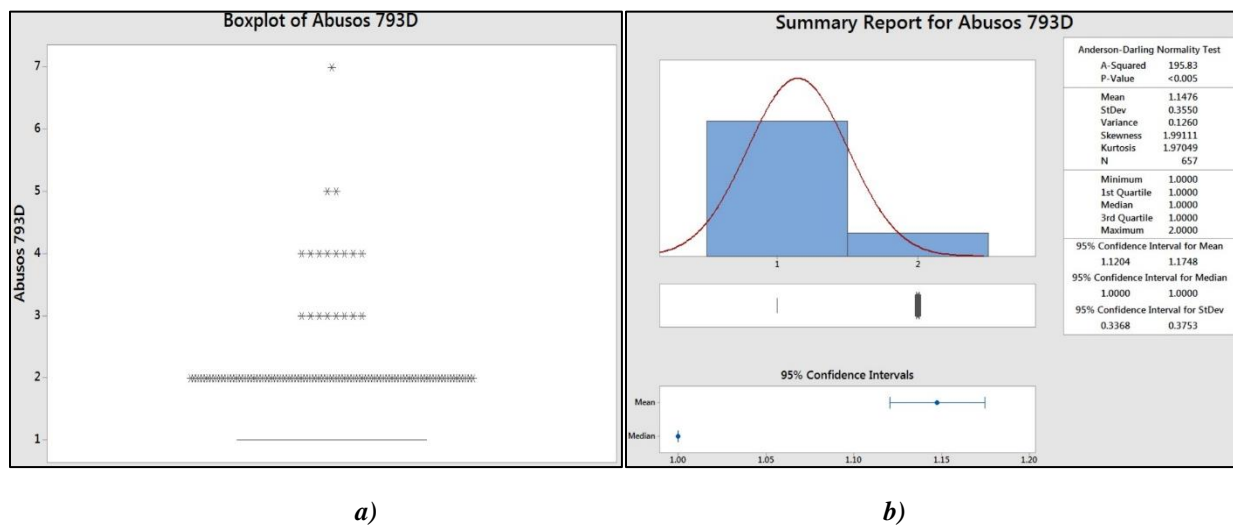
a)

b)

Figura 46 a) Diagrama Boxplot Alarma de deslizamiento flota 793D.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Deslizamiento flota 793D.

## 3. Alarma de Abusos



a)

b)

Figura 47 a) Diagrama Boxplot Alarma de Abusos flota 793D.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Abusos flota 793D.

4. Alarma Downshift Solenoid

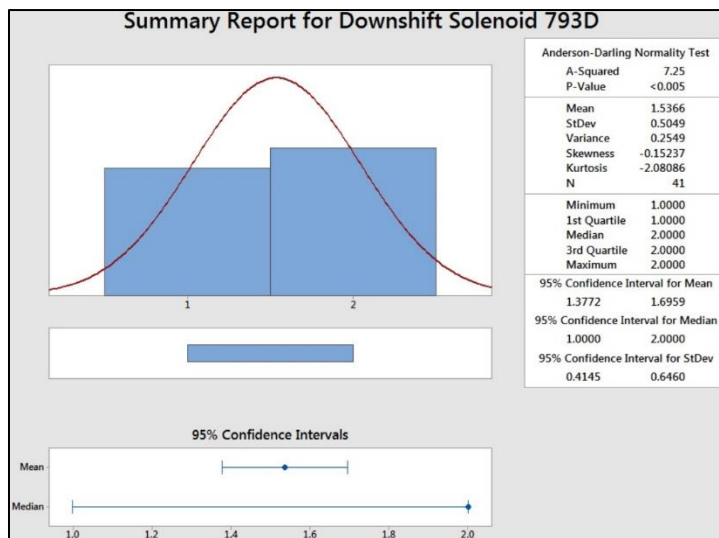


Figura 48. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Downshift Solenoid flota 793D.

5. Alarma Upshift Solenoid

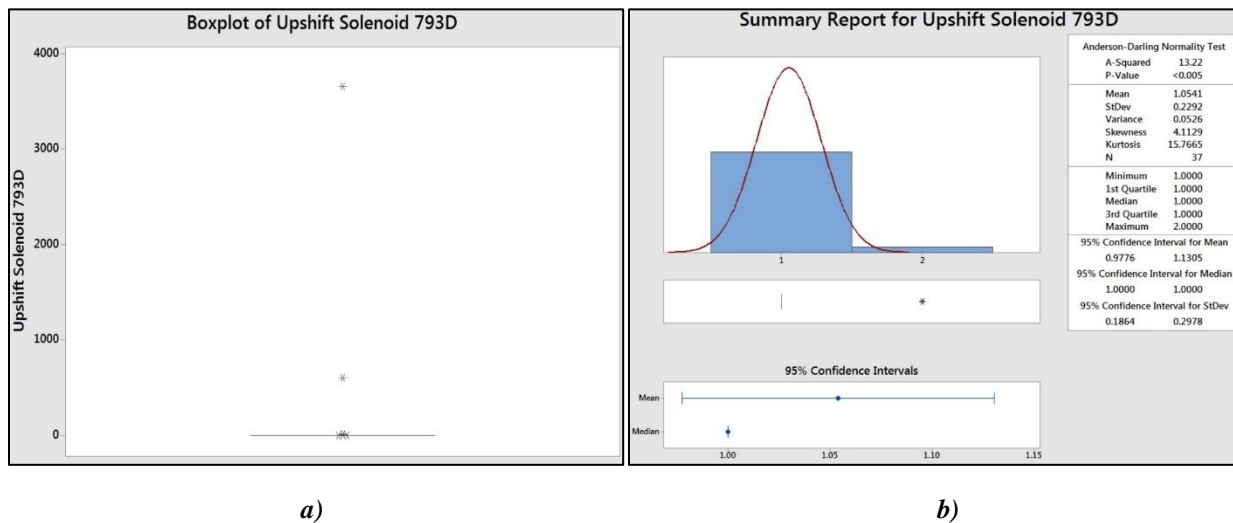
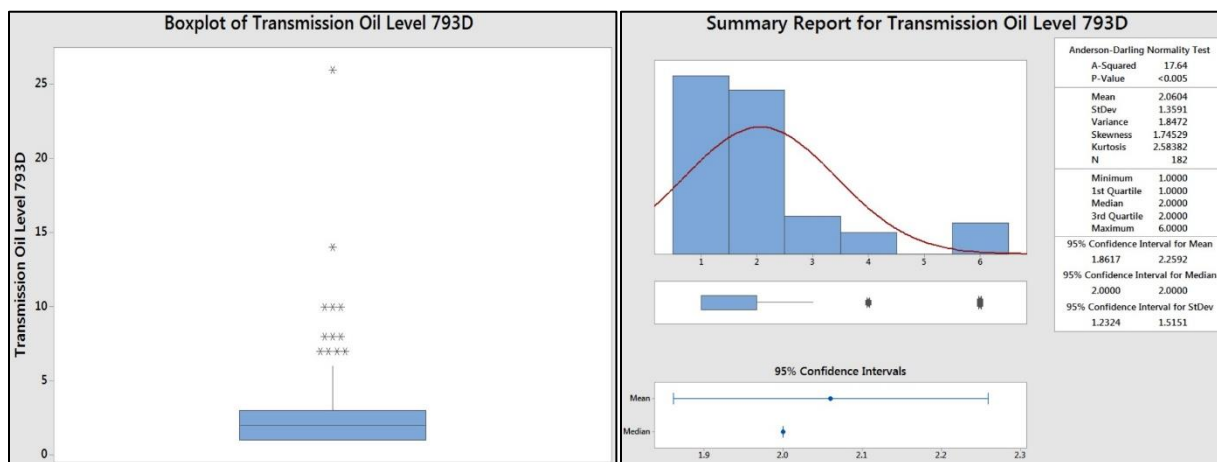


Figura 49 a) Diagrama Boxplot Alarma Upshift Solenoid flota 793D.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Upshift Solenoid flota 793D.



## 6. Alarma Transmission Oil Level



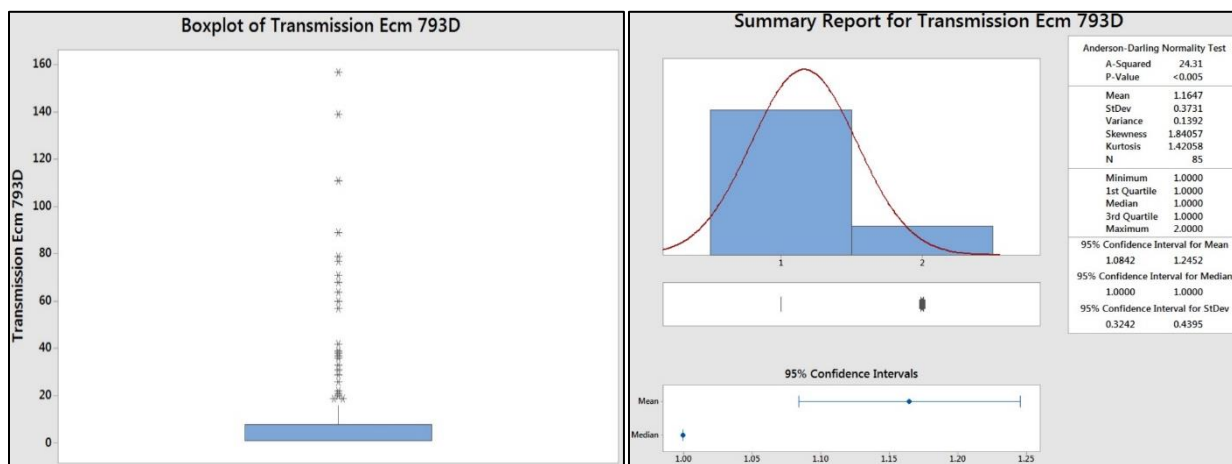
a)

b)

Figura 50 a) Diagrama Boxplot Alarma Transmission Oil Level flota 793D.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Transmission Oil Level flota 793D.

## 7. Alarma Transmission Ecm



a)

b)

Figura 51 a) Diagrama Boxplot Alarma Transmission ECM flota 793D.

b) Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Transmission ECM flota 793D.

## 8. Alarma Vims Transmission ECM

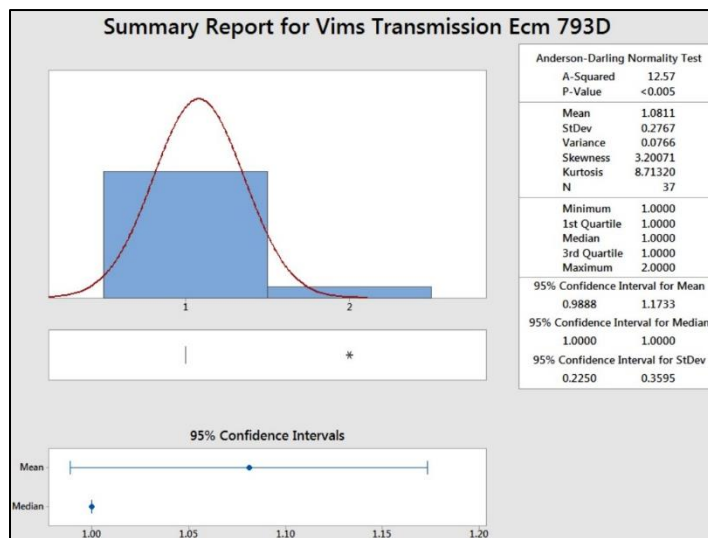


Figura 52. Diagrama del test de normalidad de Anderson-Darling correspondiente a Alarma Vims Transmission ECM flota 793D.

Las limitaciones obtenidas durante el proceso, se encuentran relacionadas en la tabla 10 y 11.

**Tabla 10**

*Delimitaciones para las alarmas de la flota 789C -D*

789C -D							
Alarmas	Media	Aprox.	Desviación	Aprox.	Normal	Warning	Critical
Abusos	1,2255	1	0,42	0	1	1	1
Alta Temperatura Lubricación	4,8701	5	3,4003	3	5	8	11
Deslizamientos	1,4016	1	0,8198	1	1	2	3
Downshift Solenoid	1,9091	2	0,8312	1	2	3	4
Transmission Ecm	1,413	1	0,7768	1	1	2	3
Transmission Oil Level	2	2	1,7159	2	2	4	6
Upshift Solenoid	1,375	1	0,5175	1	1	2	3

<b>Vims Transmission Ecm</b>	1,3636	1	0,4924	0	1	1	1
------------------------------	--------	---	--------	---	---	---	---

**Nota:** las delimitaciones para 789C y 789D son las mismas considerando la similitud de los componentes.

**Fuente:** Autor del proyecto

**Tabla 11**

*Delimitaciones para las alarmas de la flota 793D*

<b>793D</b>							
<b>Alarmas</b>	<b>Media</b>	<b>Aprox.</b>	<b>Desviación</b>	<b>Aprox.</b>	<b>Normal</b>	<b>Warning</b>	<b>Critical</b>
<b>Abusos</b>	1,147	1	0,355	0	1	1	1
<b>Alta Temperatura Lubricación</b>	2	2	1,0997	1	2	3	4
<b>Deslizamientos</b>	1,6364	2	1,1336	1	2	3	4
<b>Downshift Solenoid</b>	1,5366	2	0,5049	1	2	3	4
<b>Transmission Ecm</b>	2,0604	2	1,3591	1	2	3	4
<b>Transmission Oil Level</b>	2,5	3	1,8347	2	3	5	7
<b>Upshift Solenoid</b>	1,0541	1	0,2292	0	1	1	1
<b>Vims Transmission Ecm</b>	1,0811	1	0,2767	0	1	1	1

**Fuente:** Autor del proyecto (2020).

En algunos casos se puede observar la aparición de condiciones en el componente, caso que ocurre en el análisis de temperatura del lubricante de ambas flotas, debido a la variación de los datos, lo cual es importante a la hora de definir las delimitaciones para ésta alarma. La alarma de temperatura del lubricante en la flota 789 presenta valores altos en los resultados

obtenidos en la tabla 9, hecho que se debe a la información contenida en el historial de ésta alarma, datos que se debe tomar en cuenta por el analista de la flota.

Los resultados de las alarmas, exceptuando la anterior mencionada, se encuentran dentro de límites aceptables. Para la alarma Gear Select- Active, no se realiza el procedimiento anterior en ninguna de las flotas, debido a la insuficiencia de información, pues esta alarma no ocurre con frecuencia, por lo que se decide excluirla de éste análisis. En el caso de la categoría de vida, que involucra las horas de operación que ha tenido el componente, se tiene en cuenta el tiempo que transcurre después de la última reparación, así como las horas acumuladas del mismo, desde que ocurre su primera instalación, en comparación con la VME (Vida media esperada) del componente.

Con la VME se calculan las delimitaciones para ésta categoría así:

$$Normal = VME * 69.9\%$$

$$Warning = VME * 89.9\%$$

Para la delimitación que corresponde a Critical, se tiene en cuenta las primeras 1000 horas de funcionamiento del componente, posteriores al montaje más reciente, que representan la tasa de mortalidad infantil, y las horas que rebasan el 90% de la VME que corresponden a la tasa de desgaste del componente, de lo anterior se obtienen las tablas 12 y 13.

**Tabla 12***Delimitaciones para las horas actuales del componente transmisión*

<b>Horas Actuales Componente Transmisión</b>				
<b>Flota</b>	<b>VME</b>	<b>Normal</b>	<b>Warning</b>	<b>Critical</b>
<b>789C – D</b>	10000	1000 – 6990	6990 - 9000	0 - 1000 ; > 9000
<b>793</b>	12000	1000 – 8388	8388 - 10800	0 - 1000 ; > 10800

**Fuente:** Autor del proyecto (2020)**Tabla 13***Delimitaciones para las horas actuales del componente convertidor*

<b>Horas Actuales Componente Convertidor</b>				
<b>Flota</b>	<b>VME</b>	<b>Normal</b>	<b>Warning</b>	<b>Critical</b>
<b>789C – D</b>	12000	1000 - 8388	8388 - 10800	0 - 1000 ; > 10800
<b>793</b>	10000	1000 - 6990	6990 - 9000	0 - 1000 ; > 9000

**Nota.** Se incluye el análisis del componente convertidor a petición del analista de la flota**Fuente:** Autor del proyecto (2020)

Habiéndose establecido los límites, se procedió a efectuar el cálculo que entrega la calificación de estado de cada componente transmisión correspondiente al tiempo evaluado, éste cálculo incluye la cantidad de veces que ocurren los eventos en el tiempo estipulado por los reportes, es decir, en el caso de alarmas siempre será el lapso de una semana. Para el caso de aceites, la calificación, ya está definida en el reporte del cual proviene la información.

```

pace = WorksheetFunction.Average(CAR, CAS, CAT, CAU, CAV) * 0.602
palar = WorksheetFunction.Average(CAW, CAX, CAY, CAZ, CBA, CBB, CBC) * 0.296
pvid = WorksheetFunction.Average(CAP, CBP, CBQ) * 0.102

CLA = pace + palar + pvid

Workbooks("BASE DE DATOS TRAN CAM MECA.xlsm").Sheets("Base de Datos").Range("AN" & i).Value = CLA
Workbooks("BASE DE DATOS TRAN CAM MECA.xlsm").Sheets("Base de Datos").Range("AO" & i).Value = pace
Workbooks("BASE DE DATOS TRAN CAM MECA.xlsm").Sheets("Base de Datos").Range("AP" & i).Value = palar
Workbooks("BASE DE DATOS TRAN CAM MECA.xlsm").Sheets("Base de Datos").Range("AQ" & i).Value = pvid

Next i
|
Range("AN6:AQ200").NumberFormat = "0.00"
End Sub

```

Figura 53. Código VBA Excel, para el cálculo de la clasificación del componente transmisión.

Se calculó el promedio de cada categoría, y posteriormente se sumó, con lo que se obtuvo un valor decimal ubicado entre 1 y 3, que nos indica el estado de la transmisión, en la figura 55 se puede observar el resultado de la calificación.

Calificación	ACEITES	ALARMAS	VIDA
1,35	1,22	0,03	0,10
1,35	1,10	0,10	0,15
1,35	1,10	0,10	0,15
1,27	0,97	0,24	0,05
1,21	0,85	0,21	0,15
1,18	1,10	0,03	0,05
1,16	0,97	0,03	0,15
1,16	0,97	0,03	0,15
1,16	0,97	0,03	0,15
1,15	1,10	0,00	0,05
1,15	1,10	0,00	0,05
1,14	0,97	0,07	0,10
1,13	0,97	0,10	0,05
1,13	0,97	0,10	0,05
1,13	0,97	0,10	0,05

Figura 54. Tabla de clasificación de estado de transmisiones.

### **3.1.4. Fase IV. Construir un Dashboard para la visualización del estado de los componentes.**

#### **3.1.4.1. Generar un Dashboard para la visualización del estado de los componentes.**

Un dashboard es una herramienta con la que podemos visualizar una gran cantidad de información de forma sencilla y organizada. Los *resultados se obtienen en base a unas métricas* que previamente habremos establecido, apareciendo por medio de *representaciones visuales* como gráficos de barras, circulares, histogramas, etc.

Esta base de datos en cada actualización, nos muestra el panorama general y específico de los componentes que se encuentran instalados actualmente en la flota de camiones mecánicos, además del promedio de actual de vida en comparación con la VME que se tiene prevista para cada flota, a través de un dashboard de fácil visualización. El dashboard generado, consta de dos tablas y dos gráficas dinámicas que nos muestran el estado de los componentes con mayor criticidad según los datos consignados en la base de datos. (Ver **Apéndice D**)

La primera tabla, denominada “Transmisiones con mayor criticidad (Según Flota)”, contiene la información detallada de las 3 transmisiones con mayor estado crítico, de cada flota, incluye cada aspecto que se abarca en la base de datos, para permitirle al analista tener la información a la mano, sin necesidad de regresar a la pestaña anterior, esto puede ser observado a continuación en la figura 56. Cabe resaltar que para la inserción de figura, la tabla fue dividida en dos con el fin de facilitar su lectura.

## TRANSMISIONES CON MAYOR CRITICIDAD (Según Flota)

Flota	Equipo	Fecha de instalación	Componente TRAN	Cod Comp	HACTUAL TRAN	Procedencia	HACTUAL CONV	Componente CONV	Ultimo PM	Ultima Calibración
777G	0600144	oct 25, 2019	06021143	TRAN	3466,39	INTERNO	6131,84	06022901G		
777G	0600158	abr 11, 2018	06021158	TRAN	13971,3		13971,3	06022158		
777G	0600153	jul 22, 2020	06021151	TRAN	121,19	INTERNO	121,19	06022142		
789D	0220290	feb 4, 2019	02221630A	TRAN	7210,04		7974,2	02222299A		
789D	0220636	may 29, 2018	02221636A	TRAN	12435,32		12435,32	02222636A		
789D	0220292	may 16, 2018	02221802A-1	TRAN	10644,75		6161,43	02222632A		
793D	0220466	dic 28, 2019	02221505D	TRAN	2205,82	INTERNO	13049,42	02222458D		
793D	0220476	jul 10, 2020	02221467D	TRAN	441,52	INTERNO	441,52	02222445D	2020/07/18 11:49	
793D	0220493	jul 22, 2020	02221440D	TRAN	328,87	INTERNO	1476,59	02222489D		

Fecha de Observación Trakka	Valoración de la observación	Grado de Trakka	Valoración del Estado Asignada	Modo de Falla	Consumo de Aceite SAE 30	No de Rellenos SAE 30	Alta temperatura	Deslizamientos
27/07/2020	Crítico	Crítico	Normal	Ninguna falta identificó	37			
2/08/2020	Crítico	Crítico	Sin calificar	Alta cuenta de partícula	37			
2/08/2020	Crítico	Crítico	Sin calificar	Ninguna falta identificó	37			
27/07/2020	Crítico	Advertencia	Advertencia	Altos metales del desgaste	45	1	1	
23/07/2020	Crítico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de partícula	45			32
29/07/2020	Crítico	Crítico	Advertencia	Ninguna falta identificó	14		6	
23/07/2020	Normal	Crítico	Advertencia	Ninguna falta identificó	12	1	8	320
24/07/2020	Normal	Crítico	Advertencia	Alta cuenta de partícula	45			
12/08/2020	Normal	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de partícula	29		3	

Figura 55. Tabla Transmisiones con mayor criticidad (Según Flota)

Con relación a lo anterior, se generó una segunda tabla, que puede ser apreciada en la figura 57 denominada “TOP 10 TRANSMISIONES CRITICAS”, la cual muestra las 10 transmisiones con mayor criticidad analizadas en la base de datos, a su vez, evidencia donde se encuentra ubicado el componente además de una columna denominada “HACUM”, que indica las horas acumuladas que tiene cada componente, desde su primera instalación hasta la última fecha de carga del reporte y la calificación que éste obtuvo durante el análisis.



TOP 10 TRANSMISIONES CRITICAS					
Flota	Equipo	No Componente	HACTUAL	HACUM	Calificación
789D	0220290	02221630A	7210,04	34286,53	1,35
789D	0220292	02221802A-1	10644,75	10644,75	1,35
789D	0220636	02221636A	12435,32	12435,32	1,35
793D	0220466	02221505D	2205,82	32903,16	1,27
789C	0220255	02221412	10108,67	31008,44	1,21
789D	0220650	02221650A	4612,53	4612,53	1,18
789D	0220637	02221637A	12779,81	12779,81	1,16
789D	0220654	02221430	675,46	32695,97	1,16
793D	0220476	02221467D	441,52	29012,57	1,16
789D	0220631	02221801A	3856,22	17340,1	1,15

Figura 56. Tabla Dashboard Top 10 Transmisiones críticas.

En el siguiente grafico dinámico, expuesto la figura 58 titulada “Horas actuales VS VME”, el cual puede ser modificado dependiendo de lo que el usuario quiera visualizar, los datos son obtenidos de la tabla ubicada en la hoja “TD”, en la cual podemos encontrar la vida media esperada para el componente transmisión según la flota y el equipo en donde se encuentra ubicado el componente (Grafico de líneas ubicado en la parte superior), vs el promedio de horas de operación actual de los componentes de cada flota

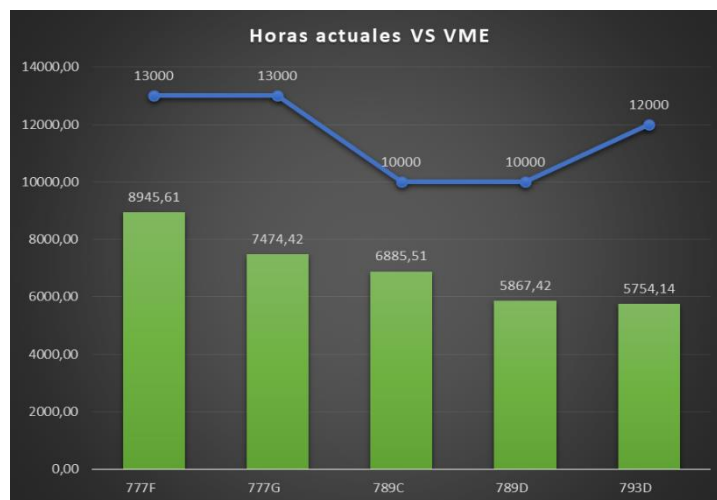


Figura 57. Gráfico Dashboard Horas actuales VS VME

El segundo gráfico, (figura 59) titulado “Transmisiones críticas por Flota”, muestra en que niveles se encuentran los 3 grupos utilizados para definir el estado de los componentes, los cuales son aceites, alarmas y vida, información consignada en la tabla “Transmisiones con mayor criticidad (Según Flota)”

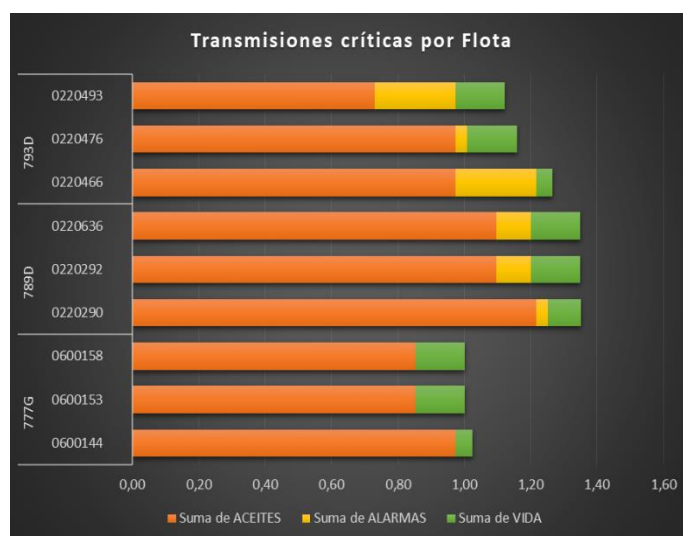


Figura 58. Gráfico Dashboard Transmisiones críticas por Flota

### 3.1.4.2. Análisis de resultados y conclusiones

En este apartado, se puede observar en la tabla 14, los principales hallazgos encontrados contrastados con la discusión del proyecto aplicado.

**Tabla 14**

*Análisis de resultados*

<b>Análisis de los Resultados</b>	<b>Discusión</b>
Se estudió la información de monitoreo de condición de la flota de camiones mecánicos del cerrejón, corroborando que no existía un sistema de información que recopilara los datos más importantes del componente transmisión, por el contrario la información se encontraba dispersa en varios reportes.	Con la consolidación de la información en un solo sistema, se proporciona una ayuda significativa para el analista de la flota, que podrá observar una síntesis de los reportes y conocer la condición actual del componente, lo que le ayudará a implementar las actividades para mejorar la vida media del componente transmisión.
Al analizar los eventos MTBS del componente transmisión, se observa que la cantidad de eventos relacionados a Aceites es mayor que la relacionada a factores de finalización de vida útil y alarmas, por lo cual se entiende que la lubricación es uno de los factores relevantes a monitorear, debido a que los principales problemas, se pueden generar en ésta área.	Un análisis de los eventos que ocurren en el componente transmisión, es relevante, debido a que se puede conocer cuáles son los principales factores que pueden generar una condición en la transmisión, y así poder asignar un valor dependiendo del grado de importancia.
Conocer el historial de las transmisiones para realizar el proceso de delimitación de las alarmas y los datos consignados en la creación de la base de datos, fue de gran importancia porque permitió percibir la diferencia entre los comportamientos normales, de advertencia y críticos de los componentes.	El grado de criticidad de un componente va ligado a diversos factores, entre ellos, hay que considerar la edad del componente, las horas que ha trabajado durante su vida útil, por lo que es necesaria la supervisión constante, y un análisis de los comportamientos que se presenten en el componente.

Fuente: Autor del proyecto (2020)

## **4 Diagnostico final**

La empresa actualmente cuenta con una herramienta tecnológica que se encarga de la recopilación y procesamiento de la información referente al componente transmisión de la flota de camiones mecánicos, dicha información abarca desde la ubicación, número de horas en funcionamiento, análisis de aceite en servicio, tareas de mantenimiento efectuadas, y costos de reparación, entre otros.

Así mismo, el analista de monitoreo de condición posee acceso a la valoración de salud de las transmisiones, la cual le sirve como soporte y permite una reducción de tiempo a la hora de la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento de los componentes, lo que favorece el proceso de aumentar la vida media del componente.

## 5 Conclusiones

El presente estudio tuvo como finalidad desarrollar una herramienta tecnológica para el componente transmisión de la flota de camiones mecánicos para la consolidación y procesamiento de la información en la empresa Carbones del Cerrejón Limited. En cumplimiento a esto, se logró recopilar, organizar y almacenar la información relevante del componente transmisión que se encontraba distribuida en los reportes del área de mantenimiento, en una herramienta Excel que proporciona una valiosa ayuda al analista de monitoreo de condición a la hora de analizar el estado actual de la transmisión.

Lo anterior fue logrado mediante el análisis de eventos MTBS, permitiendo conocer la proporción de cada categoría seleccionada para éste estudio, asimismo, se observó que los eventos vinculados al aceite tienen mayor número de incidencia en comparación con las categorías de alarmas y vida, lo que implica que se debe dar mayor importancia al monitoreo del estado del aceite, sin olvidar los demás factores vinculados, y garantizar el correcto funcionamiento del componente.

La delimitación en niveles de criticidad de la información, permitió conocer el estado de cada categoría, y determinar lo que puede estar afectando la salud de los componentes. De esta misma manera, se logró caracterizar la información obtenida a través de un dashboard, que entrega el estado actual de salud de las transmisiones que presentan mayor grado de criticidad en cada flota, y un panorama general del promedio de vida actual de los componentes.

## **6 Recomendaciones**

Se recomienda a la empresa Carbones del Cerrejón Limited, la adaptación y posterior aplicación de la presente herramienta tecnológica en el análisis de salud de los componentes que no fueron incluidos en éste estudio.

Garantizar el correcto ingreso de la información que alimenta los reportes en los cuales se soporta ésta herramienta.

Tener en cuenta los históricos de los eventos ocurridos en las transmisiones para evaluar la evolución de la salud de los componentes.

## Referencias

- Aguiar, L., & Rodríguez, H. (2014). Análisis de modos y efectos de falla para mejorar la disponibilidad operacional en la línea de producción de gaseosas No. 3. Repositoy Unilibre.  
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7838/Doc%20Final%20Proyecto%20A-rmando%20y%20Leonardo%20sustentacion.pdf?sequence=1>
- Aguilar, J., Torres, R., & Magaña, D. (2010). Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Ciencia Ed. (IMIQ) vol. 25 núm. 1.  
<https://www.redalyc.org/pdf/482/48215094003.pdf>
- ASTM International. (2013). Standard Guide for Statistically Evaluating Measurand Alarm Limits when Using Oil Analysis to Monitor Equipment and Oil for Fitness and Contamination. ASTM International.
- Campo, O., Ordosgoitia, J., y Protto, E. (2009). Sistema de gestión de mantenimiento proactivo para tren de potencia en equipos mineros de cerromatoso S.A. [Monografía de grado, Universidad industrial de Santander].  
<http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2009/129422.pdf>
- Caterpillar. (2005). Camión de minería 793D. Diseñado para proporcionar alto rendimiento, comodidad y duración. Estados Unidos.  
<https://s7d2.scene7.com/is/content/Caterpillar/C10549350>
- Caterpillar. (2007). Camión Minero 789C.

Caterpillar. (2009). Capturing Data. Delivering Results. Vims System. Caterpillar.

<https://www.cashmanequipment.com/cashmancat/media/cashman-equipment/brochures/cat-vims-system-aexc0681-01.pdf>

Caterpillar. (2011). *Camión Minero 789D*.

Caterpillar. (2012). Improving component durability - Transmissions and torque converters.

Second Edition. CATERPILLAR.

Caterpillar, G. (2013). Manual de Operación y Mantenimiento. Recomendaciones de fluidos para máquinas Caterpillar. .

Cuadros, J. R. (2018). Diseño de un plan de mantenimiento basado en rcm para incrementar la vida útil del tren de fuerza de camiones de acarreo marca caterpillar modelo 793D en sociedad minera cerro verde. Arequipa Perú: Universidad nacional de San Agustín de Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7747>

Echevarría Huamán, E. F., & Echevarría Huamán, M. E. (2018). Implementación del sistema MineCare para la mejora en la disponibilidad de la flota de acarreo KOMATSU 930E de la Cía. Minera Antamina. <https://bit.ly/3hnVV4d>

Estupiñan, E., & Saavedra, P. (2003). Alcances de la implementación de nuevas tecnicas de análisis en los programas de mantenimiento predictivo-proactivo en la industria. Chile. [http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO\\_archivos/Tecnicas%20mantenimiento%20predictivo%20DE%20ACIEM.ORG.pdf](http://www.mantenimientoplanificado.com/art%C3%ADculos%20PREDICTIVO_archivos/Tecnicas%20mantenimiento%20predictivo%20DE%20ACIEM.ORG.pdf)



- Fracttal. (s.f). Disponibilidad total y por fallas - Indicadores clave en la gestión de mantenimiento. <https://www.fracttal.com/blog/disponibilidad-confiabilidad-indicadores-gestion-mantenimiento>
- Fernández, D. (2016). Estudio de la transmisión de vibraciones por impacto en las losas de hormigón y mortero. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid].  
[http://oa.upm.es/42326/1/DANIEL\\_FERRANDEZ\\_VEGA.pdf](http://oa.upm.es/42326/1/DANIEL_FERRANDEZ_VEGA.pdf)
- Garcia, O. (2006). El mantenimiento general. De Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia: Uptc. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1297/1/RED-70.pdf>
- Ground Control. (2020). Descubra la nueva gama Zaxis-7. Revista Hitachi, Núm.29.  
[https://www.hitachicm.eu/wp-content/uploads/2020/05/GC29\\_SPANISH.pdf](https://www.hitachicm.eu/wp-content/uploads/2020/05/GC29_SPANISH.pdf)
- FERREYROS S.A.A. (2004). Manual del estudiante, Camiones pequeños de Minería .  
[https://es.slideshare.net/jcd\\_9\\_1/manual-estudiantecamionesmineroscat](https://es.slideshare.net/jcd_9_1/manual-estudiantecamionesmineroscat)
- Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. (2019). Oil Condition Monitoring System.  
<file:///C:/Users/LINDA/Downloads/09115661.pdf>
- Hitachi Construction Machinery Co., Ltd. (s.f.). Hitachi. Obtenido de  
<https://www.hitachicm.eu/service/global-e-service/>
- INTERNATIONAL STANDART ISO 55000. (2014). Asset management — Overview, principles and terminology.
- ISO. (2014). Asset management — Overview, principles and terminology. ISO, 19.

ISO Internacional . (2016). Norma internacional ISO 14224:2016, Estándar internacional para la recolección e intercambio de datos de mantenibilidad y fiabilidad de equipos. ISO Internacional .

Komatsu. (2018). *Komatsu-Mitsui Perú*. Obtenido de <http://komatsu.pe/index.php/monitoreo-komtrax/que-es-komtrax>

Lean Six Sigma Institute. (2017). *Black belt*.

Linero Bolaño, C. A., & Otero Fernandez, A. F. (2014). Modelo de mantenimiento basado en confiabilidad (rcm) para la flota de camiones 789c caterpillar y su impacto en la disponibilidad en una empresa del sector minero en el departamento del cesar (prodeco – calenturitas). Bucaramanga : UIS.

Luna Quispe, J. I. (2017). Plan de monitoreo por condiciones en el mantenimiento de componentes mayores de camiones 797F en minera Chinalco Perú. Huancayo - Perú: Universidad Nacional del centro de Perú.

Ministerio de Minas y Energía. (2003). Glosario técnico minero.  
<https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/glosariominero.pdf>

Ministerio de Minas y Energía y Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Guía minero ambiental-explotación.  
<https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/865/2/2%20Gu%C3%ADa%20minero%20ambiental%20-%20Explotaci%C3%B3n.pdf>

Noria. (2004). Oil Analysis Basics en español. México: Noria Latín América. Noria. (2004). *Oil Analysis Basics en español*. México: Noria Latín América.

- Neita, Y., & Peña, E. (2011). Principios básicos de la termografía infrarroja y su utilización como técnica para mantenimiento predictivo. [Monografía de especialización, Universidad Ponifica Bolivariana].  
[http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital\\_20999.pdf](http://biblioteca.upbbga.edu.co/docs/digital_20999.pdf)
- Patiño Benavides, C. R., & Betancourt Coronado, Y. E. (2014). RCM para un sistema de transmisión de potencia para los camiones de reparto de coca cola femsa. . Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander UIS.
- Peters, R. (2015). Reliable Maintenance Planning, Estimating, and Scheduling. kidlington UK: Elsevier. Obtenido de  
<https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=VCCOAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Reliable+Maintenance+Planning,+Estimating,+and+Scheduling+pdf&ots=jObs1hLR0S&sig=77a5pwyoik438UVchBFub50DN20#v=onepage&q=failure&f=false>
- Riquelme Hernández, M. (2013). Proyecto en monitoreo de condiciones para mantenimiento predictivo de palas electromecánicas. Disponible en  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/11501>
- Sánchez Arévalo, L. M., & Bula Parody, R. M. (2009). Diseño de un proceso de generación automática de acciones correctivas para el mejoramiento en la gestión de mantenimiento de camiones mineros en la empresa drummond ltda. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Widman, R. (2006). El funcionamiento y cuidado de la transmisión automática. Boletín #50 de Widman International SRL. <https://www.widman.biz/boletines/50.php>

## Apéndices

### Apéndice A. Especificaciones Técnicas de los Camiones de minería

#### Especificaciones Técnicas del Camión Caterpillar 793D

<b>Motor</b>		
Modelo de motor	Cat 3516B HD EUI	
Potencia nominal	1.750 RPM	
Potencia bruta – SAE J1995	1715 kW	2300 hp
Potencia neta – SAE J1349	1599 kW	2144 hp
Potencia neta – ISO 9249	1615 kW	2166 hp
Potencia neta – 80/1269/EEC	1615 kW	2166 hp
Reserva de par	23%	
Calibre	170 mm	6,7 pulg
Carrera	190mm	7.5 pulg
Cilindrada	78 L	4,763 pulg <sup>3</sup>

<b>Pesos – aproximados</b>		
Peso bruto de la máquina en operación	384 000 kg	846.000 lb
Peso del chasis	114 300 kg	252,000 lb
Gama de pesos de la caja	21.795 – 54.431 kg/ 48.050 – 120.000 lb	

<b>Suspensión</b>		
Carrera efectiva del cilindro – delantero	318 mm	12,5 pulg
Carrera efectiva del cilindro – trasero	165 mm	6,5 pulg
Eje trasero – oscilación	± 4,9°	

<b>Frenos</b>		
Superficie de freno – trasero	224,317 cm <sup>2</sup>	34,769 pulg <sup>2</sup>
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450:1996	

<b>Transmisión</b>		
Avance 1	11,8 kph	7,3 mph
Avance 2	15,9 kph	9,9 mph
Avance 3	21,5 kph	13,4 mph
Avance 4	29 kph	18,1 mph
Avance 5	39,4 kph	24,5 mph
Avance 6	54,3 kph	33,7 mph
Retroceso	10,9 kph	6,8 mph

<b>Mandos finales</b>	
Relación de diferencial	1:8:1
Relación de planetario	16:1
Relación de reducción total	28.8:1

<b>Sistemas de levantamiento de la caja</b>		
Flujo de la bomba – alto vacío	739 L/min	195 gal/min
Ajuste de la válvula de alivio – levantamiento	20.370 kPa	2.955 lb/pulg <sup>2</sup>
Tiempo de subida de la caja – alto vacío	20,25 Segundos	
Tiempo de bajada de la caja – libre	19,26 Segundos	
Bajada automática de la caja – alto vacío	17,51 Segundos	

Fuente: Catálogo Camión de minería 793D (Caterpillar, 2005)

## Especificaciones Técnicas del Camión Caterpillar 789D

### Motor

Modelo de motor	Cat 3516B HD EUI	
Potencia nominal	1.750 RPM	
Potencia bruta – SAE J1995	1.801 kW	2.415 hp
Potencia neta – SAE J1349	1.743 kW	2.337 hp
Potencia neta – ISO 9249	1.743 kW	2.337 hp
Potencia neta – 80/1269/EEC	1.743 kW	2.337 hp
Reserva de par	23%	
Calibre	170 mm	6,7 pulg
Carrera	215 mm	8,5 pulg
Cilindrada	78 L	4.760 pulg <sup>3</sup>

### Pesos – aproximados

Peso bruto de la máquina en operación	383.749 kg	846.000 lb
Peso del chasis	116.707 kg	257.294 lb
Gama de pesos de la caja	21.795 – 54.431 kg/ 48.050 – 120.000 lb	

### Especificaciones de operación

Capacidad nominal de carga útil	218 toneladas métricas	240 toneladas cortas
Capacidad de la caja – SAE (2:1)	129 m <sup>3</sup>	169 yd <sup>3</sup>
Capacidad máxima	Especial	
Velocidad máxima-con carga	54,3 kph	33,7 mph
Ángulo de la dirección	36 Grados	
Radio de giro – delantero	28,42 m	93,2 pie
Diámetro del círculo de giro	32,66 m	107,15 pie

### Suspensión

Carrera efectiva del cilindro – delantero	130,5 mm	5,2 pulg
Carrera efectiva del cilindro – trasero	105,5 mm	4,2 pulg
Eje trasero – oscilación	± 4,9°	

### Frenos

Diámetro externo	874,5 mm	34,5 pulg
Superficie de freno – delantero	89.817 cm <sup>2</sup>	13.921 pulg <sup>2</sup>
Superficie de freno – trasero	134.500 cm <sup>2</sup>	20.847 pulg <sup>2</sup>
Normas	J-ISO 3450 JAN88, ISO 3450:1996	

### Transmisión

Avance 1	11,8 kph	7,3 mph
Avance 2	15,9 kph	9,9 mph
Avance 3	21,5 kph	13,4 mph
Avance 4	29 kph	18,1 mph
Avance 5	39,4 kph	24,5 mph
Avance 6	54,3 kph	33,7 mph
Retroceso	10,9 kph	6,8 mph

### Mandos finales

Relación de diferencial	1:8:1
Relación de planetario	16:1
Relación de reducción total	28:8:1

### Sistemas de levantamiento de la caja

Flujo de la bomba – alto vacío	846 L/min	224 gal/min
Ajuste de la válvula de alivio – levantamiento	20.370 kPa	2.955 lb/pulg <sup>2</sup>
Tiempo de subida de la caja – alto vacío	20,25 Segundos	
Tiempo de bajada de la caja – libre	19,26 Segundos	
Bajada automática de la caja – alto vacío	17,51 Segundos	

Fuente: Catálogo Camión Minero 789D (Caterpillar, 2011)

## Especificaciones Técnicas del Camión Caterpillar 789C

<b>Motor</b>		
Modelo de Motor	Cat 3516B EUI	
Potencia bruta – SAE J1995	1.417 kW	1.900 hp
Potencia neta – SAE J1349	1.320 kW	1.771 hp
Potencia neta – ISO 9249	1.335 kW	1.791 hp
Potencia neta – 80/1269/EEC	1.335 kW	1.791 hp
Perforación	170 mm	6,7 pulg
Carrera	190 mm	7,5 pulg
Cilindrada	69 L	4.211 pulg <sup>3</sup>

### Pesos – aproximados

Peso bruto de la máquina en orden de trabajo 317.515 kg 700.000 lb

<b>Especificaciones de operación</b>		
Capacidad de carga útil nominal	177 tons métricas	195 tons EE.UU.
Capacidad de la caja (SAE 2:1)	105 m <sup>3</sup>	137 yd <sup>3</sup>
Capacidad máxima	Personalizado	
Velocidad máxima – cargado	52,6 km/h	32,7 mph
Ángulo de dirección	36°	
Diámetro de giro – delantero	27,5 m	90 pies 2 pulg
Diámetro de giro de espacio libre	30,2 m	99 pies 2 pulg

<b>Frenos</b>		
Superficie de freno – delantera	81.693 cm <sup>2</sup>	12.662 pulg <sup>2</sup>
Superficie de freno – trasera	116.283 cm <sup>2</sup>	18.024 pulg <sup>2</sup>
Normas	SAE J1473 OCT90 ISO 3450:1996	

<b>Transmisión</b>		
Avance 1	11,6 km/h	7,2 mph
Avance 2	15,7 km/h	9,8 mph
Avance 3	21,3 km/h	13,2 mph
Avance 4	28,7 km/h	17,8 mph
Avance 5	38,9 km/h	24,2 mph
Avance 6	52,6 km/h	32,7 mph
Retroceso	10,5 km/h	6,5 mph

<b>Mandos finales</b>	
Relación diferencial	2,35:1
Relación planetaria	10,83:1
Relación de reducción total	25,46 1

<b>Suspensión</b>		
Carrera del cilindro eficaz – delantera	105 mm	4 pulg
Carrera del cilindro eficaz – trasera	93 mm	3,5 pulg
Oscilación del eje trasero	±5,6°	

<b>Dispositivos de levantamiento de cajas</b>		
Flujo de la bomba – velocidad alta en vacío	731 L/min	193 gal EE.UU./min
Configuración de la válvula de alivio – levantamiento	17.238 kPa 2.500 lb/pulg <sup>2</sup>	
Tiempo de levantamiento de la caja – velocidad alta en vacío	18,9 segundos	
Tiempo de bajada de la caja – posición libre	17,3 segundos	
Disminución de la potencia de la caja – velocidad alta en vacío	15,6 segundos	

Fuente: Catálogo Camión Minero 789C (Caterpillar, 2007)

## Apéndice B. Pestaña Inicio, interfaz de usuario del sistema de información en Excel

BASE DE DATOS TRAN CAM MECAxlsm - Excel


ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

U19

**BASE DE DATOS PARA EL COMPONENTE  
TRANSMISIÓN DE LA FLOTA DE CAMIONES  
MECÁNICOS**

En esta base de datos podrá encontrar la información correspondiente al componente transmisión de la flota de camiones mecánicos, además de un resumen que corresponde a las transmisiones que presentan las condiciones más críticas. A continuación, se muestra la definición de los datos presentes en cada columna de éste documento:

Para iniciar un nuevo reporte haga Click en el siguiente botón



1. Fecha de instalación: Me indica la fecha de instalación del componente en el equipo.
2. Componente: Me indica el número del componente instalado.
3. HACTUAL TRAN: Me indica las Horas Actuales del componente transmisión en el equipo  
  
 Procedencia: Me indica de donde proviene la reconstrucción del componente, este valor se asigna en base a la reparación anterior. Puede tomar los siguientes valores:
  - Nuevo: Cuando el componente no ha tenido reconstrucciones, o tuvo un Exchanged.
  - Interno: Cuando su transacción es un Rebuilt Onsite.
  - Externo: Cuando su transacción es un Rebuilt Offsite.
5. HACTUAL CONV: Me indica las Horas Actuales del componente convertidor en el equipo
6. Ultimo PM: Me indica la última fecha de ejecución de un PM en el componente transmisión.
7. Ultima Calibración: Me indica la última fecha de ejecución de una calibración en el componente transmisión.
8. Análisis de aceite: Me muestra los resultados del último análisis de aceites provenientes del software Trakka, contiene los siguientes campos:
  - Fecha de Observación Trakka
  - Valoración de la observación
  - Grado de Trakka

9. Consumo de Aceite SAE 30: Me indica el último consumo de aceite del componente transmisión.  
  
 No de Rellenos SAE 30: Me indica el número de rellenos de aceite SAE 30, determinado según el periodo de tiempo con que se ejecute el reporte MTO-Consumo Aceite por Componente.
10. Alarmas: Me indica la cantidad de alarmas producidas en los últimos 7 días, están divididas en dos secciones, que son:
  - Alarmas de Tendencia.
  - Alarmas de Fabricante.
12. Costos Horarios: Me indica la relación entre Costo Totales De OT Rebuilt Anterior y Hrs Acum Stat

Inicio Base de Datos RESUMEN TD PVM Pcri

LISTO 100%



### Apéndice C. Pestaña Base de Datos, interfaz de usuario del sistema de información.

BASE DE DATOS TRAN CAM MECA.xlsm - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

AT5

BASE DE DATOS PARA EL COMPONENTE TRANSMISIÓN DE LA FLOTA DE CAMIONES MECÁNICOS															
BASE DE DATOS															
Flota	Equipo	Fecha de instalación	Componente TRAN	Cod Comp	HACTUAL TRAN	Procedencia	HACTUAL CONV	Componente CONV	Ultimo PM	Ultima Calibración	Fecha de Observación Trakka	Valoración de la observación	Grado de Trakka	Valoración del Estado Asignado	Modo de Falla
789D	0220636	may 29, 2018	02221636A	TRAN	12596.33		12596.33	02222636A			23/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
777G	0600153	jul 22, 2020	06021151	TRAN	121.19	INTERNO	121.19	06022142			20/08/2020	Critico	Critico	Advertencia	Ninguna falta identificado
789D	0220291	may 13, 2019	02221805A	TRAN	6262.62		8343.87	02222291A			31/07/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
789D	0220299	abr 16, 2019	02221632A	TRAN	4522.06	INTERNO	7146.54	02222902A			23/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
793D	0220462	abr 14, 2018	02221427D	TRAN	11515.97	INTERNO	3630.77	02222438D			12/08/2020	Normal	Critico	Advertencia	Alta cuenta de particula
789C	0220255	sep 10, 2018	02221412	TRAN	10285.59		10342.01	02222281C	2020/07/17 17:12	2020/07/17 17:12	5/08/2020	Critico	Advertencia	Normal	Ninguna falta identificado
789D	0220292	may 16, 2018	02221802A-1	TRAN	10819.57		6336.25	02222632A			29/07/2020	Critico	Critico	Advertencia	Alta cuenta de particula
789D	0220638	ene 9, 2019	02221638A	TRAN	9326.62		9326.62	02222638A			24/07/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
777F	0600137	jul 9, 2018	06021128	TRAN	11812.4	INTERNO	5116.31	06022135			7/08/2020	Critico	Critico	Advertencia	Ninguna falta identificado
789D	0220631	jul 10, 2019	02221801A	TRAN	3957.05	INTERNO	3714.66	02222294A			16/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
789D	0220651	oct 2, 2019	02221651A	TRAN	4263.52		4263.52	02222651A			31/07/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
789D	0220653	nov 1, 2019	02221653A	TRAN	4213.76		4213.76	02222653A			25/07/2020	Critico	Normal	Normal	Alta cuenta de particula
789C	0220251	feb 26, 2019	02221431	TRAN	7657.73	INTERNO	7657.73	02222202			28/07/2020	Critico	Advertencia	Normal	Ninguna falta identificado
789C	0220266	mar 20, 2019	02221504	TRAN	8103.82		9665.31	02222292C			19/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
789D	0220290	feb 4, 2019	02221630A	TRAN	7357.31	NUEVO	8121.47	02222299A			27/07/2020	Critico	Advertencia	Normal	Ninguna falta identificado
789D	0220641	may 22, 2019	02221641A	TRAN	6915.29		6915.29	02222641A	2020/02/06 13:47		8/08/2020	Critico	Normal	Normal	Ninguna falta identificado
793D	0220483	abr 13, 2019	02221472D	TRAN	6452.83	INTERNO	5941.41	02222422D			23/07/2020	Normal	Critico	Advertencia	Alta cuenta de particula
789C	0220253	feb 16, 2020	02221261C	TRAN	2665.49	EXTERNO	6954.59	02222256C			23/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
789C	0220278	jun 20, 2019	02221291C	TRAN	6451.55		6451.55	02222261C	2020/07/08 14:50		4/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
793D	0220446	ago 8, 2019	02221490D	TRAN	4595.09	INTERNO	4595.09	02222911D			26/07/2020	Normal	Advertencia	Advertencia	Transferencia fluida
777G	0600155	feb 19, 2020	06021903G	TRAN	2054.55	NUEVO	15088.46	06022155			9/08/2020	Critico	Critico	Critico	Ninguna falta identificado
789C	0220254	nov 29, 2019	02221265C	TRAN	4090.28	INTERNO	4090.28	02222282C			4/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
793D	0220479	jul 29, 2020	02221396D	TRAN	293.46	INTERNO	293.46	02222454D			9/08/2020	Normal	Critico	Advertencia	Ninguna falta identificado
789D	0220637	may 17, 2018	02221637A	TRAN	12940.49		12940.49	02222637A			4/08/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
793D	0220502	jul 9, 2020	02221497D	TRAN	807.62	INTERNO	4281.7	02222453D			10/08/2020	Normal	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
789D	0220645	nov 29, 2019	02221290A	TRAN	3839.79	INTERNO	5287.74	02222645A			27/07/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
793D	0220466	dic 28, 2019	02221505D	TRAN	2433.29	INTERNO	13276.89	02222458D			23/07/2020	Normal	Critico	Advertencia	Alta cuenta de particula
793D	0220493	jul 22, 2020	02221440D	TRAN	473.69	INTERNO	1621.41	02222489D			12/08/2020	Normal	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de particula
789D	0220639	ene 10, 2019	02221639A	TRAN	8944.84		8944.84	02222639A			17/08/2020	Critico	Advertencia	Normal	Alta cuenta de particula
793D	0220501	jul 12, 2020	02221924D	TRAN	693.47	NUEVO	693.47	02222478D			8/08/2020	Normal	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado
777G	0600158	abr 11, 2018	06021158	TRAN	14172.66		14172.66	06022158			2/08/2020	Critico	Critico	Advertencia	Alta cuenta de particula
789D	0220647	sep 5, 2019	02221647A	TRAN	5062.88		5062.88	02222647A			9/08/2020	Critico	Normal	Normal	Alta cuenta de particula
789D	0220648	ago 6, 2019	02221648A	TRAN	5835.67		5835.67	02222648A			13/08/2020	Critico	Advertencia	Normal	Alta cuenta de particula
789D	0220650	oct 2, 2019	02221650A	TRAN	4809.57		4809.57	02222650A	2020/05/26 20:51		27/07/2020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado

Inicio Base de Datos RESUMEN TD PVM PcrI (+)

LISTO 99%



### Apéndice D. Pestaña Resumen, Interfaz de usuario del sistema de información.

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR

BASE DE DATOS TRAN CAM MECA.xlsx - Excel

DS27

**BASE DE DATOS PARA EL COMPONENTE TRANSMISIÓN DE LA FLOTA DE CAMIONES MECÁNICOS**  
**Resumen Transmisiones Críticas**

**TRANSMISIONES CON MAYOR CRITICIDAD (Según Flota)**

Flota	Equipo	Fecha de instalación	Componente TRAN	Cod Comp	HACTUAL TRAN	Procedencia	HACTUAL CONV	Componente CONV	Ultimo PM	Ultima Calibración	Fecha de Observación Trakka	Valoración de la observación	Grado de Trakka	Valoración del Estado Asignada	Modo de Falla	Consumo de Aceite SAE 30	No de Rellenos SAE 30	Alta temperatura	Deslizamientos	Gear Select Active
777G	0600153	jul 22, 2020	06021151	TRAN	121.19	INTERNO	121.19	06022142			20092020	Critico	Critico	Advertencia	Ninguna falta identificado	46				
777F	0600137	jul 9, 2018	06021128	TRAN	1812.4	INTERNO	5116.31	06022135			7092020	Critico	Critico	Advertencia	Ninguna falta identificado	24				
777G	0600155	Feb 19, 2020	06021903G	TRAN	2054.55	NUEVO	15089.46	06022155			9092020	Critico	Critico	Critico	Ninguna falta identificado					
789D	0220636	may 29, 2018	02221636A	TRAN	12596.33		12596.33	02222636A			23092020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado	42		2	18	
789D	0220291	may 13, 2019	02221805A	TRAN	6262.62		6343.97	02222291A			31072020	Critico	Advertencia	Advertencia	Ninguna falta identificado	41	1	1		
789D	0220299	abr 16, 2019	02221632A	TRAN	4522.06	INTERNO	7146.54	02222902A			23092020	Critico	Advertencia	Advertencia	Alta cuenta de partícula	30			6	
793D	0220462	abr 14, 2018	02221427D	TRAN	11515.97	INTERNO	3630.77	02222438D			12082020	Normal	Critico	Advertencia	Alta cuenta de partícula	37		2		
793D	0220483	abr 13, 2019	02221472D	TRAN	6452.83	INTERNO	5941.41	02222422D			23072020	Normal	Critico	Advertencia	Alta cuenta de partícula	39		21		
793D	0220446	ago 8, 2019	02221490D	TRAN	4595.09	INTERNO	4595.09	0222291D			26072020	Normal	Advertencia	Advertencia	Transferencia fluida	57				

**TOP 10 TRANSMISIONES CRITICAS**

Flota	Equipo	No Componente	HACTUAL	HACUM	Calificación
789D	0220636	02221636A	12596.33	12596.33	1.35
777G	0600153	06021151	121.19	21987.66	1.31
789D	0220291	02221805A	6262.62	6262.62	1.28
789D	0220299	02221632A	4522.06	29070.17	1.25
793D	0220462	02221427D	11515.97	40376.44	1.24
789C	0220295	02221412	10295.59	31185.36	1.23
789D	0220292	02221802A-1	10819.57	10819.57	1.23
789D	0220638	02221638A	9326.62	9326.62	1.23
777F	0600137	06021128	1812.4	57255.74	1.19
789D	0220631	02221801A	3957.05	77440.93	1.16

Promedio de HACTUAL... Promedio de VIDA MEDIA...

Suma de ACE... Suma de ALARM... Suma de Vi...

Inicio Base de Datos RESUMEN TD PVM Pcrl

LISTO 80%

**Apéndice E. Sistema de información en Excel.**

Para acceder al sistema de información actualizado del sistema de información Base de Datos para Componente Transmisión, dar clic al siguiente enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1mw2jgwSTxDeq6l3VTAgV0R3in6JZuywU?usp=sharing>