



UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS
DIESEL VOLVO PENTA DE 500 kW DE LA EMPRESA RD
RENTAL S.A.C. – LA VICTORIA – CHICLAYO – LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. CARLOS HUMBERTO BURGA SALDARRIAGA

Asesor:

Ing. CARLOS JAVIER COTRINA SAAVEDRA

LAMBAYEQUE – PERÚ

Febrero del 2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
“PEDRO RUIZ GALLO”**



Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para Optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO
EN LA CONFIABILIDAD (RCM) PARA GRUPOS
ELECTRÓGENOS DIESEL VOLVO PENTA DE 500 kW DE LA
EMPRESA RD RENTAL S.A.C. – LA VICTORIA – CHICLAYO –
LAMBAYEQUE”**

Autor:

Bach. CARLOS HUMBERTO BURGA SALDARRIAGA

Aprobado por el Jurado Examinador

PRESIDENTE : Msc. Juan Antonio Tumialán Hinostroza

SECRETARIO : Dr. Daniel Carranza Montenegro

VOCAL : Ing. Percy Niño Vásquez

ASESOR : Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra

Lambayeque – Perú

Febrero del 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica



V PROGRAMA DE TITULACIÓN PROFESIONAL EXTRAORDINARIA

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

TITULO

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA
CONFIABILIDAD (RCM) PARA GRUPOS ELECTRÓGENOS DIESEL VOLVO
PENTA DE 500 KW DE LA EMPRESA RD RENTAL S.A.C. – LA VICTORIA –
CHICLAYO – LAMBAYEQUE”**

CONTENIDOS

CAPITULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.

CAPITULO II: MARCO TEORICO.

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

CAPITULO V: EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANEXOS

Autor: Bach. CARLOS HUMBERTO BURGA SALDARRIAGA

PRESIDENTE

SECRETARIO

VOCAL

ASESOR

Lambayeque – Perú

Febrero del 2019

DEDICATORIA

Este trabajo de suficiencia profesional está dedicado a mis padres, Lily y Humberto, por su apoyo incondicional, por sus consejos, sus valores y por la motivación constante que me han permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis familiares por su cariño constante y sus ánimos para poder seguir perseverando en la lucha por la consecución de mis deseos personales y profesionales.

AGRADECIMIENTO

En estas líneas quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta investigación y que de alguna manera estuvieron conmigo en los momentos difíciles, alegres y tristes. Estas palabras son para ustedes. A mis padres por todo su amor, comprensión y apoyo, pero sobre todo gracias infinitas por la paciencia que me han tenido. No tengo palabras para agradecerles las incontables veces que me brindaron su apoyo en todas las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida, unas buenas, otras malas. Gracias por darme la libertad de desenvolverme como ser humano.

Agradezco mucho por la ayuda a mis maestros, mis compañeros, y a la Universidad en general por todo lo anterior en conjunto con todos los copiosos conocimientos que me han otorgado.

Agradezco a mi asesor Ing. Carlos Javier Cotrina Saavedra, por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de este trabajo de suficiencia profesional, por su apoyo y amistad.

RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia profesional, se propone un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta. En los años 2016, 2017 y 2018, (mayor cantidad en el 2018) hubieron reportes por parte de los clientes a los cuales fueron alquilados los grupos electrógenos diésel, de fallas que ocurrieron durante la operación de los mismos, provocando que se efectúen descuentos en las valorizaciones finales del alquiler. En primer lugar se realizó el análisis de la información recopilada en los historiales de mantenimiento de los 7 grupos electrógenos que se tiene en la sede Chiclayo definiendo los valores de MTBF y MTTR así como las horas y cantidad de fallas ocurridas durante los años 2016, 2017 y 2018. Luego se realizó el análisis de modos de falla y efectos para los sistemas que conforman un grupo electrógeno diésel y por último se propuso un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para los grupos electrógenos de tal manera que se puedan disminuir las fallas que se presentan y poder aumentar la confiabilidad operacional para tener una buena relación con el cliente.

Palabras clave: confiabilidad, AMFE, RCM, grupo electrógeno.

ABSTRACT

In the present professional proficiency test, a maintenance plan based on the RCM methodology is proposed for the Volvo Penta 500 kW diesel generator sets. In the years 2016, 2017 and 2018, (more in 2018) there were reports by the customers to whom the diesel generator sets were leased, of faults that occurred during the operation of the same, causing discounts to be made in the final valuations of the rent. In the first place, the analysis of the information collected in the maintenance records of the 7 generating groups held at the Chiclayo site was carried out, defining the values of MTBF and MTTR as well as the hours and number of failures that occurred during the years 2016, 2017 and 2018. Then the failure modes and effects analysis was performed for the systems that make up a diesel generator set and finally a maintenance plan was proposed based on the RCM methodology for the generator sets in such a way that faults can be reduced that are presented and can increase the operational reliability to have a good relationship with the client.

.Keywords: reliability, FMEA, RCM, generator set.

ÍNDICE

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XV
CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Realidad Problemática	1
1.2. Formulación del Problema	2
1.3. Delimitación de la Investigación	2
1.4. Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.5. Limitaciones de la Investigación	4
1.6. Objetivos	4
1.6.1. Objetivo General	4
1.6.2. Objetivo Específicos	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de Estudios	6
2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado	10
2.2.1. Grupo Electrógeno	10
2.2.1.1. Definición	10
2.2.2. Motor de Combustión Interna	11

2.2.2.1. Definición.....	11
2.2.2.2. Motores de combustión interna diésel	12
2.2.3. Generador Síncrono	15
2.2.3.1. Definición.....	15
2.2.4. Mantenimiento	16
2.2.4.1. Definición.....	16
2.2.4.2. Evolución del mantenimiento	17
2.2.4.3. Tipos	21
2.2.4.4. Indicadores del Mantenimiento	22
2.2.4.5. Confiabilidad operacional	24
2.2.5. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)	26
2.2.5.1. Definición.....	26
2.2.5.2. Objetivo del RCM	27
2.2.5.3. Principios y normas del RCM.....	28
2.2.5.4. Conceptos del RCM.....	30
2.2.5.5. Pasos para la realización del RCM	31
2.2.5.6. Beneficios del RCM	32
2.3. Definición conceptual de la terminología empleada	33
2.4. Proceso de alquiler de equipos de RD Rental S.A.C.....	34
2.5. Descripción de los sistemas y componentes.....	37
2.5.1. Sistema de admisión y escape de aire.....	37
2.5.2. Sistema de alimentación de combustible	38
2.5.3. Sistema de encendido	40
2.5.4. Sistema de refrigeración	42

2.5.5. Sistema de Lubricación.....	45
2.5.6. Sistema electrónico/eléctrico	47
2.5.7. Sistema de distribución.....	48
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	52
3.1. Tipo y diseño de investigación	52
3.2. Población y muestra	52
3.3. Hipótesis	53
3.4. Variables – Operacionalización.....	54
3.5. Métodos y Técnicas de investigación.....	55
3.6. Descripción de los instrumentos utilizados.....	56
3.7. Gráficos Estadístico	57
3.7.1.1. Gráfico lineal.....	57
3.7.1.2. Gráfico de barras.....	57
CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	58
4.1. Propuesta de la investigación	58
4.1.1. Aplicación de la metodología RCM al grupo electrógeno diésel de 500kW Volvo Penta.....	61
4.1.1.1. Límites del sistema	61
4.1.1.2. Diagrama Funcional.....	62
4.1.1.3. Análisis de modos de fallas y efectos	63
CAPITULO V: EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	66
5.1. Eventos de fallas ocurridos en los grupos electrógenos.....	66

5.1.1. Eventos de falla ocurridos en los grupos electrógenos diésel en el 2016	66
5.1.2. Eventos de falla ocurridos en los grupos electrógenos diésel en el 2017	68
5.1.3. Eventos de falla ocurridos en los grupos electrógenos diésel en el 2018	70
5.2. Resultados en tablas y gráficos	75
5.2.1. Valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos diésel en el año 2016	75
5.2.2. Valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos diésel en el año 2017	79
5.2.3. Valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos diésel en el año 2018	84
5.2.4. Plan de mantenimiento propuesto el grupo electrógeno diésel de 500 kW	91
5.3. Discusión de los resultados	93
5.3.1. Resultados de la recopilación de los eventos de fallas	93
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
6.1. Conclusiones	95
6.2. Recomendaciones	96
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
ANEXOS.....	101
Anexo N°1: Ficha técnica – GI500-13.....	101

Anexo N°2: Ficha técnica – GI500-11	101
Anexo N°3: Ficha técnica – GI500-12	102
Anexo N°4: Ficha técnica – GI500-09	102
Anexo N°5: Ficha técnica – GI500-08	103
Anexo N°6: Ficha técnica – GI500-02	103
Anexo N°7: Ficha técnica – G500-09	104
Anexo N°8: Circuito del sistema de admisión y escape de aire	105
Anexo N°9: Circuito del sistema de alimentación de combustible	106
Anexo N°10: Circuito del sistema de refrigeración	107
Anexo N°11: Circuito del sistema de lubricación	108
Anexo N°12: Ubicación de sensores electrónicos	109
Anexo N°13: Lista de sensores	110
Anexo N°14: Piñones del sistema de distribución	110
Anexo N°15: Comparación del número de desconexiones por mes de los años 2016, 2017 y 2018.	111
Anexo N°15: Comparación del número de horas de inoperatividad por mes de los años 2016, 2017 y 2018.	112
Anexo N°16: Plan de mantenimiento actual para los grupos electrógenos de 500 kW	113
Anexo N°17: Especificaciones técnicas del sistema de refrigeración	114
Anexo N°18: Especificaciones de la calidad de agua recomendada para el sistema de refrigeración.....	114

Anexo N°19: Especificaciones técnicas del sistema eléctrico	115
Anexo N°20: Especificaciones técnicas del sistema de combustible.....	115
Anexo N°21: Especificaciones técnicas recomendadas del combustible	116
Anexo N°22: Especificaciones técnicas del sistema de lubricación.....	117
Anexo N°23: Especificaciones técnicas recomendadas del aceite	117
Anexo N°24: Especificaciones técnicas del motor.....	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1: Variables de estudio	54
Tabla N°2: Listado de equipos en estudio	60
Tabla N°3: Análisis de modos de falla y efectos del grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 1	63
Tabla N°4: Análisis de modos de falla y efectos del grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 2	64
Tabla N°5: Análisis de modos de falla y efectos del grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 3	65
Tabla N°6: Eventos de falla – GI500-02 en el 2016.....	66
Tabla N°7: Eventos de falla – GI500-08 en el 2016.....	67
Tabla N°8: Eventos de falla – GI500-12 en el 2016.....	67
Tabla N°9: Eventos de falla – GI500-11 en el 2016.....	67
Tabla N°10: Eventos de falla – GI500-02 en el 2017.....	68
Tabla N°11: Eventos de falla – GI500-13 en el 2017.....	68
Tabla N°12: Eventos de falla – GI500-09 en el 2017.....	69
Tabla N°13: Eventos de falla – GI500-12 en el 2017.....	69
Tabla N°14: Eventos de falla – GI500-11 en el 2017.....	70
Tabla N°15: Eventos de falla – G500-09 en el 2018.....	71
Tabla N°16: Eventos de falla – GI500-02 en el 2018.....	71
Tabla N°17: Eventos de falla – GI500-13 en el 2018.....	72
Tabla N°18 : Eventos de falla – GI500-08 en el 2018.....	72
Tabla N°19: Eventos de falla – GI500-09 en el 2018.....	73
Tabla N°20: Eventos de falla – GI500-12 en el 2018.....	74
Tabla N°21: Eventos de falla – GI500-11 en el 2018.....	74

Tabla N°22: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-02 en el 2016	75
Tabla N°23: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-08 en el 2016	76
Tabla N°24: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-12 en el 2016	77
Tabla N°25: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-11 en el 2016	78
Tabla N°26: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-02 en el 2017	79
Tabla N°27: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-13 en el 2017	80
Tabla N°28: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-09 en el 2017	81
Tabla N°29: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-12 en el 2017	82
Tabla N°30: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-11 en el 2017	83
Tabla N°31: MTBF y MTTR del grupo electrógeno G500-09 en el 2018	84
Tabla N°32: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-02 en el 2018	85
Tabla N°33: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-13 en el 2018	86
Tabla N°34: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-08 en el 2018	87
Tabla N°35: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-09 en el 2018	88
Tabla N°36: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-12 en el 2018	89
Tabla N°37: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-11 en el 2018	90
Tabla N°38: Plan de mantenimiento para el grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 1	91
Tabla N°39: Plan de mantenimiento para el grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 1	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°1: Ubicación geográfica de la empresa RD RENTAL S.A.C.	2
Figura N°2: Frontis de la empresa RD RENTAL S.A.C	3
Figura N°3: Grupo Electrónico de 500 kW - RD Rental S.A.C.....	11
Figura N°4: Esquema de proceso de inyección de combustible en un motor diésel	12
Figura N°5: Diagrama de distribución de 4 tiempos	14
Figura N°6: Partes de un generador síncrono	15
Figura N°7: Objetivos del mantenimiento	17
Figura N°8: Evolución de las expectativas del mantenimiento.....	19
Figura N°9: Evolución de la visión de las fallas de los equipos	20
Figura N°10: Cambios en las técnicas de mantenimiento	21
Figura N°11: Aspectos de la Confiabilidad Operacional	25
Figura N°12: Comparación de estrategias de mantenimiento.....	26
Figura N°13: Flujograma general del proceso de alquiler de equipos de RD Rental S.A.C.	34
Figura N°14: Motor de Combustión de Grupo Electrónico	35
Figura N°15: Identificación de Partes del motor de combustión	36
Figura N°16: Vista lateral del generador.....	36
Figura N°17: Filtro de aire	37
Figura N°18: Turbocompresor	38
Figura N°19: Filtros de combustible	39
Figura N°20: Bomba de alimentación de combustible	40
Figura N°21: Alternador	41
Figura N°22: Arrancador	41

Figura N°23: baterías	42
Figura N°24: Tanque de expansión.....	43
Figura N°25: Ventilador	44
Figura N°26: Radiador	45
Figura N°27: Válvulas de control del sistema de lubricación	46
Figura N°28: Unidad de mando ECU	48
Figura N°29: Mantenimiento preventivo 250 Hrs. Grupo electrógeno.....	49
Figura N°30: Módulo de control COMAP.....	49
Figura N°31: Inspección de grupo electrógeno de 500 kW.....	50
Figura N°32: Inspección de grupo electrógeno de 500 kW.....	50
Figura N°33: Flujograma de la transformación de la energía en un grupo electrógeno	51
Figura N°34: Diagrama explicativo de proceso RCM	59
Figura N°35: Límites del grupo electrógeno diésel en operación.....	61
Figura N°36: Diagrama funcional del grupo electrógeno diésel	62
Figura N°37: N° de desconexiones (fallas) por año.....	93
Figura N°38: Horas inoperativas por año	94
Figura N°39: N° de fallas por equipos	94

CAPITULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Realidad Problemática

En estas épocas, la industria de alquileres de maquinarias y grupos electrógenos diésel requiere que sus equipos tengan el mayor porcentaje de confiabilidad posible, y el uso eficiente de sus recursos, es primordial para que se pueda enfrentar a la competencia local que cada día crece más. Para esto es necesario implementar estrategias de mantenimiento actuales, que logren cambiar el enfoque que se tiene del mantenimiento actualmente y permita adecuarse a nuevas metodologías.

El crecimiento de la empresa RD RENTAL S.A.C. se basa en la adquisición de nueva flota de equipos, y de capital humano. Esto tiene que ir de la mano con la capacitación constante y la adquisición de herramientas para el diagnóstico preciso y detallado de las maquinarias y grupos electrógenos diésel.

Entre el 2016, 2017 y 2018 se han reportado paradas no programadas de clientes debido a fallas mecánicas, eléctricas y electrónicas de los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta, trayendo consigo que se generen horas inoperativas que se reflejan en las pérdidas económicas de la empresa en las valorizaciones finales de los clientes.

Actualmente el área de planeamiento tiene una cultura de mantenimiento que está basada en los mantenimientos preventivos de manual (cada 250 horas, 500 horas, 750 horas, 1000 horas) y en resolver fallas en el

momento que ocurran, basándose en la experiencia del personal técnico más no en hacer un adecuado trabajo de mantenimiento ni seguir un plan de mantenimiento idóneo para evitar las fallas y disminuir horas de inoperatividad de los equipos.

1.2. Formulación del Problema

¿De qué manera se puede disminuir el índice de fallas en los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta de la empresa RD RENTAL S.A.C., de tal forma que se le garantice al cliente su correcto funcionamiento, brindándole una mayor confiabilidad y disponibilidad del equipo?

1.3. Delimitación de la Investigación

Departamento: Lambayeque

Provincia: Chiclayo

Distrito: La Victoria, Chosica del Norte



Figura N°1: Ubicación geográfica de la empresa RD RENTAL S.A.C.

Fuente: Google Maps



Figura N°2: Frontis de la empresa RD RENTAL S.A.C

Fuente: Elaboración propia

1.4. Justificación e Importancia de la Investigación

Promover la aplicación de la metodología RCM para la elaboración de planes de mantenimientos a los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta, definiendo de forma clara y precisa las actividades de mantenimiento predictivo y correctivo a realizar, más aun sabiendo que los grupos electrógenos en general son los equipos con mayor rotación en cuanto a términos de alquiler se refiere y es necesario que tengan un alto índice de confiabilidad.

1.5. Limitaciones de la Investigación

El presente trabajo de investigación, se ha limitado al estudio de los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta, así como de los sistemas y componentes que lo conforman.

Se limita en ver los datos técnicos, contexto operativo actual e historial de fallas ocurridos durante los años 2018 y 2017 (2016 inclusive) que han sido reportados por parte de los clientes a los cuales fueron alquilados los equipos a lo largo y ancho del territorio nacional.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Proponer un plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) para los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta de la empresa RD RENTAL S.A.C. LA VICTORIA – CHICLAYO – LAMBAYEQUE.

1.6.2. Objetivo Específicos

- a) Obtener la data y los eventos de falla que se propiciaron en el 2016, 2017 y 2018 reportados por clientes a los cuales fueron alquilados los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta.
- b) Determinar los modos de fallas, efectos y consecuencias de los sistemas y componentes que conforman un grupo electrógeno diésel de 500 kW.

- c) Definir de forma clara y precisa las actividades de mantenimiento (predictivo y correctivo) para los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudios

Según Luis M. Castillo O. (Sartenejas, Febrero del 2010), Venezuela, en su proyecto de grado presentado ante la Universidad Simón Bolívar “Diseño de plan de mantenimiento preventivo para grupo electrógeno de radio bases”, aplicó la metodología del principio de Pareto para localizar fallas concurrentes y un análisis de criticidad para la evaluación de su efecto sobre la red. El análisis de los datos reflejó la necesidad de implementar una técnica que permita controlar las fallas recurrentes del grupo electrógeno ya que muchas de estas pueden ser prevenidas fácilmente si se desarrollan estrategias adecuadas que conformen un plan de mantenimiento preventivo ideal. Como resultados principales se definió un cuadro de Análisis de Modo y Efecto de Falla, como también un plan de mantenimiento preventivo para los equipos, acompañado de un diagrama de ejecución para su gestión.

Según Da Costa Burga Martín (Lima, Agosto del 2010), Perú, en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de altas producción”, mediante el desarrollo de la metodología RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad) aplicado a los motores a gas de dos tiempos, pudo determinar estrategias de mantenimiento para poder eliminar las fallas identificadas a través del Análisis de modo de fallas, causas y efectos (AMEF), tales como la optimización del

mantenimiento preventivo, la implementación del mantenimiento predictivo, la implementación de las inspecciones sensoriales por parte de los operadores y la identificación de repuestos críticos.

Según Bastidas Quispe, Edison Hugo (Huancayo, Noviembre del 2013), Perú , en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Universidad Nacional del Centro del Perú “Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos Olympia GEP110-4 en el proyecto flowline lote 56 de la empresa SERPETBOL Perú SAC” , se pudo comprobar que a través de la gestión del mantenimiento basado en la confiabilidad se pudo desarrollar estrategias y procedimientos para la mejora en la producción de la empresa Serpetbol Perú S.A.C., identificando los activos y sus funciones en su contexto operativo, para lo cual estableció controles y planes de mantenimiento de mejora continua para la disminución de fallos de los grupos electrógenos.

Según MENDIVIL GUILLÉN, Carlos Alberto y Montenegro Peralta, Santos Yony (Lima, 2017), Perú, en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial en la Universidad Privada del Norte “Implementación de un plan de mantenimiento predictivo para disminuir las fallas en el grupo electrógeno Cummins C2000N6C en la empresa Kimberly Clark E.I.R.L. para el año 2016”, recopilaron, observaron y analizaron las fallas que se producían en el grupo electrógeno de tal manera que pudo determinar las acciones a tomar para disminuir las fallas presentadas. Se realizó análisis de aceite y monitorización de condiciones de máquina

(mantenimiento predictivo) para poder concluir que hubo problemas como mala combustión, aceite contaminado, falla en sensores, entre otros.

Según Palomares Quintanilla, Elvis David (Lima, 2015) Perú, en su Tesis presentada para optar el grado Maestro en Gerencia e Ingeniería de Mantenimiento en la Universidad Nacional de Ingeniería “Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) al sistema de izaje mineral, de la compañía minera Milpo, unidad “El Porvenir” ”, se logró realizar el plan de mantenimiento basado en la confianza aplicando la metodología del RCM empleándose herramientas como la metodología de análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMECA o AMFEC) con el objetivo de identificar los modos de falla que representan un mayor riesgo, para posteriormente seleccionar la mejor tarea de mantenimiento, ya sea preventiva, predictiva, correctiva o en su caso rediseño de sistemas. Con esto se logró mejorar los intervalos de mantenimiento programado.

Según Zavalar Gaibor, Marco Antonio (Riobamba, Octubre 2017) Ecuador, en su Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH (ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO) “Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en el grupo electrógeno FG – WILSON P-300 de las granjas avícolas de la empresa Procesadora Nacional de Alimentos Zona Bucay” se logró identificar la clasificación taxonómica de grupos electrógenos según la norma ISO 14224, se analizó y se determinó la criticidad en los sistemas a implantar la metodología del RCM.

Identificados los sistemas se aplicó el análisis de modos y efectos de fallos (AMFE), pudiendo obtener los siguientes resultados: se reducen en un 36% la tasa de fallos en comparación al año 2014. Los tiempos de indisponibilidad son reducidos en un 96%, Se realiza un estudio de comparativo de costos entre el mantenimiento correctivo tradicional y el mantenimiento con criterios del RCM, en el cual se determina una reducción de 32%. Mejorando la disponibilidad y confiabilidad del equipo.

Según Guevara Avalos, Edgardo Patricio (Riobamba, Noviembre 2016) Ecuador, en su Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH (ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO), “Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a los grupos electrógenos de la Estación Tapir A del bloque 17 Petroriental” después de haber realizado la recopilación de todas las fallas ocurridas en el segundo semestre del año 2015, la tabulación de los datos, y con un análisis exhaustivo mediante la aplicación del MCC, se determinó los sistemas y elementos más críticos para la operación de los generadores, lo que permitió establecer un nuevo plan de mantenimiento que se aplicó desde el primer semestre del año 2016 lo cual permitió reducir las paradas de los equipos en un 31% y se incrementó la disponibilidad de los generadores de un 93.3% a un 95.5% por lo que se sugiere que la metodología aplicada a los grupos electrógenos pueda ser usada en otros equipos de la estación o de la empresa para mejorar su disponibilidad y con ello incrementar la rentabilidad de la empresa.

2.2. Desarrollo de la temática correspondiente al tema desarrollado

2.2.1. Grupo Electrónico

2.2.1.1. Definición

Un grupo electrónico es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. Generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia: hospitales, fábricas, etc., lugares en los que la energía eléctrica de red es insuficiente y es necesaria otra fuente de energía alterna para abastecerse. (Wikipedia s.f.)



Figura N°3: Grupo Electrógeno de 500 kW - RD Rental S.A.C.

Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Motor de Combustión Interna

2.2.2.1. Definición

Los motores de combustión interna (MCI) son motores térmicos de desplazamiento positivo (o volumétrico), en los que el trabajo se obtiene mediante el desplazamiento lineal del émbolo de un mecanismo biela-manivela. Se denominan motores de combustión interna porque el estado térmico se genera en el propio fluido que evoluciona en el motor. (Rovira de Antonio y Muñoz Dominguez 2015).

2.2.2.2. Motores de combustión interna diésel

En este tipo de motores, el fluido que se comprime es aire y el combustible se inyecta en la cámara una vez finalizado el proceso de compresión. La ignición se produce por auto inflamación de parte del combustible inyectado, mientras que el resto se quema mediante una combustión por difusión que es simultánea a la propia inyección². Las condiciones que se deben alcanzar en el proceso de compresión serán aquellas que aseguren la autoinflamación de la mezcla. (Rovira de Antonio y Muñoz Dominguez 2015)

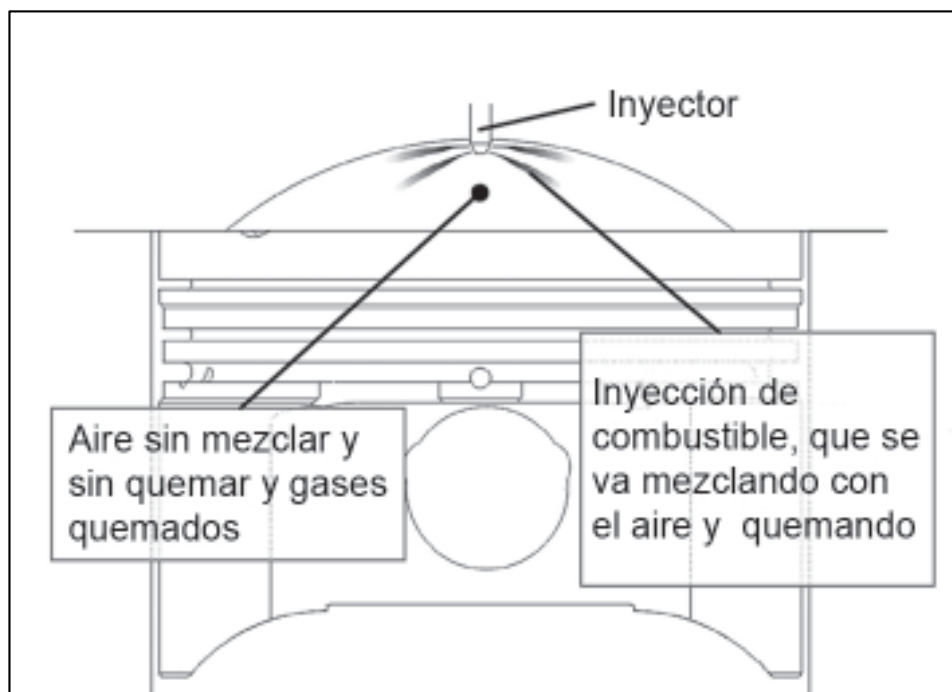


Figura N°4: Esquema de proceso de inyección de combustible en un motor diésel

Fuente: Rovira de Antonio y Muñoz Dominguez, Motores de Combustión Interna

Asimismo, se tienen los motores de cuatro tiempos los cuales presentan las siguientes características:

1er tiempo o admisión: Se realiza el proceso de admisión. El pistón se separa del punto muerto superior (PMS) descendiendo por el cilindro. Esto genera una depresión en el cilindro que permite su llenado con masa fresca, sin quemar. Las válvulas de admisión están abiertas y las de escape cerradas.

2º tiempo o compresión: Tiene lugar el proceso de compresión. El pistón se desplaza desde el punto muerto inferior (PMI) hacia el superior (PMS), comprimiéndose la masa fresca al estar las válvulas de admisión y de escape cerradas. En las cercanías del PMS se produce la ignición de la mezcla (bien sea por un agente externo o por la autoinflamación de la mezcla), empezando el proceso de combustión.

3er tiempo o expansión: El pistón vuelve a descender, empezando la 2ª revolución del cigüeñal. Durante esta carrera finaliza el proceso de combustión y se realiza el de expansión. Las válvulas permanecen cerradas. En las proximidades del PMI, pero todavía en la carrera de expansión, se abren las válvulas de escape comenzando la evacuación de los gases a la atmósfera como consecuencia de que su presión es mayor que la atmosférica. A esta evacuación, anterior a la propia carrera de escape, se le denomina escape espontáneo.

4º tiempo o escape: El pistón vuelve a desplazarse desde el PMI hacia el PMS. Las válvulas de escape continúan abiertas, por lo que el movimiento del pistón permite expulsar los gases quemados hacia la atmósfera. (Rovira de Antonio y Muñoz Dominguez 2015).

En la figura N°5, se puede observar los 4 tiempos de forma esquemática.

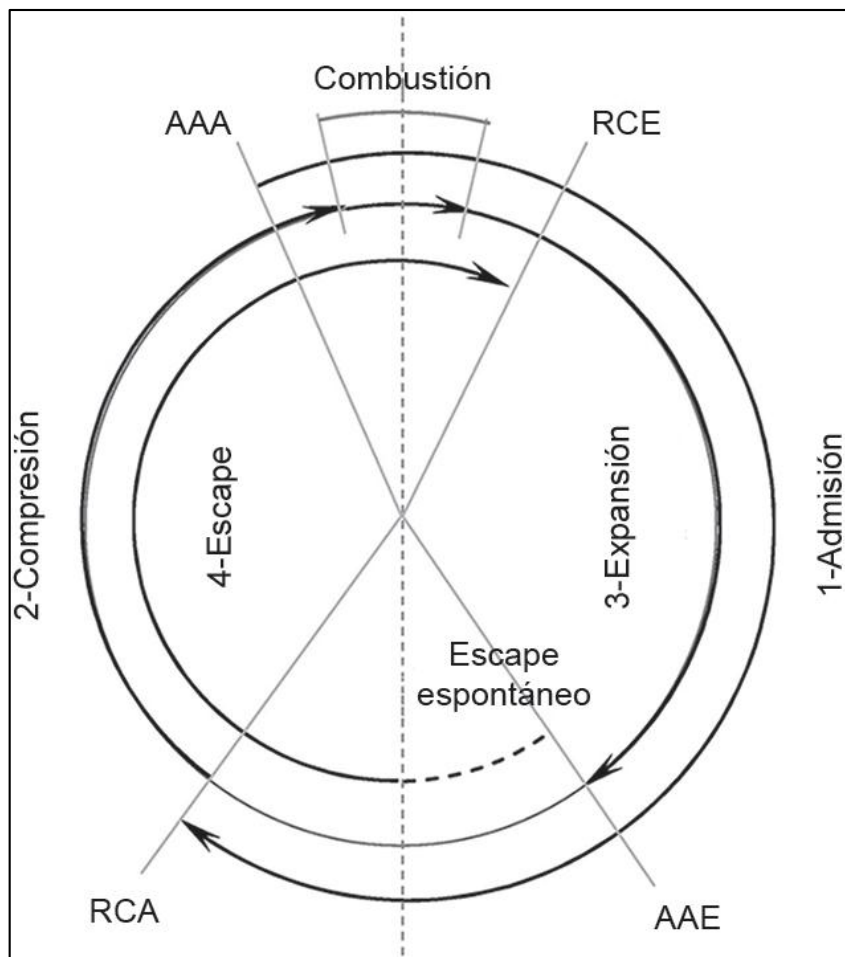


Figura N°5: Diagrama de distribución de 4 tiempos

Fuente: Rovira de Antonio y Muñoz Dominguez, Motores de Combustión Interna

2.2.3. Generador Síncrono

2.2.3.1. Definición

Los generadores síncronos o alternadores son máquinas síncronas que se utilizan para convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna. Están conformado por un estator y un rotor. El rotor del generador gira mediante un motor primario y provoca la aparición de un campo magnético giratorio dentro de la máquina. Este campo magnético giratorio induce un conjunto de voltajes trifásicos dentro de los devanados del estator del generador. (Stephen 2012)

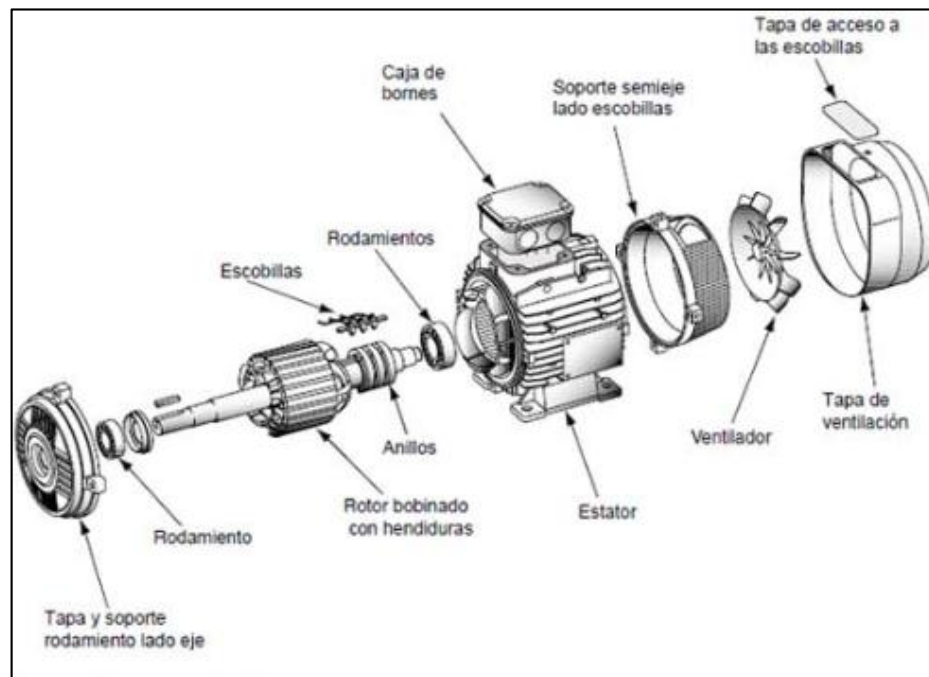


Figura N°6: Partes de un generador síncrono

Fuente: <http://motoreselectricoscecytej.blogspot.com/> (Ces19)

2.2.4. Mantenimiento

2.2.4.1. Definición

“Se define habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones industriales en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento.” (Garcia Garrido 2012)

“Según la norma francesa AFNOR 60.010 el mantenimiento se define como el conjunto de acciones que permiten mantener o reestablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado.” (Pascual J. 2008)

Pues en tal sentido, el mantenimiento tiene objetivos bien marcados dentro de la empresa u organización, entre los cuales tenemos: (ver figura N°7)

- a) Cumplir un valor determinado de disponibilidad de los equipos, optimizándolos de tal manera que se pueda tener una buena producción.
- b) Cumplir un valor determinado de confiabilidad o fiabilidad.
- c) Asegurar una larga vida útil de la instalación en su conjunto, al menos acorde con el plazo de amortización de la planta.
- d) Conseguir todo ello ajustándose a un presupuesto dado, normalmente el presupuesto óptimo de mantenimiento para esa instalación. (Garcia Garrido 2012)



Figura N°7: Objetivos del mantenimiento

Fuente: Ingeniería de Mantenimiento, Santiago García G.

Se puede añadir a estos cuatro objetivos principales o básicos del mantenimiento, un objetivo relacionado con el tema de seguridad, el cual es principalmente el de garantizar la seguridad de operación de los equipos garantizando así la seguridad industrial.

2.2.4.2. Evolución del mantenimiento

Desde 1930, la evolución del mantenimiento se puede trazar a través de tres generaciones: (Moubray, Mantenimiento Centrado en la confiabilidad 1997)

La Primera Generación.

La primera generación cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial. En esa época la industria no era altamente mecanizada, de modo que los tiempos de inactividad no tenían demasiada importancia. Esto significa que la prevención de fallas en equipos

no era una prioridad en la mente de la mayoría de los gerentes. Al mismo tiempo la mayoría de los equipos eran simples y muy bien diseñados esto los hacia confiables y fáciles de reparar.

Como consecuencia, no había necesidad de mantenimiento sistemático de ningún tipo, más allá que la limpieza, control y lubricación de rutina. La necesidad de habilidades específicas era inclusive menor de lo que es ahora.

La Segunda Generación.

Todo cambió dramáticamente desde la segunda guerra mundial. Las presiones de la guerra aumentaron la demanda de todo tipo de provisiones, mientras que la disponibilidad de mano de obra disminuyó notablemente. Esto llevo a una mayor mecanización. Para 1950, las maquinarias de todo tipo se habían multiplicado en número y complejidad. La industria estaba comenzando a depender de ellas.

A medida que esta independencia creció, la inactividad tuvo un enfoque más cercano. Esto trajo la idea de que las fallas técnicas podían y debían ser prevenidas, lo que trajo a su vez el concepto de mantenimiento preventivo. En 1960 éste consistía principalmente en el reacondicionamiento de los equipos, que se llevaba a cabo en intervalos fijos.

El costo de mantenimiento comenzó a incrementarse notablemente en comparación con otros costos operativos. Esto llevo al crecimiento de la planificación de mantenimiento y programas de control. Estos fueron una enorme contribución para comenzar a

controlar el mantenimiento, y actualmente forman parte oficial de las prácticas de éste.

Finalmente la cantidad de capital invertido en bienes físicos y los costos crecientes, llevo a que los propietarios buscaran el modo de maximizar la vida de esos bienes.

La Tercera Generación

Desde mediados de 1970, el proceso de cambio en la industria ha conjugado un momento aún mayor. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas.

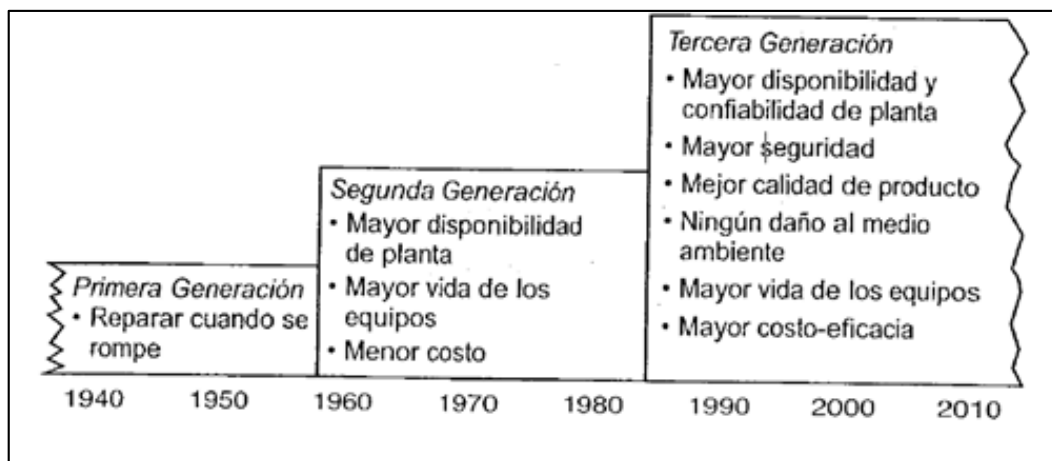


Figura N°8: Evolución de las expectativas del mantenimiento

Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento Basado en la Confiabilidad

Difiriendo con expectativas mayores, las nuevas investigaciones están modificando muchos de nuestros principios más arraigados sobre la relación entre antigüedad y fallas. En particular, hay aparentemente cada vez una menor conexión entre la edad

operativa de la mayoría de los bienes y que tan propensos son a fallar.

La figura N°9 muestra como las primeras apreciaciones sobre las fallas estaban totalmente basadas en el principio de que a medida de que los bienes envejecen, tiene una mayor tendencia a fallar. La advertencia creciente de “mortalidad infantil” llevo a que se expandiera la idea de la Segunda Generación en la curva de “la bañera’.

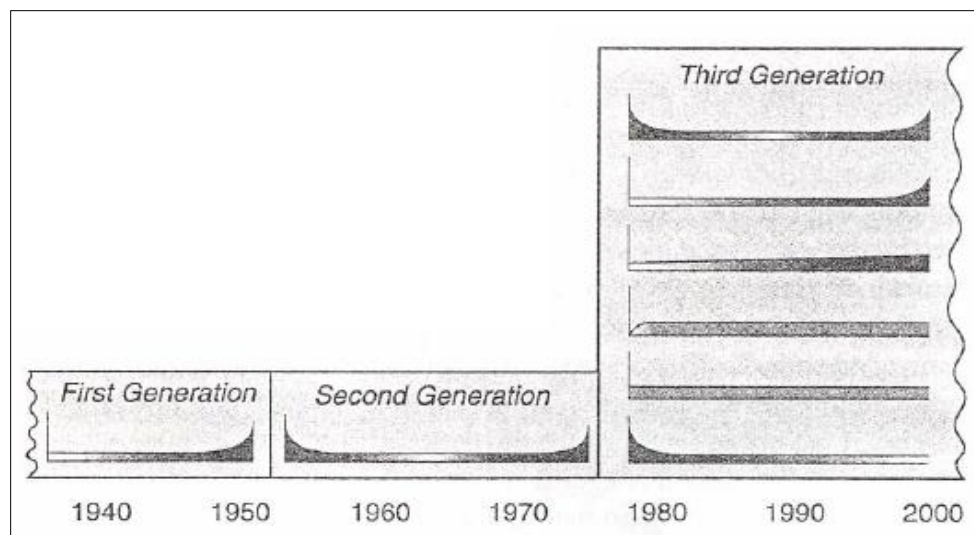


Figura N°9: Evolución de la visión de las fallas de los equipos

Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento Basado en la Confiabilidad

Además también hubo un crecimiento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento, como se muestra en la figura N°10.

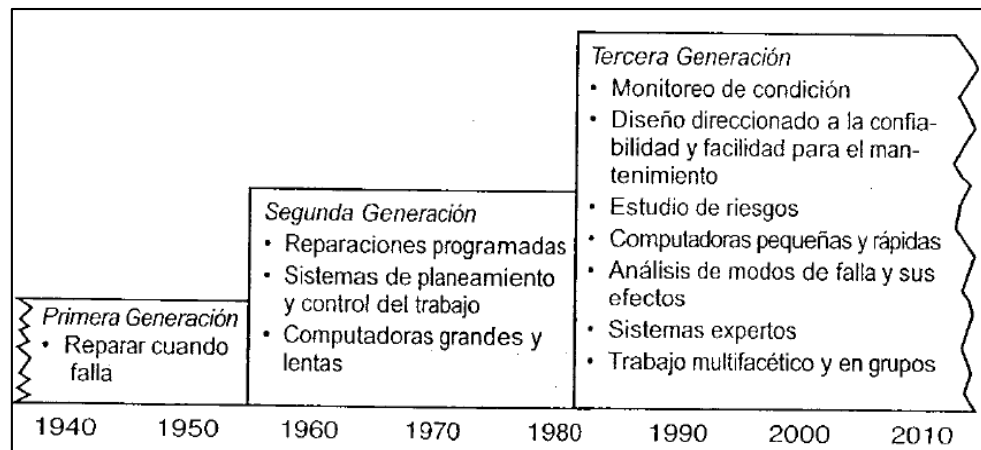


Figura N°10: Cambios en las técnicas de mantenimiento

Fuente: Jhon Moubray, Mantenimiento Basado en la Confiabilidad

2.2.4.3. Tipos

Entre los más importantes tenemos (Cuarta Perez 2008):

Mantenimiento Preventivo

Generalmente está conformado por la realización de inspecciones periódicas o sistemáticas sobre los equipos debido a la diferencia de desgaste entre cada una de sus partes. Justamente es el mantenimiento que se encarga de prevenir una falla aplicando un programa de mantenimiento con el fin de anticiparse a la posible falla.

Mantenimiento Correctivo

Es aquel mantenimiento que está dirigido a corregir la falla una vez aparecida, buscando la corrección lo más rápido posible a menor costo.

Una desventaja marcada de este tipo de mantenimiento, es el no poder identificar otras potenciales fallas presentes debido a que el tiempo solo está destinado a corregir la falla primaria.

Mantenimiento Predictivo

Este tipo de mantenimiento está destinado al uso de mediciones o ensayos no destructivos de última generación a las partes del equipo más susceptibles al desgaste, de tal manera que se anticipe a la falla, pudiendo efectuarse sin necesidad de para la producción. De alguna forma se anticipa donde y cuando se puede producir el fallo.

2.2.4.4. Indicadores del Mantenimiento

Estos indicadores sirven para poder cuantificar de alguna forma la eficacia y eficiencia de las actividades realizadas. A continuación presentamos algunos de los indicadores más importantes del mantenimiento según (Rodriguez Araujo 2008):

Disponibilidad

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

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

Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que un determinado equipo o instalación desarrolle su función, bajo unas condiciones específicas, y durante un tiempo determinado. El tiempo medio entre fallos (MTBF) caracteriza la confiabilidad de un equipo. Se haya dividiendo las horas de operación entre el número de fallas registradas en el intervalo de tiempo de operación.

Mantenibilidad

La mantenibilidad es la probabilidad de que un equipo en estado de fallo sea restablecido a una condición especificada, dentro de un período de tiempo dado, y usando unos recursos determinados.

Por tanto, la media de tiempo de reparación (MTTR) caracteriza la mantenibilidad del equipo. Se haya dividiendo las horas inoperativas entre el número de fallas registradas en el intervalo de tiempo de determinado.

Confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son tres términos claves en la ingeniería de confiabilidad. Aun cuando decimos mejoramiento de la confiabilidad del activo, muchas veces queremos decir realmente disponibilidad. La disponibilidad (A) es una función o producto de la confiabilidad y capacidad de mantenimiento del activo.

Dicho de manera más simple, la disponibilidad puede declararse como la probabilidad de que un activo esté en condiciones

operacionales cuando se necesite. Matemáticamente, la disponibilidad se define según Ingeniería de Disponibilidad (Ver Ecuación 1) (Magazine 2014):

$$Disponibilidad = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \dots \dots \dots (1)$$

2.2.4.5. Confiabilidad operacional

El proceso de falla tiene que ser manejado apropiadamente. Y uno de los aspectos más importantes de este proceso es el manejo de la estrategia de mantenimiento - decidiendo qué mantenimiento hacer, cuándo y cuán a menudo.

La Confiabilidad Operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: confiabilidad del proceso, confiabilidad humana, confiabilidad de los equipos y mantenimiento de los equipos como se muestra en la figura N°11 ((ER&M) 2003)



Figura N°11: Aspectos de la Confiabilidad Operacional

Fuente: ER & M, Confiabilidad como soporte del mantenimiento

A parte de los tipos de mantenimiento vistos en el apartado 2.2.4.3. Existen en la actualidad dos nuevas filosofías que se vienen implementado de manera más recurrente en las empresas e industrias. Estas son el mantenimiento basado en la confiabilidad (RCM) y el mantenimiento productivo total (TPM).

En la figura N°12 vamos a observar cómo estas nuevas filosofías de mantenimiento aumentan la confiabilidad de los sistemas y equipos con el mismo gasto de mantenimiento.

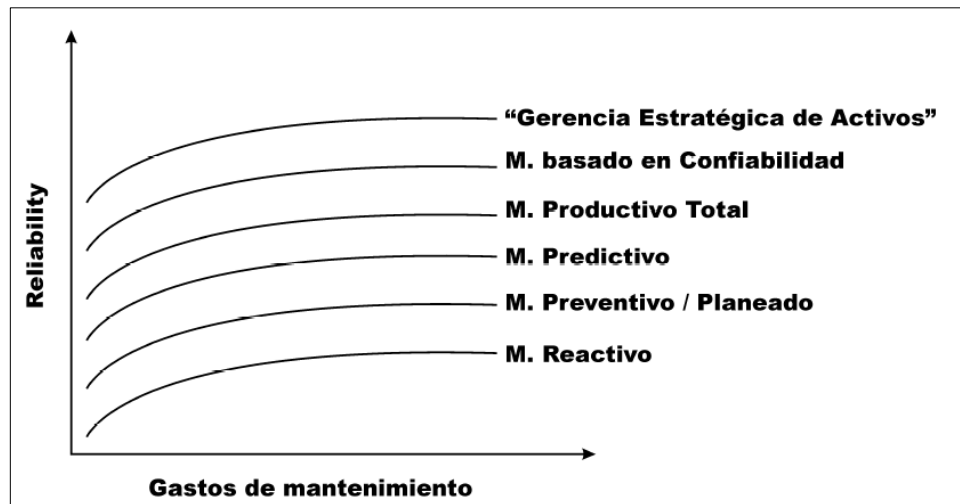


Figura N°12: Comparación de estrategias de mantenimiento

Fuente: Jaime Collantes B., Estrategias de mantenimiento

2.2.5. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

2.2.5.1. Definición

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) - es un proceso para asegurar que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios requieren en su contexto actual de operaciones. Es un proceso estructurado para desarrollar un plan de mantenimiento efectivo y eficiente para minimizar la probabilidad de falla de un activo. (Magazine 2014)

“Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo, se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de

mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema”. (Smith 1993)

El RCM se usa generalmente para mejoras en todos los aspectos de la gestión de activos, tales como el establecimiento de un nivel de mantenimiento seguro, mínimo u optimizado, cambios en procedimientos de operación y el establecimiento de un plan efectivo de mantenimiento. La implementación exitosa del RCM promueve efectividad en costos, tiempo productivo del activo y una mejor comprensión del nivel de riesgo que maneja la organización actualmente. (Magazine 2014)

Está demostrado que el mejor beneficio de la aplicación del RCM se alcanza durante las fases de diseño y desarrollo del ciclo de vida del activo eliminando o mitigando los efectos de sus modos de falla.

El desarrollo del RCM ha sido un proceso evolutivo. Han transcurrido más de 40 años desde su creación en los años setentas, durante los cuales RCM se ha convertido en un proceso maduro. No obstante, la industria aún no ha adoptado plenamente la metodología del RCM a pesar de su historial de éxitos. (Magazine 2014)

2.2.5.2. Objetivo del RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad es un abordaje sistemático para desarrollar nuevos requerimientos de mantenimiento donde no existen, u optimizar un programa actual de mantenimiento.

En ambos casos, el resultado final de un análisis del RCM es un programa de mantenimiento compuesto de tareas que representan el abordaje adecuado tanto en lo técnico como en lo eficiente en costos para mantener la capacidad operativa de un activo/componente. Esta capacidad operativa, a su vez, se presta a una mayor confiabilidad del sistema y disponibilidad de la planta. Otro importante resultado de un programa de RCM es una base técnica documentada para toda decisión del programa de mantenimiento. (Magazine 2014)

2.2.5.3. Principios y normas del RCM

Existen cuatro principios que definen y caracterizan el RCM y lo diferencian de cualquier otro proceso de planificación del mantenimiento preventivo (PM). (Magazine 2014):

Principio 1: El objetivo primario del RCM es preservar la función del sistema.

Principio 2: Identificar modos de falla que pueden impedir las funciones.

Principio 3: Priorizar las necesidades de la función (modos de falla).

Principio 4: Seleccionar tareas aplicables y efectivas.

La normativa SAE JA1011 describe el criterio mínimo que debe cumplir un proceso para ser llamado RCM. Un proceso que responde

a las siguientes siete preguntas esenciales puede considerarse mantenimiento centrado en confiabilidad: (Magazine 2014)

1. ¿Cuáles son las funciones y asociados estándares deseados de desempeño del activo en su contexto operativo actual (funciones)?
2. ¿En qué maneras puede incumplir sus funciones (fallas funcionales)?
2. ¿Cuál es la causa de cada falla (modos de falla)?
3. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla (efectos de la falla)?
4. ¿De qué manera importa cada falla (consecuencias de la falla)?
5. ¿Qué debe hacerse para predecir o evitar cada falla (tareas proactivas e intervalos de tarea)?
6. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra ninguna tarea proactiva adecuada (acciones por omisión)?

Para darle respuestas a estas preguntas se utilizan dos herramientas fundamentales (Espinoza 2013):

AMEF: Análisis de los modos y efectos de fallas, herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallas de cada activo en su contexto operacional

Árbol Lógico de Decisión: Herramienta que permite seleccionar de forma óptima las actividades de mantenimiento según la filosofía del RCM.

2.2.5.4. Conceptos del RCM

En el artículo se define los conceptos a los que se refiere en la metodología RCM que a continuación se presenta (www.rcm-confiabilidad.com.ar 2005):

Contexto operacional

Antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.

Funciones

En un análisis de RCM, todas las funciones deseadas deben ser listadas.

Fallas funcionales

Las fallas funcionales ó estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema.

Modos de falla

Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla. Cada falla funcional suele tener más de

un modo de falla. Todos los modos de falla asociados a cada falla funcional deben ser identificados durante el análisis de RCM.

Efectos de falla

Para cada modo de falla deben indicarse los efectos de falla asociados. El “efecto de falla” es una breve descripción de qué pasa cuando la falla ocurre.

2.2.5.5. Pasos para la realización del RCM

Aunque el RCM tiene mucha variación en su aplicación, la mayoría de los procedimientos incluyen algunos o todos de los siguientes nueve pasos: (Magazine 2014)

1. Selección del sistema y captura de información.
2. Definición de los límites del sistema.
3. Descripción del sistema y diagrama de flujo funcional.
4. Descripción de las funciones del sistema y fallas funcionales.
5. Análisis de modos y efectos de fallas (FMEA).
6. Análisis del árbol de lógica (decisión) (LTA).
7. Selección de tareas de mantenimiento. Programa de tareas de mantenimiento, que puede incluir: actividades preventivas correctivas como:
 - a. *Tareas dirigidas por tiempo, (PMs calendarizados/basados en tiempo de marcha);*

- b. Tareas dirigidas por condiciones, (mantenimiento basado en condiciones (CBM), tareas de mantenimiento predictivo (PdM));*
- c. Tareas de búsqueda de fallas (tareas soportadas por el operador)*
- d. Tareas de trabajar hasta fallar (basadas en decisión económica).*

8. Implementación y agrupamiento de tareas.

9. Hacer que el programa sea un programa vivo – mejoras continuas.

2.2.5.6. Beneficios del RCM

La implementación del RCM debe llevar a equipos más seguros y confiables, reducciones de costos (directos e indirectos), mejora en la calidad del producto, y mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente. El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones. (www.rcm-confiabilidad.com.ar 2005)

2.3. Definición conceptual de la terminología empleada

Grupo electrógeno diésel – Máquina conformada por un motor de combustión interna, el cual hace girar el rotor de un generador síncrono produciendo energía eléctrica.

Disponibilidad – La probabilidad de que un activo sea capaz de desempeñar satisfactoriamente su función intencionada, cuando sea necesario, en un ambiente especificado.

Confiabilidad – La probabilidad de que un sistema se desempeñe satisfactoriamente por un periodo dado de tiempo bajo condiciones especificadas.

Falla – La incapacidad de un activo para desempeñar su función por diseño.

Modo de falla – La manera o modo en la cual puede fallar un activo.

Análisis de modos y efectos de falla (AMFE) – Procedimiento para determinar cuáles síntomas de una disfunción aparecen inmediatamente antes o después de la falla de un parámetro crítico en un sistema.

Tiempo medio entre fallas (MTBF) – Es el tiempo promedio entre una y otra falla para un activo o componente. Se calcula dividiendo el tiempo total de operaciones del activo entre el número de fallas entre algún período de tiempo. MTBF es el recíproco de la tasa de falla (λ).

Tiempo medio para reparación (MTTR) – El tiempo promedio necesario para restaurar un activo a su plena capacidad operativa después de una falla. MTTR es la medida de la capacidad de mantenimiento de un activo.

Contexto de operación – El ambiente en el cual se espera sea utilizado un activo.

Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) – Un proceso sistemático y estructurado para desarrollar un plan de mantenimiento eficiente y efectivo para minimizar la probabilidad de fallas de un activo. El proceso asegura tanto la seguridad como el cumplimiento con la misión.

2.4. Proceso de alquiler de equipos de RD Rental S.A.C.

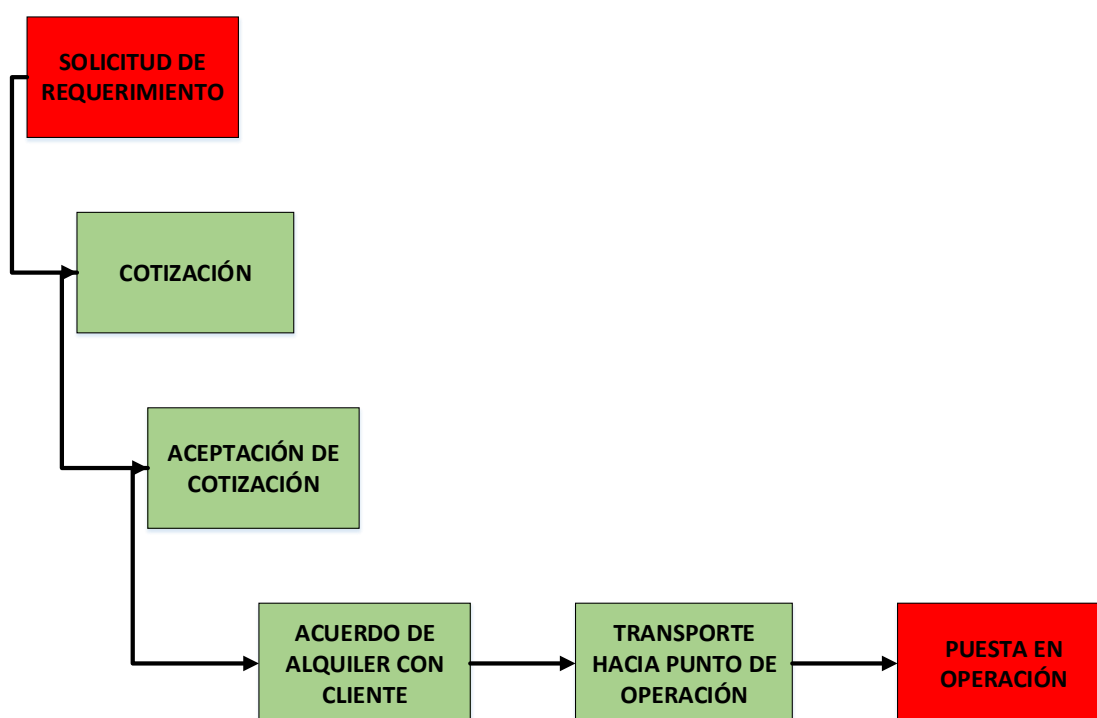


Figura N°13: Flujograma general del proceso de alquiler de equipos de RD Rental S.A.C.

Fuente: Elaboración Propia

En el presente trabajo de suficiencia profesional, trataremos acerca del proceso de operación de un grupo electrógeno diésel de 500 kW Volvo

Penta de tal manera que podamos entender e identificar los sistemas y componentes que conforman el equipo para su posterior análisis.

Un grupo electrógeno lo conforma un motor de combustión interna y un generador. El motor de combustión interna está formado por varios sistemas que hacen que el funcionamiento sea el correcto. La especificaciones técnicas del motor se pueden visualizar en el Anexo N° 24.



Figura N°14: Motor de Combustión de Grupo Electrógeno

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°15: Identificación de Partes del motor de combustión

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°16: Vista lateral del generador

Fuente: Elaboración Propia

2.5. Descripción de los sistemas y componentes

2.5.1. Sistema de admisión y escape de aire

El motor, mediante su sistema de alimentación de aire, se encargará de absorber aire de la atmosfera para que se pueda producir la combustión necesaria en los cilindros. Está conformado por los filtros de aire, turbocompresor, colector de admisión, colector de escape y tuberías. (Ver figura N° 17 y N° 18)

El circuito de admisión y escape de aire se muestra en el Anexo N° 8.

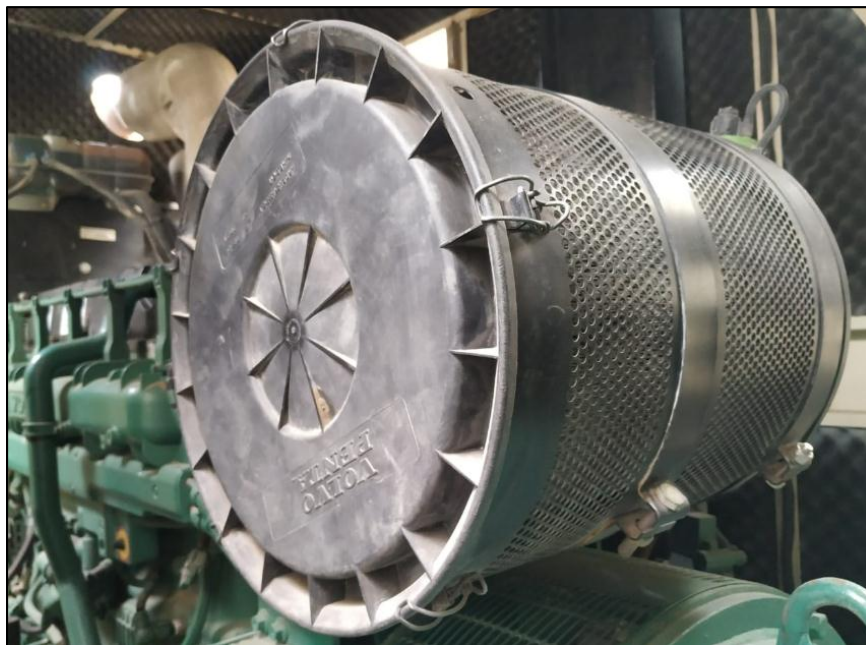


Figura N°17: Filtro de aire

Fuente: Elaboración propia



Figura N°18: Turbocompresor

Fuente: Elaboración Propia

2.5.2. Sistema de alimentación de combustible

El motor, mediante su sistema de alimentación de combustible, suministra el mismo para que al mezclarse con el aire que ha ingresado del ambiente pueda efectuar la combustión necesaria. El combustible se almacena en el tanque de almacenamiento, y luego pasa por un prefiltro y un filtro de combustible enviado por una bomba de alimentación. Para cada cilindro hay un inyector-bomba controlado electrónicamente que funciona con una presión muy alta. La inyección es controlada electrónicamente desde una unidad de mando (estos equipos no presentan bomba de inyección de combustible). El circuito de admisión y escape de aire se muestra en el Anexo N°9.

Las especificaciones técnicas del sistema de alimentación de combustible se observan en el Anexo N°20. Asimismo las especificaciones recomendadas para el combustible a usar se encuentran identificadas en el Anexo N°21.



Figura N°19: Filtros de combustible

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°20: Bomba de alimentación de combustible

Fuente: Elaboración Propia

2.5.3. Sistema de encendido

El sistema de encendido lo conforman todos los componentes que permiten el arranque del motor. Está conformado por las baterías, el alternador, el arrancador. Las especificaciones técnicas del sistema de encendido se muestran en el Anexo N° 19.

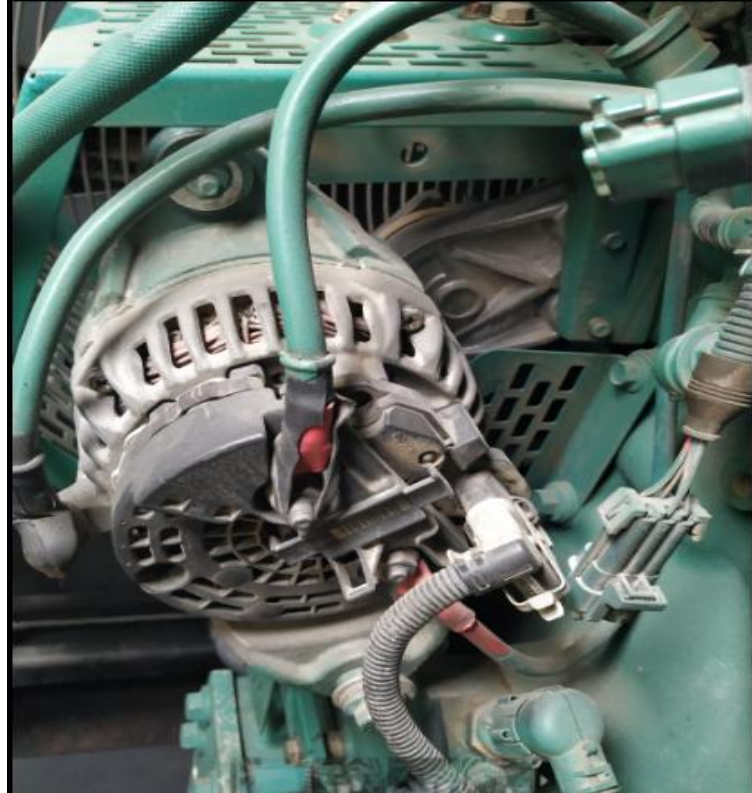


Figura N°21: Alternador

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°22: Arrancador

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°23: baterías

Fuente: Elaboración Propia

2.5.4. Sistema de refrigeración

El líquido refrigerante es bombeado directamente al motor por la bomba de agua desde el cuerpo de bomba ubicado en el lado derecho del bloque del motor. La mayor parte del refrigerante es impulsada entre las aletas del enfriador de aceite, mientras que otra parte es introducida en las camisas refrigerantes inferiores de las camisas de cilindro.

El radiador es el intercambiador de calor que se encargará de enfriar el refrigerante ayudado por un ventilador. Además contiene un termostato y una bomba de agua.

El termostato es del tipo de pistón formando una unidad con el elemento sensor, el retén y la caja. Empieza a abrirse a 85° y está totalmente abierto a 96°.

La bomba es del tipo de rodete y es accionada por una correa desde el cigüeñal. El rodete es de plástico duro.

El circuito de refrigeración se muestra en el Anexo N°10.

Las especificaciones recomendadas de calidad de agua de refrigeración se detallan en el Anexo N° 18. Asimismo las especificaciones del sistema de refrigeración se detallan en el Anexo N°17.



Figura N°24: Tanque de expansión

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°25: Ventilador

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°26: Radiador

Fuente: Elaboración Propia

2.5.5. Sistema de Lubricación

El motor es lubricado a presión por una bomba de engranaje acoplada en la distribución del motor. El caudal de aceite se regula con 7 válvulas (Ver figura N° 27).

La bomba de aceite lubricante es accionada directamente por el piñón del volante y bombea aceite hacia dos filtros de paso total y un filtro by-pass.

El enfriador de aceite es de tipo plano. Está situado en el lado derecho del motor, en el interior de la tapa lateral de la camisa refrigerante y está totalmente rodeado de refrigerante.

El circuito de lubricación se muestra en el Anexo N°11. Las especificaciones recomendadas de calidad de aceite de lubricación se detallan en el Anexo N° 23. Asimismo las especificaciones del sistema de lubricación se detallan en el Anexo N°22.

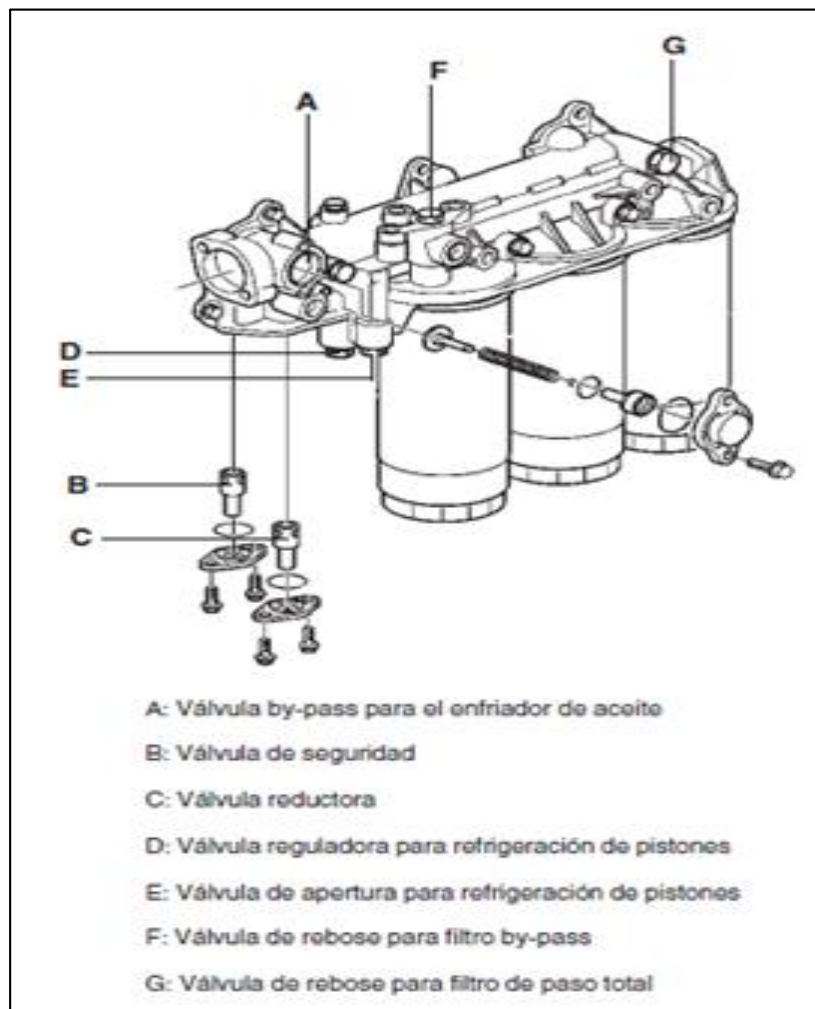


Figura N°27: Válvulas de control del sistema de lubricación

Fuente: RD Rental S.A.C.

2.5.6. Sistema electrónico/eléctrico

Este tipo de motores presenta un controlador EMS (Engine Management System) que está conformado por la unidad de mando, sensores y los inyectores-bomba. Los sensores proporcionan señales a la unidad de mando que a su vez controla los inyectores-bomba. La información procedente de los sensores proporciona datos exactos sobre las condiciones de funcionamiento y permite que el procesador de la unidad de mando, entre otras cosas, calcule la cantidad de inyección y el avance de la inyección correctos.

Las señales de entrada son:

- Sensor de la temperatura del refrigerante
- Sensores de la presión y temperatura del aire de carga
- Sensor de la presión del cárter del cigüeñal
- Sensor de la posición del árbol de levas
- Sensor de las revoluciones del volante
- Sensor de presión refrigeración pistones
- Sensor del nivel de refrigerante
- Sensor de presión del aceite
- Sensores del nivel y temperatura del aceite
- Sensor de la presión del combustible
- Agua en el indicador de combustible
- Indiciador filtro de aire

Las señales de salida son:

- Inyectores-bomba
- Motor de arranque
- Relé principal
- Relé de precalentamiento

En el Anexo N°12 y Anexo N°13 se muestra la ubicación de los sensores en el motor.

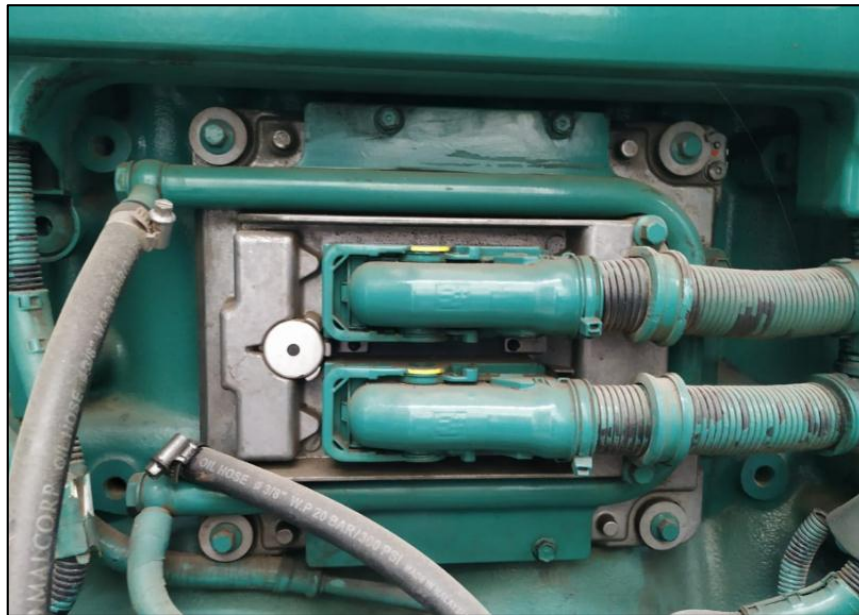


Figura N°28: Unidad de mando ECU

Fuente: Elaboración propia

2.5.7. Sistema de distribución

La distribución está montada en la parte trasera del motor, atornillada en la culata y el bloque, y fijada con dos casquillos guía y una espiga guía. Está conformado por 7 piñones y una faja de alternador y faja de transmisión. (Ver Anexo N° 14)



Figura N°29: Mantenimiento preventivo 250 Hrs. Grupo electrógeno

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°30: Módulo de control COMAP

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°31: Inspección de grupo electrógeno de 500 kW

Fuente: Elaboración Propia



Figura N°32: Inspección de grupo electrógeno de 500 kW

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N°33, podemos observar el flujograma del proceso de transformación de la energía en un grupo electrógeno. La energía química del combustible es transformada en energía térmica a través del calor que emana en el proceso de combustión. Este proceso

permite que la transformación del calor en energía mecánica a partir del mecánico biela manivela que permite accionar al cigüeñal. El cigüeñal comparte el mismo eje que el generador por lo que al final se obtendrá energía eléctrica.

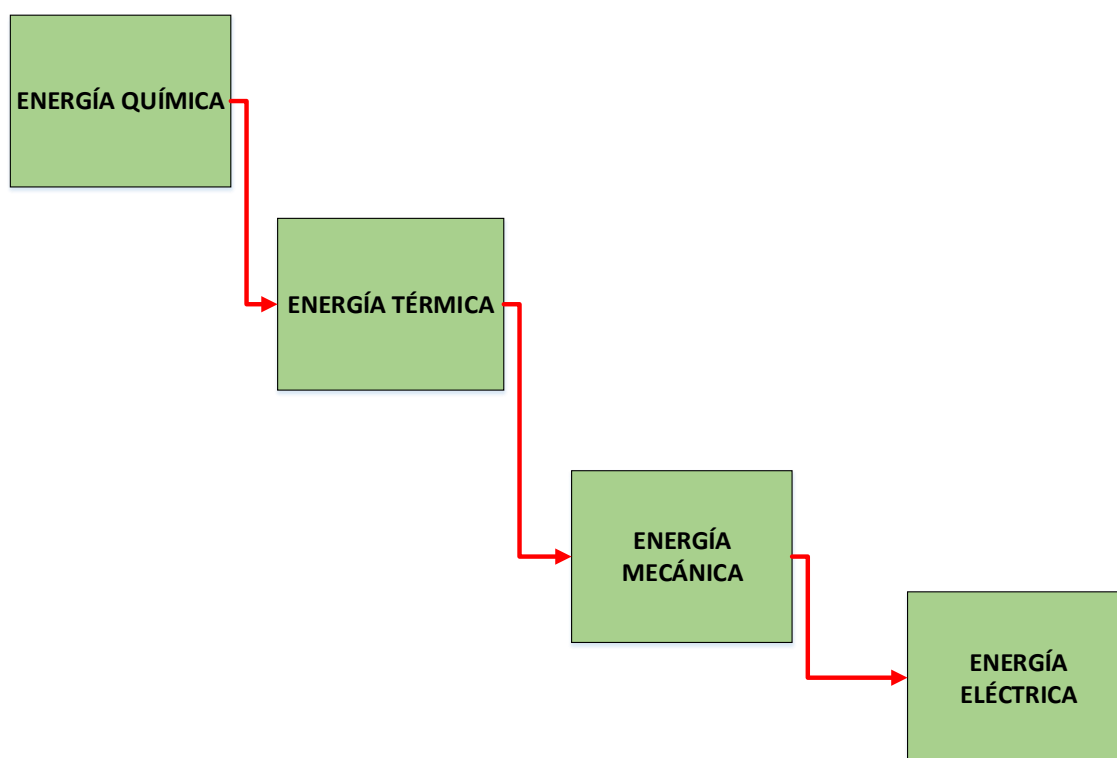


Figura N°33: Flujograma de la transformación de la energía en un grupo electrógeno

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y diseño de investigación

En la evaluación del mantenimiento y operación de los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta de la empresa RD Rental ubicado en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque, la investigación empleada en el presente trabajo de suficiencia profesional, según su profundidad es descriptiva, ya que en esta etapa se utilizaron técnicas para detallar, tomar y recopilar datos e información contundente, detectando cada uno de los problemas, que se atribuyen a fallas ocurridas en los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta; posteriormente nuestra investigación se torna en explicativa; esto porque nos permitió llegar a una conclusión sobre las fallas y alteraciones que se producen en los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta, mediante la relación y evaluación de datos de las variables del fenómeno a investigar, que nos llevó a formular alternativas (plan de mantenimiento) que permitan solucionar el problema identificado (fallas) demostrando así la relación de dependencia entre ellas.

3.2. Población y muestra

En el desarrollo del trabajo de suficiencia profesional, en el proceso de investigación se identificó la muestra el cual es igual a la población.

Concluyendo que la muestra y la población son los Grupos Electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta de la empresa RD RENTAL S.A.C. LA VICTORIA – CHICLAYO – LAMBAYEQUE.

3.3. Hipótesis

Si aplicamos la metodología RCM a los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta, entonces se podrá identificar las posibles fallas y sus modos y a su vez minimizar la probabilidad que puedan ocurrir a partir del desarrollo de un plan de mantenimiento efectivo y eficiente, obteniendo una mayor confiabilidad y disponibilidad del equipo y se podrá garantizar su correcto funcionamiento durante la operación destinada al cliente.

3.4. Variables – Operacionalización

Tabla N°1: Variables de estudio

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores
Variable dependiente Plan de mantenimiento	Conjunto de tareas de mantenimiento programado que incluye a una serie de equipos de la planta. ¹	Determinar las actividades de mantenimiento a realizar.	Actividades de mantenimiento, frecuencia de mantenimiento.
Variable Independiente Metodología RCM	Un proceso sistemático y estructurado para desarrollar un plan de mantenimiento eficiente y efectivo para minimizar la probabilidad de fallas de un activo. ²	Determinar las funciones y fallas funcionales. Determinar los modos de fallas y efectos.	Modos de falla, efectos de falla.

Fuente: Elaboración Propia

¹ (Cuarta Perez 2008)

² (Magazine 2014)

3.5. Métodos y Técnicas de investigación

En el presente trabajo de suficiencia profesional utilizamos el método deductivo a partir de las teorías del mantenimiento, para la elaboración de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad. **Las técnicas** principales empleadas son las siguientes:

a) Técnica de Observación directa

Con la facilidad de estar laborando en RD Rental S.A.C., se pudo corroborar la data técnica de los grupos electrógenos, además de poder conocer a profundidad la operación de dichos equipos.

b) La Entrevista

Esta técnica se utilizó para recopilar información acerca del mantenimiento y operación de los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta y los sistemas que lo conforman.

c) Análisis Documental

Esta técnica se utilizó para recopilar información sobre los tipos de mantenimiento, la metodología RCm, el funcionamiento y operación de grupos electrógenos en libros, revistas, manuales, tesis de internet.

3.6. Descripción de los instrumentos utilizados

1) Hoja de cálculo en Excel

Para procesar la información de los historiales de mantenimiento de los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta.

Para procesar la información de los valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta.

Para la realización de la ficha FMEA como parte del proceso de elaboración del plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para los grupos electrógenos de 500 kW Volvo Penta.

2) Software Microsoft Visio 2013

Para la elaboración de los flujogramas de procesos y sistemas de la empresa y del principio de funcionamiento del grupo electrógeno diésel.

3) Entrevistas

Por medio de conversaciones con el personal de mantenimiento del área de planta, se ha aprovechado para conocer las impresiones de ellos.

Para facilitar la información se hará una reunión con el personal de mantenimiento, planner y el jefe de operaciones de tal manera que se pueda recibir información necesaria sobre el mantenimiento actual de los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta.

4) Fotografías

Se utilizaron las fotografías para constatar los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta que se tienen en la empresa RD Rental S.A.C.

3.7. Gráficos Estadístico

3.7.1.1. Gráfico lineal

Los valores se dividen en dos ejes cartesianos perpendiculares entre sí. Las gráficas lineales se recomiendan para representar series en el tiempo, y es donde se muestran valores máximos y mínimos; también se utilizan para varias muestras en un diagrama.

3.7.1.2. Gráfico de barras

Se usa cuando se pretende resaltar la representación de porcentajes de datos que componen un total. Una gráfica de barras contiene barras verticales que representan valores numéricos, generalmente usando una hoja de cálculo. Las gráficas de barras son una manera de representar frecuencias; las frecuencias están asociadas con categorías. Una gráfica de barras se presenta de dos maneras: horizontal o vertical. El objetivo es poner una barra de largo (alto si es horizontal) igual a la frecuencia. La gráfica de barras sirve para comparar y tener una representación gráfica de la diferencia de frecuencias o de intensidad de la característica numérica de interés. Se utilizó para poder representar el número de fallas y el número de horas de parada ocurridas durante los años 2016, 2017 y 2018 reportados por clientes.

CAPITULO IV: PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

4.1. Propuesta de la investigación

En vista de la problemática que surge en el trabajo se propone lo siguiente:

En primer lugar, definir y enlistar los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta, de los cuales se evaluará sus historiales de mantenimiento tal como se muestra en la Tabla N°2. Estos grupos serán identificados cada uno con su código de equipo respectivo, tal cual se encuentran identificados en el sistema RD. En el Anexo N°1, Anexo N°2, Anexo N°3, Anexo N° 4, Anexo N°5, Anexo N°6 y Anexo N°7 se presentan las fichas técnicas de cada uno de los grupos electrógenos que se encuentran listados.

En el Anexo N° 16 se agencia el plan de mantenimiento preventivo actual que sigue el grupo electrógeno diésel de 500 kW.

Luego, evaluar la información recopilada de los historiales de falla para calcular los valores de MTBF y MTTR y calcular el número de fallas presentados durante los años 2016, 2017 y 2018 así como el número de horas inoperativas en esos años.

Finalmente se procede a emplear la metodología RCM para obtener un plan de mantenimiento adecuado para disminuir el número de fallas que se han presentado durante los años en mención. (Ver Figura N°34)

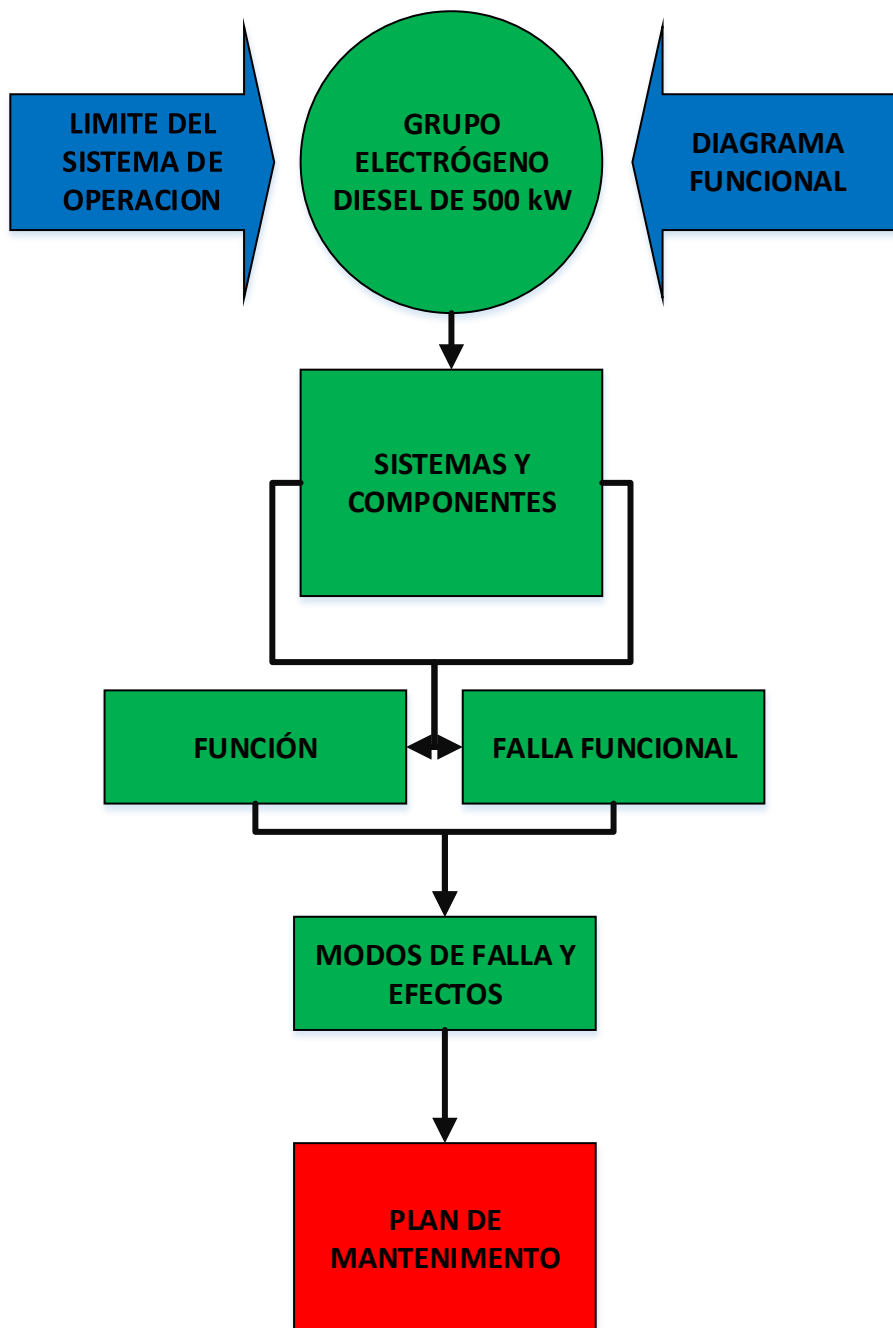


Figura N°34: Diagrama explicativo de proceso RCM

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°2: Listado de equipos en estudio

COD EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	LINEA	SUB LINEA	MARCA DEL EQUIPO	MODELO DEL EQUIPO	MARCA DEL MOTOR	MODELO DEL MOTOR	MARCA ELEMENTO ACCIONADO	MODELO DEL ELEMENTO ACCIONADO
GI500-13	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	GI	VOLVO - LEROY	VL550-C	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA49.1S3
GI500-11	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	GI	VOLVO PENTA	VL-550	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA49.1S3
GI500-12	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	GI	VOLVO PENTA	VL-550	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA 49.1S3
GI500-09	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	GI	VOLVO PENTA	VL-550	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA49.1S3
GI500-08	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	GI	VOLVO PENTA	RVL 550	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA49.1S3
GI500-02	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	GI	VOLVO PENTA	V625-60AS	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA49.1S3
G 500-09	GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Grupos Electrógenos	G	VOLVO PENTA	RVM-550	VOLVO PENTA	TAD1642GE	GENERADOR : LEROY SOMER	GENERADOR : LSA49.1S3

Fuente: RD Rental S.A.C

4.1.1. Aplicación de la metodología RCM al grupo electrógeno diésel de 500kW Volvo Penta

4.1.1.1. Límites del sistema

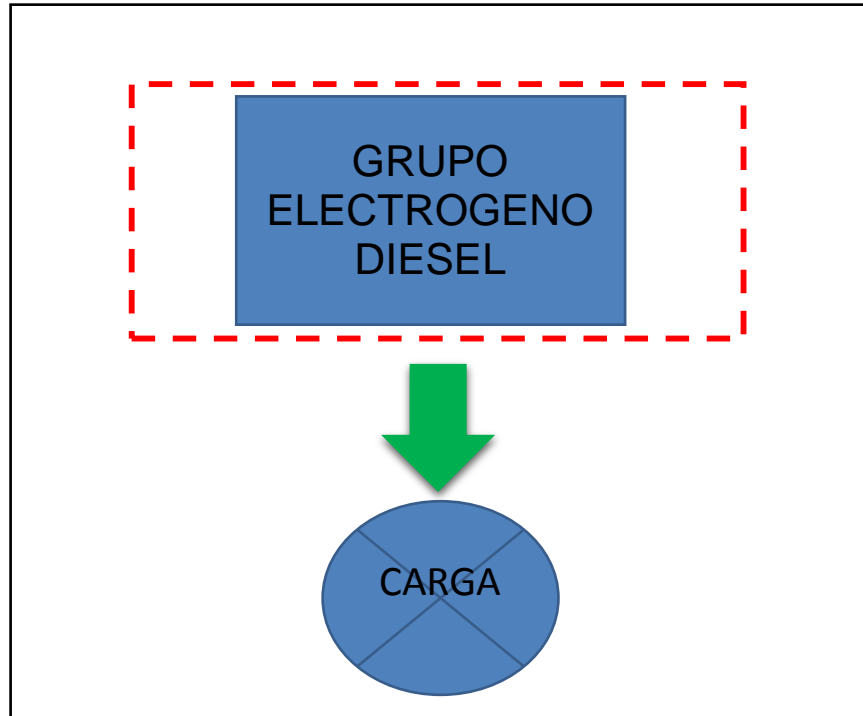


Figura N°35: Límites del grupo electrógeno diésel en operación

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.2. Diagrama Funcional

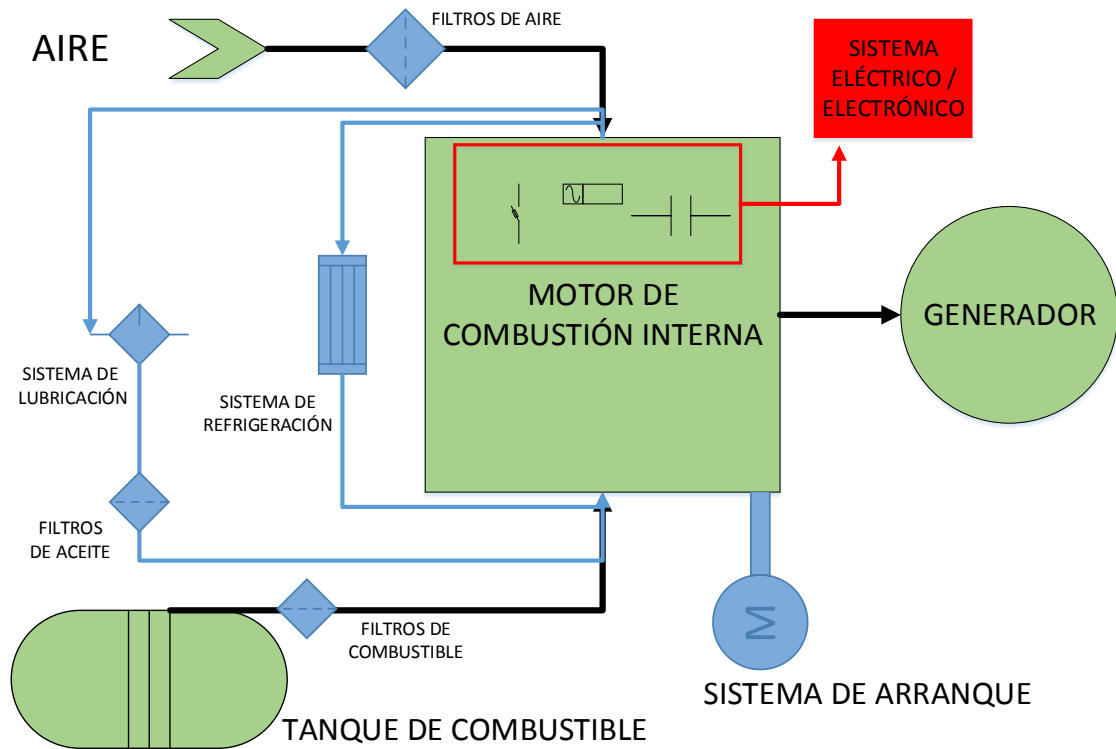


Figura N°36: Diagrama funcional del grupo electrógeno diésel

Fuente: Elaboración Propia

La función principal del grupo electrógeno diésel, es alimentar una carga determinada debido a que no exista energía eléctrica en la zona de trabajo o porque es necesaria más energía de lo que hay. Dependerá de cada cliente determinar donde trabajará el grupo electrógeno y en qué estado se ubicará dentro de su proceso de trabajo.

4.1.1.3. Análisis de modos de fallas y efectos

Tabla N°3: Análisis de modos de falla y efectos del grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 1

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LA FALLA
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FILTRO DE ACEITE	Protege al sistema de lubricación contra las impurezas	No protege de impurezas al circuito de lubricación	Filtro obstruido Filtro dañado Filtro con agua	Baja presión de aceite manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FILTRO BY PASS	Protege al sistema de lubricación contra las impurezas	No protege de impurezas al circuito de lubricación	Filtro obstruido Filtro dañado Filtro con agua	Baja presión de aceite manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	BOMBA DE ACEITE	Bombeeaa caudal de aceite para lubricar las partes del motor	No bombea para lubricar las partes del motor	Dientes rotos de las ruedas de la bomba Ejes de las ruedas en mal estado	Baja presión de aceite manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	ENFRIADOR DE ACEITE	Mantiene frío al aceite que circula por el circuito de lubricación	No mantiene a temperatura fría el aceite que circula por el circuito de lubricación	No contiene refrigerante	Eleva la temperatura del aceite y manda a apagar el grupo
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	VÁLVULAS	Regula el caudal de aceite enviada por la bomba de aceite	No regula adecuadamente el caudal de aceite	Válvulas sucias Válvulas en mal estado	Baja presión de aceite manda a pagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	PRE FILTRO DE COMBUSTIBLE	Protege al sistema de combustible contra las impurezas	No protege al sistema de combustible contra las impurezas	Filtro obstruido Filtro dañado Filtro con agua	Baja presión de combustible manda a apagar el grupo Formación de hollín en cilindros por mala calidad de combustible
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	FILTRO DE COMBUSTIBLE	Protege al sistema de combustible contra las impurezas	No protege al sistema de combustible contra las impurezas	Filtro obstruido Filtro dañado Filtro con agua	Baja presión de combustible manda a apagar el grupo Formación de hollín en cilindros por mala calidad de combustible
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	INYECTORES - BOMBA	Inyecta cantidad de combustible apropiada a la cámara de combustión a alta presión	No inyecta cantidad de combustible apropiada a la cámara de combustión a alta presión	Inyectores no regulados Inyectores rotos Inyectores atrofiados	Baja compresión manda a apagar el equipo Exceso de combustible provoca salida de humo negro
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALIMENTACIÓN	Bombeeaa caudal de combustible para los inyectores bomba	No bombea caudal de combustible a los inyectores bomba	Piñones de los engranajes en mal estado Válvulas de seguridad en mal estado	Baja compresión manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	FAJA DE TRANSMISIÓN	Transmite el movimiento giratorio desde una rueda motriz	No transmite el movimiento giratorio	Faja rota	Grupo electrógeno se apaga

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla N°4: Análisis de modos de falla y efectos del grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 2

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LA FALLA
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	FAJA DE TRANSMISIÓN	Transmite el movimiento giratorio desde una rueda motriz	No transmite el movimiento giratorio	Faja rota	Grupo electrógeno se apaga
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	FAJA DE ALTERNADOR	Transmite el movimiento giratorio de la polea del alternador	No transmite el movimiento giratorio de la polea del alternador	Faja rota	Grupo electrógeno se apaga
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS	Acciona el árbol de levas	No acciona el árbol de levas	Dientes de piñón rotos	Grupo electrógeno se apaga
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DE CIGÜEÑAL	Acciona el cigüeñal	No acciona el cigüeñal	Dientes de piñón rotos	Grupo electrógeno se apaga
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DE ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ACEITE	Acciona el eje de la bomba de aceite	No acciona el eje de la bomba de aceite	Dientes de piñón rotos	Grupo electrógeno se apaga
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DE ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE	Acciona el eje de la bomba de combustible	No acciona el eje de la bomba de combustible	Dientes del piñón rotos	Grupo electrógeno se apaga
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ARRANQUE	ALTERNADOR	Transformar la energía mecánica en energía eléctrica para cargar la batería	No transforma la energía mecánica a eléctrica para cargar la batería	Anillos colectores desgastados Puente rectificador quemado Escobillas desgastadas	La batería no carga adecuadamente produciendo que el equipo no arranque
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ARRANQUE	ARRANCADOR	Vence la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor al arranque	No vence la resistencia inicial de los componentes cinemáticos del motor al arranque	Rotura de piñón Colector en mal estado Solenoides quemados	Grupo electrógeno no arranca
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ARRANQUE	BATERÍAS	Alimenta al circuito eléctrico del motor 12 v	No alimenta al circuito eléctrico del motor 12 V	Bajo nivel de electrolito Baterías vencidas Mala conexión	Grupo electrógeno no arranca No enciende panel de control

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°5: Análisis de modos de falla y efectos del grupo electrógeno diésel de 500 kW - Parte 3

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTOS DE LA FALLA
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	FILTRO DE AIRE	Protege al sistema de admisión contra las impurezas	No protege al sistema de admisión contra las impurezas	Filtro obstruido Filtro dañado	Ingreso de impurezas puede obstruir paso de aire provocando que el grupo electrógeno se apague
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	TURCOMPRESOR	Comprime el aire de ingreso a los cilindros	No comprime el aire de ingreso a los cilindros	Álabes de la turbina en mal estado Eje de rueda con juego axial Excesiva suciedad en el cuerpo	Baja presión de ingreso de aire causa que el grupo electrógeno se apague
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	UNIDAD DE MANDO	Regula la cantidad exacta de combustible y el momento preciso de inyección	No regula la cantidad exacta de combustible y el momento preciso de inyección	Conexiones dañados Unidad de mando quemada	Manda apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Mide la presión de aceite	No mide la presión de aceite	Sensor sucio Sensor en mal estado Sensor mal conectado	Lectura errónea manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	SENSOR DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	Mide la presión de combustible	No mide la presión de combustible	Sensor sucio Sensor en mal estado Sensor mal conectado	Lectura errónea manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	FUSIBLES	Protege al sistema eléctrico de las sobrecargas	No protege al sistema eléctrico de sobrecargas	Fusibles quemados Fusible mal conectados	Provoca cortocircuito y manda a pagar el grupo electrógeno o se incendie
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	SENSOR DE TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	Mide la temperatura del refrigerante	No mide la temperatura de refrigerante	Sensor sucio Sensor en mal estado Sensor mal conectado	Lectura errónea manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	RADIADOR	Refrigera el motor mediante el uso de refrigerante	No refrigera al motor mediante el uso de refrigerante	Celdas obstruidas Radiador roto	Sobrecalentamiento del motor manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	VENTILADOR	Circula aire por el radiador para enfriar el refrigerante que circula en el motor	No circula aire por el radiador para enfriar el refrigerante que circula en el	Álabe roto Ventilador con juego axial o radia	Sobrecalentamiento del motor manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	TERMOSTATO	Protege al motor de sobrecalentamiento	No protege al motor de sobrecalentamiento	Termostato en mal estado vencido	Soplado de empaquetadura de culata por sobrecalentamiento manda a pagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	BOMBA DE AGUA	Bombee caudal de refrigerante para refrigerar las partes del motor	No bombea caudal de refrigerante para refrigerar las partes del motor	Dientes rotos de las ruedas de la bomba Ejes de las ruedas en mal estado	Sobrecalentamiento del motor manda a apagar el grupo electrógeno
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN	Almacena refrigerante	No almacena refrigerante	Tanque roto	Nivel de refrigerante bajo causa sobrecalentamiento de motor y manda a pagar el grupo electrógeno

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: EVALUACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

5.1. Eventos de fallas ocurridos en los grupos electrógenos

5.1.1. Eventos de falla ocurridos en los grupos electrógenos diésel en el 2016

A continuación se presentarán los eventos de falla que fueron reportados por los clientes durante el año 2016 de los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta GI500-02, GI500-08, GI500-12 y GI500-11 tal cual se muestran en las Tabla N°6, Tabla N°7, Tabla N°8 y Tabla N°9 respectivamente. Los grupos GI500-13, GI500-09 y G500-09 no reportaron eventos de por parte de los clientes a los que fueron alquilados durante el año 2016.

Tabla N°6: Eventos de falla – GI500-02 en el 2016

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-02	AGRICOLA SAN JUAN	TAMBOGRANDE	29/11/2016	BATERÍAS DESCARGADAS Y ARRANCADOR EN MAL ESTADO

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°7: Eventos de falla – GI500-08 en el 2016

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-08	CONSTRUCTORA NORBERTO ODEBRETCH	CHAGLLA	20/01/2016	PROBLEMAS EN EL ARRANQUE POR ECU EN MAL ESTADO
2	GI500-08	CONSTRUCTORA NORBERTO ODEBRETCH	CHAGLLA	2/04/2016	PROBLEMAS EN EL ARRANQUE POR BATERÍAS EN MAL ESTADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°8: Eventos de falla – GI500-12 en el 2016

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-12	PETROLEOS DEL PERU	BAYOVAR	7/09/2016	EQUIPO SE APAGA POR RECALENTAMIENTO RADIADOR OBSTRUIDO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°9: Eventos de falla – GI500-11 en el 2016

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-11	COORPORACION LOGISTICA DE MAQUINARIAS	TARAPOTO	16/07/2016	EQUIPO SE APAGA POR ALARMAS EN MODULO (SENSORES SUCIOS)

Fuente: RD Rental S.A.C.

5.1.2. Eventos de falla ocurridos en los grupos electrógenos diésel en el 2017

A continuación se presentarán los eventos de falla que fueron reportados por los clientes durante el año 2017 de los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta GI500-02, GI500-13, GI500-09, GI500-12 y GI500-11 tal cual se muestran en las Tabla N°10, Tabla N°11, Tabla N°12 , Tabla N°13 y Tabla N°14 respectivamente. Los grupos GI500-08 y G500-09 no reportaron eventos de fallas por parte de los clientes a los que fueron alquilados durante el año 2017.

Tabla N°10: Eventos de falla – GI500-02 en el 2017

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-02	PACHAMAMA FARMS S.A.C.	SULLANA	27/11/2018	BORNE DE BATERÍA EN MAL ESTADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°11: Eventos de falla – GI500-13 en el 2017

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-13	IBRETAIL PHARMA	LIMA	14/02/2017	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE FILTRO RACORD CONTAMINADO
2	GI500-13	IBRETAIL PHARMA	LIMA	9/03/2017	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE FILTRO RACORD CONTAMINADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°12: Eventos de falla – GI500-09 en el 2017

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-09	INRETAIL PHARMA	LIMA	14/02/2017	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE FILTRO RACORD CONTAMINADO
2			LIMA	26/03/2017	BASE DE FILTRO DE COMBUSTIBLE ROTO
3	GI500-09	BREXIA GOLDPLATA PERU	CUSCO	22/09/2017	RADIADOR CON EXCESIVA SUCIEDAD
4			CUSCO	17/10/2017	OSCILACIÓN DE RPM POR FILTRO RACORD COTAMINADO
5			CUSCO	26/11/2017	FUGA DE ACEITE POR TAPA DE CARTER
6			CUSCO	6/12/2017	OSCILACIÓN DE RPM POR FILTRO RACORD COTAMINADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°13: Eventos de falla – GI500-12 en el 2017

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-12	AGROINDUSTRIAL POMALCA	CHICLAYO	2/02/2017	LLAVE TÉRMICA INOPERATIVA
2	GI500-12	AGROINDUSTRIAL POMALCA	CHICLAYO	3/07/2017	AVR INOPERATIVA

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°14: Eventos de falla – GI500-11 en el 2017

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTOS
1	GI500-11	EMC GROUP	CARAVELI	8/11/2017	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE EN MAL ESTADO
2	GI500-11	EMC GROUP	CARAVELI	1/12/2018	BAJA PRESION DE COMBUTIBLE POR BASE DE FILTRO EN MAL ESTADO
3	GI500-11	EMC GROUP	CARAVELI	21/12/2017	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE INADECUADOS MANDA A PAGAR EL EQUIPO

Fuente: RD Rental S.A.C.

5.1.3. Eventos de falla ocurridos en los grupos electrógenos diésel en el 2018

A continuación se presentarán los eventos de falla que fueron reportados por los clientes durante el año 2018 de los grupos electrógenos diésel de 500 kW Volvo Penta G500-09, GI500-02, GI500-13, GI500-08, GI500-09, GI500-12 y GI500-11 tal cual se muestran en las Tabla N°15, Tabla N°16, Tabla N°17, Tabla N°18, Tabla N°19, Tabla N°20 y Tabla N°21 respectivamente.

Tabla N°15: Eventos de falla – G500-09 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	G500-09	CONSTRUCTORA KAPALA	HUAMACHUCO	3/02/2018	ARRANCADOR EN MAL ESTADO Y BATERÍAS BAJAS
2			HUAMACHUCO	25/04/2018	3 INYECTORES EN MAL ESTADO CON CAUDAL DE INYECCIÓN FUERA DEL RANGO
3			HUAMACHUCO	3/05/2018	FALLA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE
4			HUAMACHUCO	17/05/2018	SENSOR DE PRESIÓN DE CARTER EN MAL ESTADO
5	G500-09	PETROLEOS DEL PERU S.A.	TALARA	11/08/2018	SECUENCIA DE FASES INVERTIDA
6	G500-09	FEGURRI S.A.C.	PIURA	11/11/2018	BAJA PRESIÓN EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE
7			PIURA	4/12/2018	FILTRO DE COMBUSTIBLE SUCIO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°16: Eventos de falla – GI500-02 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-02	PETROLEOS DEL PERU S.A.	5/07/2018	BOMBA CEBADORA CON FUGA
2	GI500-02	PETROLEOS DEL PERU S.A.	21/08/2018	MÓDULO DE CONTROL Y TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EN MAL ESTADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°17: Eventos de falla – GI500-13 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-13	JJC - MAYO	HUANCABAMBA	24/02/2018	FILTRO DE AIRE MUY SUCIO
2	GI500-13	JJC - MAYO	HUANCABAMBA	23/05/2018	SENSOR DE PRESION DE ACEITE EN MAL ESTADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°18 : Eventos de falla – GI500-08 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-08	MINERA CHULGAR	ALPAMARCA	11/03/2018	INYECTOR ROTO
2	GI500-08	BREXIA GOLDPLATA PERU	CUSCO	19/08/2018	SENSORES DE SINCRONISMO EN MAL ESTADO
3			CUSCO	24/08/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
4			CUSCO	11/09/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
5			CUSCO	28/09/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
6			CUSCO	12/11/2018	ARRANCADOR QUEMADO FILTRO RACOR EN MAL ESTADO
7			CUSCO	16/11/2018	LLAVE TERMOMAGNETICA PRICIPAL DAÑADA
8			CUSCO	18/12/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°19: Eventos de falla – GI500-09 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-09	BREXIA GOLDLPATE	CUSCO	19/01/2018	DESFASE DE LINEAS APGA EL GRUPO
2			CUSCO	26/01/2018	RECALENTAMIENTO POR OBSTRUCCIÓN DE RADIADOR
3			CUSCO	12/02/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
4			CUSCO	26/03/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
5			CUSCO	21/04/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
6			CUSCO	10/05/2018	VARIACION EN LAS RPM POR INYECTORES EN MAL ESTADO
7			CUSCO	21/06/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
8			CUSCO	17/08/2018	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO
9			CUSCO	1/09/2018	EQUIPO FUERA DE SERVICIO POR SOBRECARGA Y RADIADOR OBSTRUIDO
10			CUSCO	14/09/2018	RECALENTAMIENTO DE MOTOR POR RADIADOR EN MAL ESTADO Y SOBRECARGA
11			CUSCO	26/10/2018	BOMBA DE AGUA EN MAL ESTADO
12			CUSCO	9/12/2018	CABLEADO DE ARRANCADOR EN MAL ESTADO

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°20: Eventos de falla – GI500-12 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	MODO FALLA
1	GI500-12	OBRAS DE INGENIERÍA S.A.	OLMOS	27/01/2018	EQUIPO SE APAGA POR BAJO NIVEL DE ACEITE (CONSUMO EXCESIVO DE ACEITE)

Fuente: RD Rental S.A.C.

Tabla N°21: Eventos de falla – GI500-11 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	EVENTO
1	GI500-11	BREXIA GOLDPATE	CUSCO	1/05/2018	EQUIPO CON BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE POR FILTROS OBSTRUIDOS
2			CUSCO	15/05/2018	EQUIPO CON BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE POR FILTROS OBSTRUIDOS
3			CUSCO	29/05/2018	EQUIPO SE MOTORIZA

Fuente: RD Rental S.A.C.

5.2. Resultados en tablas y gráficos

5.2.1. Valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos diésel en el año 2016

Tabla N°22: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-02 en el 2016

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE FIN DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-02	AGRICOLA SAN JUAN	TAMBOGRANDE	29/11/2016	30/11/2016	1.00	24	BATERÍAS DESCARGADAS Y ARRANCADOR EN MAL ESTADO	3/10/2016	10/01/2017	9094	9108	14	1	14	24	37%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°23: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-08 en el 2016

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DEFALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE FIN DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-08	CONSTRUCTORA NORBERTO ODEBRETCH	CHAGLLA	20/01/2016	22/01/2016	2.00	48	PROBLEMAS EN EL ARRANQUE POR ECU EN MAL ESTADO	18/11/2015	2/05/2016	5169	5234	65	2	33	48	40%
2				2/04/2016	4/04/2016	2.00	48	PROBLEMAS EN EL ARRANQUE POR BATERÍAS EN MAL ESTADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°24: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-12 en el 2016

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DIAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-12	PETROLEOS DEL PERU	BAYOVAR	7/09/2016	8/09/2016	1.00	24	EQUIPO SE APAGA POR RECALENTAMIENTO RADIADOR OBSTRUIDO	25/07/2016	16/09/2016	4588	5463	875	1	875	24	97%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°25: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-11 en el 2016

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TÉRMINO DE ALQUILER	HORÓMETRO INICIAL	HORÓMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-11	COORPORACION LOGISTICA DE MAQUINARIAS	TARAPOTO	16/07/2016	19/07/2016	3.00	72	EQUIPO SE APAGA POR ALARMAS EN MODULO (SENSORES SUCIOS)	31/05/2016	24/10/2016	2695	2880	185	1	185	72	72%

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos diésel en el año 2017

Tabla N°26: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-02 en el 2017

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TÉRMINO DE ALQUILER	HORÓMETRO INICIAL	HORÓMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-02	PACHAMAMA FARMS S.A.C.	SULLANA	27/11/2018	28/11/2018	1.00	24	BORNE DE BATERÍA EN MAL ESTADO	24/11/2017	6/06/2018	9500	9534	34	1	34	24	59%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°27: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-13 en el 2017

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-13	IBRETAIL PHARMA	LIMA	14/02/2017	15/02/2017	1.00	24	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE FILTRO RACORD CONTAMINADO	6/10/2016	27/04/2017	5563	6498	935	2	467.5	24	95%
2			LIMA	9/03/2017	10/03/2017	1.00	24	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE FILTRO RACORD CONTAMINADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°28: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-09 en el 2017

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE FIN DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-09	INRETAIL PHARMA	LIMA	14/02/2017	15/02/2017	1.00	24	BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE FILTRO RACORD CONTAMINADO	13/02/2017	27/04/2017	1496	1703	207	2	103.5	24	81%
2			LIMA	26/03/2017	27/03/2017	1.00	24	BASE DE FILTRO DE COMBUSTIBLE ROTO									
3	GI500-09	BREXIA GOLDPLATA PERU	CUSCO	22/09/2017	23/09/2017	1.00	24	RADIADOR CON EXCESIVA SUCIEDAD	26/06/2017	31/12/2017	1705	4699	2994	4	748.5	30	96%
4			CUSCO	17/10/2017	18/10/2017	1.00	24	OSCILACIÓN DE RPM POR FILTRO RACORD COTAMINADO									
5			CUSCO	26/11/2017	27/11/2017	1.00	24	FUGA DE ACEITE POR TAPA DE CARTER									
6			CUSCO	6/12/2017	8/12/2017	2.00	48	OSCILACIÓN DE RPM POR FILTRO RACORD COTAMINADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°29: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-12 en el 2017

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DEFALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-12	AGROINDUSTRIAL POMALCA	CHICLAYO	2/02/2017	2/02/2017	0.00	0	LLAVE TÉRMICA INOPERATIVA	19/01/2017	6/07/2017	5465	6937	1472	2	736	24	97%
2			CHICLAYO	3/07/2017	5/07/2017	2.00	48	AVR INOPERATIVA									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°30: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-11 en el 2017

ITEM	CÓDIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTOS	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-11	EMC GROUP	CARAVELI	8/11/2017	9/11/2017	1.00	24	TRANSFORMADOR DE CORRIENTE EN MAL ESTADO	26/10/2017	12/02/2018	2925	4577	1652	3	551	16	97%
2				1/12/2018	1/12/2018	0.00	0	BAJA PRESION DE COMBUTIBLE POR BASE DE FILTRO EN MAL ESTADO									
3				21/12/2017	22/12/2017	1.00	24	TRANSFORMADORES DE CORRIENTE INADECUADOS MANDA A PAGAR EL EQUIPO									

Fuente: Elaboración propia

5.2.3. Valores de MTBF y MTTR de los grupos electrógenos diésel en el año 2018

Tabla N°31: MTBF y MTTR del grupo electrógeno G500-09 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE FIN DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	G500-09	CONSTRUCTORA KAPALA	HUAMACHUCO	3/02/2018	5/02/2018	2.00	48	ARRANCADOR EN MAL ESTADO Y BATERÍAS BAJAS	18/01/2018	27/06/2018	4349	4438	89	4	22.25	60	27%
2				25/04/2018	30/04/2018	5.00	120	3 INYECTORES EN MAL ESTADO CON CAUDAL DE INYECCIÓN FUERA DEL RANGO									
3				3/05/2018	5/05/2018	2.00	48	FALLA EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE									
4				17/05/2018	18/05/2018	1.00	24	SENSOR DE PRESIÓN DE CARTER EN MAL ESTADO									
5		PETROLEOS DEL PERU S.A.	TALARA	11/08/2018	12/08/2018	1.00	24	SECUENCIA DE FASES INVERTIDA	9/08/2018	19/08/2018	4443	4468	25	1	25	24	51%
6		FEGURRI S.A.C.	PIURA	11/11/2018	11/11/2018	0.00	0	BAJA PRESIÓN EN EL SISTEMA DE COMBUSTIBLE	9/10/2018	11/01/2019	4469	4507	38	2	19	12	61%
7				4/12/2018	5/12/2018	1.00	24	FILTRO DE COMBUSTIBLE SUCIO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°32: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-02 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DIAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-02	PETROLEOS DEL PERU S.A.	PIURA	5/07/2018	6/07/2018	1.00	24	BOMBA CEBADORA CON FUGA	3/07/2018	21/09/2018	9535	10438	903	2	451.5	24	95%
2				21/08/2018	22/08/2018	1.00	24	MÓDULO DE CONTROL Y TRANSFORMADORES DE CORRIENTE EN MAL ESTADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°33: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-13 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-13	JJC - MAYO	HUANCABAMBA	24/02/2018	26/02/2018	2.00	48	FILTRO DE AIRE MUY SUCIO	15/01/2018	14/07/2018	6508	7545	1037	2	519	48	92%
2				23/05/2018	25/05/2018	2.00	48	SENSOR DE PRESION DE ACEITE EN MAL ESTADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°34: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-08 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-08	MINERA CHULGAR	ALPAMARCA	11/03/2018	12/03/2018	1.00	24	INYECTOR ROTO	15/01/2018	27/03/2018	3319	4720	1401	1	1401	24	98%
2	GI500-08	BREXIA GOLDPLATA PERU	CUSCO	19/08/2018	21/08/2018	2.00	48	SENSORES DE SINCRONISMO EN MAL ESTADO	4/08/2018	20/01/2019	4738	5893	1155	7	165	58	74%
3				24/08/2018	25/08/2018	1.00	24	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
4				11/09/2018	13/09/2018	2.00	48	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
5				28/09/2018	30/09/2018	2.00	48	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
6				12/11/2018	14/11/2018	2.00	48	ARRANCADOR QUEMADO FILTRO RACOR EN MAL ESTADO									
7				16/11/2018	23/11/2018	7.00	168	LLAVE TERMOMAGNETICA PRICIPAL DAÑADA									
8				18/12/2018	19/12/2018	1.00	24	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°35: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-09 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HORIMETRO INICIAL	HORIMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-09	BREXIA GOLDLPATE	CUSCO	19/01/2018	20/01/2018	1.00	24	DESFASE DE LINEAS APGA EL GRUPO	1/01/2018	31/01/2019	4754	12915	8161	12	680	42	0.94
2				26/01/2018	28/01/2018	2.00	48	RECALENTAMIENTO POR OBSTRUCCIÓN DE RADIADOR									
3				12/02/2018	14/02/2018	2.00	48	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
4				26/03/2018	28/03/2018	2.00	48	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
5				21/04/2018	23/04/2018	2.00	48	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
6				10/05/2018	10/05/2018	0.00	0	VARIACION EN LAS RPM POR INYECTORES EN MAL ESTADO									
7				21/06/2018	22/06/2018	1.00	24	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
8				17/08/2018	18/08/2018	1.00	24	EQUIPO SE APAGA FRECUENTEMENTE. FILTRO RACORD EN MAL ESTADO									
9				1/09/2018	2/09/2018	1.00	24	EQUIPO FUERA DE SERVICIO POR SOBRECARGA Y RADIADOR OBSTRUIDO									
10				14/09/2018	21/09/2018	7.00	168	RECALENTAMIENTO DE MOTOR POR RADIADOR EN MAL ESTADO Y SOBRECARGA									
11				26/10/2018	27/10/2018	1.00	24	BOMBA DE AGUA EN MAL ESTADO									
12				9/12/2018	10/12/2018	1.00	24	CABLEADO DE ARRANCADOR EN MAL ESTADO									

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°36: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-12 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	MODO FALLA	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TÉRMINO DE ALQUILER	HORÓMETRO INICIAL	HORÓMETRO FINAL	HORAS TRABAJADAS	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-12	OBRAS DE INGENIERÍA S.A.	OLMOS	27/01/2018	28/01/2018	1.00	24	EQUIPO SE APAGA POR BAJO NIVEL DE ACEITE (CONSUMO EXCESIVO DE ACEITE)	15/12/2017	27/02/2018	6951	7185	234	1	234	24	91%

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°37: MTBF y MTTR del grupo electrógeno GI500-11 en el 2018

ITEM	CODIGO	CLIENTE	OBRA	FECHA DE REPORTE DE FALLA	FECHA DE SOLUCIÓN DE FALLA	DÍAS INOPERATIVOS	HORAS INOPERATIVAS	EVENTO	FECHA DE INICIO DE ALQUILER	FECHA DE TERMINO DE ALQUILER	HOROMETRO INICIAL	HOROMETRO FINAL	HORAS DE TRABAJO	N° DE FALLAS	MTBF	MTTR	DISPONIBILIDAD
1	GI500-11	BREXIA GOLDLPATE	CUSCO	1/05/2018	3/05/2018	2.00	48	EQUIPO CON BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE POR FILTROS OBSTRUIDOS	19/04/2018	28/08/2018	4577	5160	583	3	194	56	78%
2			CUSCO	15/05/2018	17/05/2018	2.00	48	EQUIPO CON BAJA PRESIÓN DE COMBUSTIBLE POR FILTROS OBSTRUIDOS									
3			CUSCO	29/05/2018	1/06/2018	3.00	72	EQUIPO SE MOTORIZA									

Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. Plan de mantenimiento propuesto el grupo electrógeno diésel de 500 kW

Tabla N°38: Plan de mantenimiento para el grupo electrógeno diésel de 500 kW
- Parte 1

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	Acción de Mantenimiento	Descripción de acción de mantenimiento	Intervalo	Unidad Intervalo
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FILTRO DE ACEITE	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de filtro de aceite y cambio de aceite	200	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	FILTRO BY PASS	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de filtro de aceite y cambio de aceite	200	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	BOMBA DE ACEITE	Medición periódica	Medición de la presión de aceite	200	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	ENFRIADOR DE ACEITE	Inspección periódica	Inspección de estado del enfriador y nivel de refrigerante interno	200	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE LUBRICACIÓN	VÁLVULAS	Inspección periódica	Revisión de estado de válvulas	200	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	PRE FILTRO DE COMBUSTIBLE	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de filtro de combustible	150	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	FILTRO DE COMBUSTIBLE	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de filtro de combustible	150	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	INYECTORES - BOMBA	Medición periódica	Medición de la compresión	300	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	BOMBA DE ALIMENTACIÓN	Medición periódica	Medición de la presión de combustible	300	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	FAJA DE TRANSMISIÓN	Inspección periódica	Inspección del estado de la faja (verificar grietas)	350	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	FAJA DE ALTERNADOR	Inspección periódica	Inspección del estado de la faja (verificar grietas)	350	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS	Inspección periódica	Verificar estado de dientes	750	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DE CIGÜEÑAL	Inspección periódica	Verificar estado de dientes	750	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DE ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE ACEITE	Inspección periódica	Verificar estado de dientes	750	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	PIÑÓN DE ACCIONAMIENTO DE LA BOMBA DE COMBUSTIBLE	Inspección periódica	Verificar estado de dientes	750	Hora

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N°39: Plan de mantenimiento para el grupo electrógeno diésel de 500 kW
- Parte 1

EQUIPO	SISTEMA	COMPONENTE	Acción de Mantenimiento	Descripción de acción de mantenimiento	Intervalo	Unidad Intervalo
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ARRANQUE	ALTERNADOR	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de escobillas y verificación de componentes internos	500	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ARRANQUE	ARRANCADOR	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de colector y verificación del bendix	500	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ARRANQUE	BATERÍAS	Inspección periódica	Verificar nivel de electrolito y carga de la batería	1	Día
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	FILTRO DE AIRE	Mantenimiento/Overhaul periódico	Cambio de filtro de aire	250	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE ADMISIÓN Y ESCAPE	TURCOMPRESOR	Medición periódica	Inspección de estado de turbocompresor	500	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	UNIDAD DE MANDO	Inspección periódica	Inspección de Unidad de mando verificar conexiones	250	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	SENSOR DE PRESIÓN DE ACEITE	Inspección periódica	Limpieza de conectores / comprobación de lectura	150	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	SENSOR DE PRESIÓN DE COMBUSTIBLE	Inspección periódica	Limpieza de conectores / comprobación de lectura	150	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	FUSIBLES	Inspección periódica	Limpieza y/o cambio de fusibles en mal estado	150	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA ELÉCTRICO ELECTRÓNICO	SENSOR DE TEMPERATURA DE REFRIGERANTE	Inspección periódica	Limpieza de conectores / comprobación de lectura	150	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	RADIADOR	Mantenimiento/Overhaul periódico	Limpieza de paneles y celdas obstruidas	500	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	VENTILADOR	Inspección periódica	Verificación de estado de álabes y juego axial y/o radial del eje de ventilador	250	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	TERMOSTATO	Prueba funcional periódica	Prueba de apertura y cierre de termostato	500	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	BOMBA DE AGUA	Inspección periódica	Medición de la presión de agua e inspección de componentes internos	500	Hora
GRUPO ELECTRÓGENO	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	DEPÓSITO DE EXPANSIÓN	Prueba funcional periódica	Verificar grietas y/o huecos llenando el depósito completamente	500	Hora

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Discusión de los resultados

5.3.1. Resultados de la recopilación de los eventos de fallas

En el anexo N°16 y N° 17 se coparan los valores de N° de desconexiones y Horas inoperativas respectivamente por mes / Año.

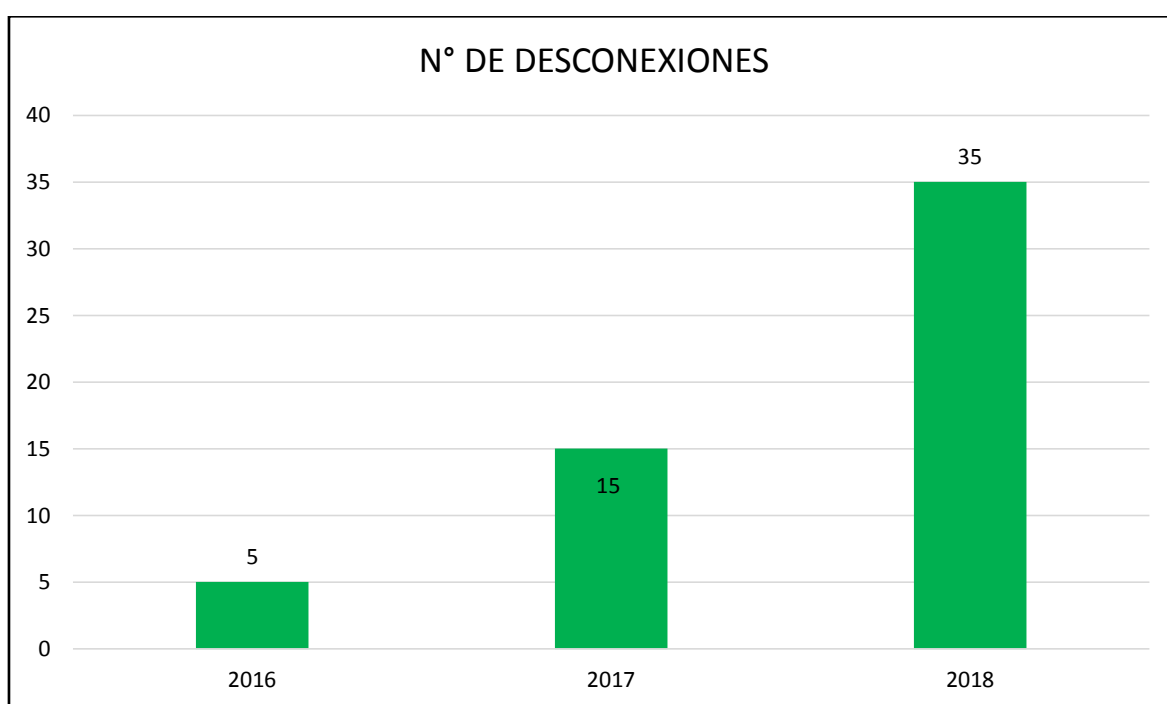


Figura N°37: N° de desconexiones (fallas) por año

Fuente: Elaboración Propia

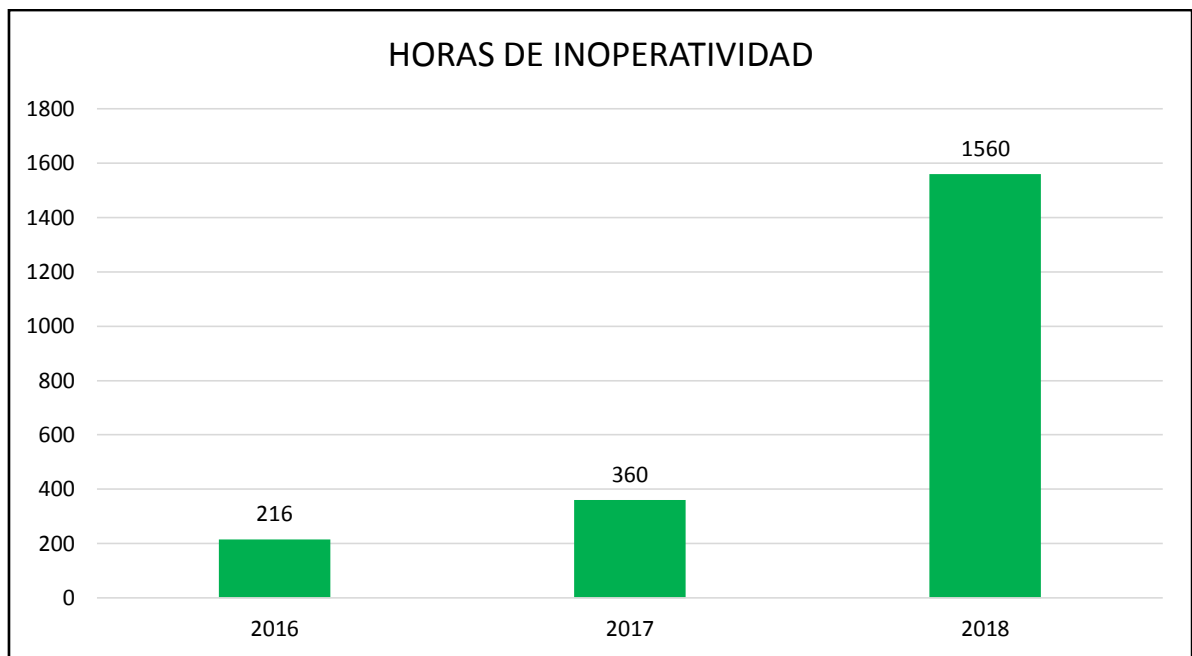


Figura N°38: Horas inoperativas por año

Fuente: Elaboración Propia

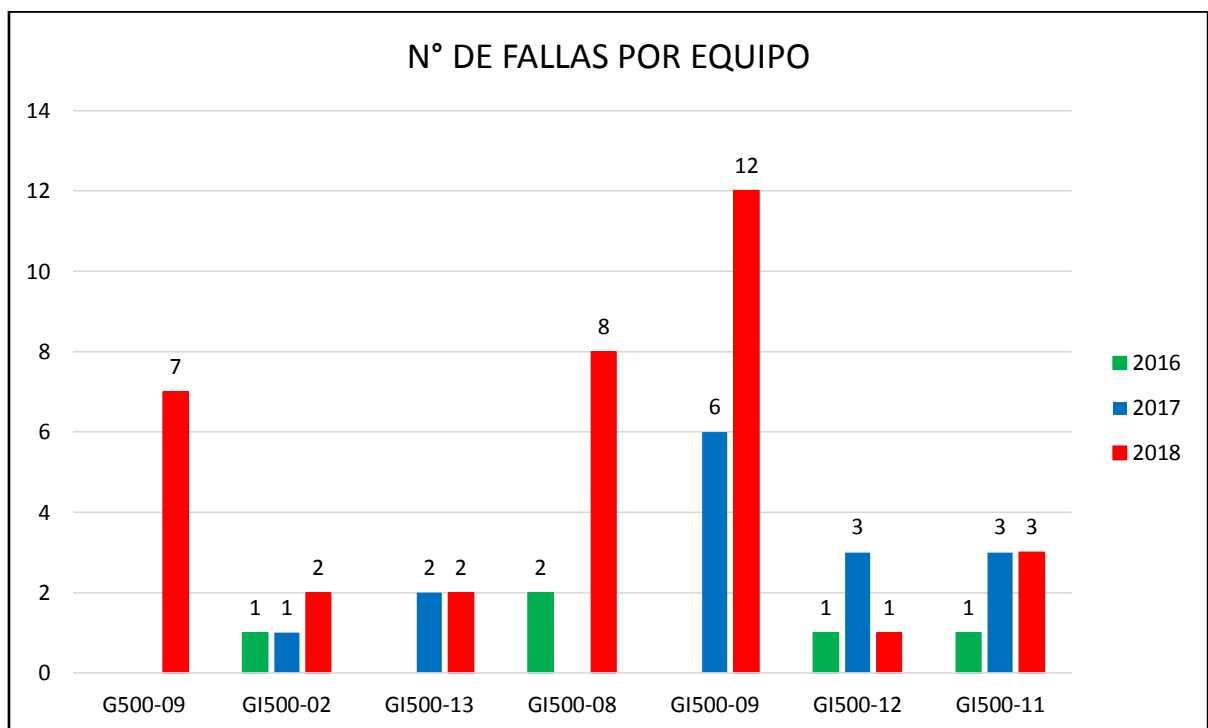


Figura N°39: N° de fallas por equipos

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- a) Después de obtener la data de historiales de mantenimiento de cada grupo electrógeno, se calculó los valores de MTBF y MTTR en los años 2016, 2017 y 2018 y para cada cliente como se muestran en las Tabla N°22, Tabla N°23, Tabla N°24, Tabla N°25, Tabla N°26, Tabla N°27, Tabla N°28, Tabla N°29, Tabla N°30, Tabla N°31, Tabla N°32, Tabla N°33, Tabla N°34, Tabla N°35, Tabla N°36 y Tabla N°37. Se obtuvo como resultado que en el 2018 se presentó un 233,33% más de número de fallas que en el 2017 y un 700% más que en el 2016. Además se pudo demostrar que en el 2018 se obtuvo un 433,33% más de horas inoperativas que en el 2017 y un 722,22% más que en 2016 (Ver figura N°37 y Figura N°38).
- b) Gracias a la metodología RCM se pudo determinar los modos de falla y efectos de los para los grupos electrógenos de 500 kW lográndose identificar 7 sistemas que conforman un grupo electrógeno diésel de 500 kW los cuales se muestran en la Tabla N°3, tablas N°4 y Tabla N°5.
- c) Como resultado del análisis de modos de falla efectuado, se pudo establecer y proponer actividades de mantenimiento para los grupos electrógenos de 500 kW que se muestran en la Tabla N°38 y Tabla N°39.

6.2. Recomendaciones

- a) Evaluar los historiales de mantenimiento de los demás equipos que conforman la flota de RD Rental S.A.C. de tal manera que se puedan obtener los valores de MTBF y MTTR.
- b) Implementar nuevos formatos para los historiales de mantenimiento y registro de eventos de fallas que son reportados por los clientes.
- c) Aplicar la metodología RCM para los demás equipos que conforman la flota de RD Rental S.A.C. de tal manera que se determine sus modos de fallas y efectos.
- d) Proponer mejoras de acciones continuas con el fin de poder mejorar el plan de mantenimiento propuesto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) (ER&M), Engineering Reliability and Management. *Confiabilidad Operacional como soporte del mantenimiento*. 2003.
- 2) Soltero, Cesar, ed. s.f. <http://motoreselectricoscecytej.blogspot.com/> (último acceso: 04 de Febrero de 2019).
- 3) Augusto Tavares, Lourival. «Auditorías de Gestión de mantenimiento.» 2006.
- 4) Bastidas Quispe, Edison Hugo. «Mantenimiento basado en la confiabilidad para mejorar la disponibilidad mecánica de los grupos electrógenos OLYMPIA GEP110-04 en el proyecto Flowline lote 56 de la empresa SEPRETBOL PERÚ S.A.C.» Huancayo, Noviembre de 2013.
- 5) Castillo O., Luis M. «Diseño de plan de mantenimiento preventivo para grupo electrógeno de radio bases.» Sartenejas, Febrero de 2010.
- 6) Collantes Bohorquez, Jaime. «Estrategias de mantenimiento.» s.f.
- 7) Cuarta Perez, Luis Alberto. «¿Qué es el mantenimiento?» 2008.
- 8) Da Costa Burga, Martin. «Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a motores a gas de dos tiempos en pozos de altas producción.» Lima, Agosto de 2010.
- 9) Espinoza, Henry. *Mantenimiento centrado en la confiabilidad*. Puerto la Cruz: Universidad de Oriente Nucleo de Anzoategui , 2013.

- 10)Garcia Garrido, Santiago. *Ingeniería de Mantenimiento*. Madrid: RENOVETEC, 2012.
- 11)Garrido, Santiago Garcia. «Colección de Mantenimiento Industrial .» Madrid: RENOVETEC, 2009.
- 12)Guevara Avalos, Edgardo Patricio. «Aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad a los grupos electrógenos de la estación Tapir A del bloque 17 Petroriental.» Riobamba, Noviembre de 2016.
- 13)Huerta Mendoza, Rosendo. «El Análisis de Criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional.» *PDVSA E & P Occidente*, 2002: 12.
- 14)Magazine, Uptime. Elementos Up Time Pasaporte. 2014.
- 15)Martinez Villegas, Albert. «Motores de Combustión Interna.» Sant Celoni, Barcelona , 18 de Enero de 2007.
- 16)Mendivil Guillén, Carlos Alberto y Montenegro Peralta, Santos Yony. «Implementación de un plan de mantenimiento predictivo para disminuir las fallas en el grupo electrógeno Cummins C2000N6C en la empresa Kimberly Clark E.I.R.L. para el año 2016.» Lima, 2017.
- 17)Montaña Riveros, Leonardo, y Elkin Rosas Niño. «Diseño de un sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad y análisis de modos y efectos de falla en la planat de coque de fabricación primaria en la empresa Acerías Paz del Rio S.A.» 2006.

- 18) Moubray, Jhon. *Mantenimiento centrado en Confiabilidad - Edición en español*. Traducido por Sueiro y Asociados Ellman. Buenos Aires - Madrid, 2004.
- 19) —. *Mantenimiento Centrado en la confiabilidad*. Traducido por Sueiro y Asociados Ellmann. Madrid: Aladon Ltd, 1997.
- 20) Orrego Barrera, Juan Carlos. «Análisis de Criticidad.» *www.mantonline-rcm.com*. s.f.
- 21) Palomares Quintanilla, Elvis David. «Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en el sistema de izaje mineral de la compañía Milpo unidad "El Porvenir".» Lima, 2015.
- 22) Pascual J., Rodrigo. «El arte de mantener.» Santiago: Departamento de Ingeniería Mecánica Universidad de Chile, Setiembre de 2008.
- 23) PEMEX. Sistema de Confiabilidad Operacional. 2007.
- 24) Rodríguez Araujo, Jorge. *Gestión del Mantenimiento*. 2008.
- 25) Romero Carranza, Pablo. «Análisis de criticidad y estudio RCM del equipo de máxima criticidad de una planta desmotadora de algodón.» Sevilla, 2003.
- 26) Rovira de Antonio, Antonio, y Martha Muñoz Domínguez. «Motores de Combustión Interna.» Madrid, 2015.
- 27) Smith, Anthony. *Reliability-Centered Maintenance (Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad)*. New York: McGraw Hill, 1993.

- 28) Stephen, J.Chapman. *Máquinas Eléctricas*. Bogotá: McGraw Hill Interamericana Editores S.A., 2012.
- 29) TECSUP. «Planificación y programación del mantenimiento.» Lima, 2015.
- 30) Wikipedia, Colaboradores de. *Grupo electrógeno*. Editado por La enciclopedia libre Wikipedia. s.f.
https://es.wikipedia.org/wiki/Grupo_electr%C3%B3geno (último acceso: 02 de Febrero de 2019).
- 31) «www.rcm-confiabilidad.com.ar.» 30 de Octubre de 2005.
- 32) Zavalar Gaibor, Marco Antonio. «Implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en el grupo electrógeno FG Wilson P-300 de las granjas avícolas de la empresa Procesadora Nacional de Alimentos Zona Bucay.» Riobamba, Octubre de 2017.

ANEXOS

Anexo N°1: Ficha técnica – GI500-13

HOJA DE EQUIPO CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : GI500-13	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2013
Peso de Equipo : 6000 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 5400 (mm.)
	Ancho : 1700 (mm.)
	Alto : 3000 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : VOLVO - LEROY	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : VL550-C	Modelo : TAD1642GE
Serie : 666550135	Número de Serie : 2016071906
Horómetro Actual : 7545.00	
	GENERADOR : LEROY SOMER
	Modelo : LSA49.1S3
	Número de Serie : CHNM14367

Fuente: RD Rental S.A.C

Anexo N°2: Ficha técnica – GI500-11

HOJA DE EQUIPO CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : GI500-11	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2013
Peso de Equipo : 6000 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 5400 (mm.)
	Ancho : 1700 (mm.)
	Alto : 2650 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : VOLVO PENTA	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : VL-550	Modelo : TAD1642GE
Serie : 666550134	Número de Serie : 2016073141
Horómetro Actual : 5364.80	
	GENERADOR : LEROY SOMER
	Modelo : LSA49.1S3
	Número de Serie : CJ7M15919

Fuente: RD Rental S.A.C

Anexo N°3: Ficha técnica – GI500-12

HOJA DE EQUIPO	
CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : GI500-12	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2014
Peso de Equipo : 6000 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 5400 (mm.)
	Ancho : 1700 (mm.)
	Alto : 2650 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : VOLVO PENTA	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : VL-550	Modelo : TAD1642GE
Serie : 666550133	Número de Serie : 2016071908
Horómetro Actual : 7185.70	GENERADOR : LEROY SOMER
	Modelo : LSA 49.1S3
	Número de Serie : CJ7M15918

Fuente: RD Rental S.A.C

Anexo N°4: Ficha técnica – GI500-09

HOJA DE EQUIPO	
CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : GI500-09	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2013
Peso de Equipo : 6000 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 5400 (mm.)
	Ancho : 1700 (mm.)
	Alto : 3000 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : VOLVO PENTA	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : VL-550	Modelo : TAD1642GE
Serie : 666550131	Número de Serie : 2016066104
Horómetro Actual : 13243.00	GENERADOR : LEROY SOMER
	Modelo : LSA49.1S3
	Número de Serie : CHNM14366

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°5: Ficha técnica – GI500-08

HOJA DE EQUIPO	
CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : GI500-08	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2012
Peso de Equipo : 6000 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 5400 (mm.)
	Ancho : 1700 (mm.)
	Alto : 3000 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : VOLVO PENTA	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : RVL 550	Modelo : TAD1642GE
Serie : 666550123	Número de Serie : 2016062743
Horómetro Actual : 5924.00	GENERADOR : LEROY SOMER
	Modelo : LSA49.1S3
	Número de Serie : CH3M12689

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°6: Ficha técnica – GI500-02

HOJA DE EQUIPO	
CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : GI500-02	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2011
Peso de Equipo : 5590 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 3400 (mm.)
	Ancho : 1200 (mm.)
	Alto : 2100 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : BAIFA	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : V625-60AS	Modelo : TAD1642GE
Serie : 110401D	Número de Serie : 2016050253
Horómetro Actual : 8087.30	GENERADOR : NEWAGE STAMFORD
	Modelo : HC.I544E1
	Número de Serie : X10E191139

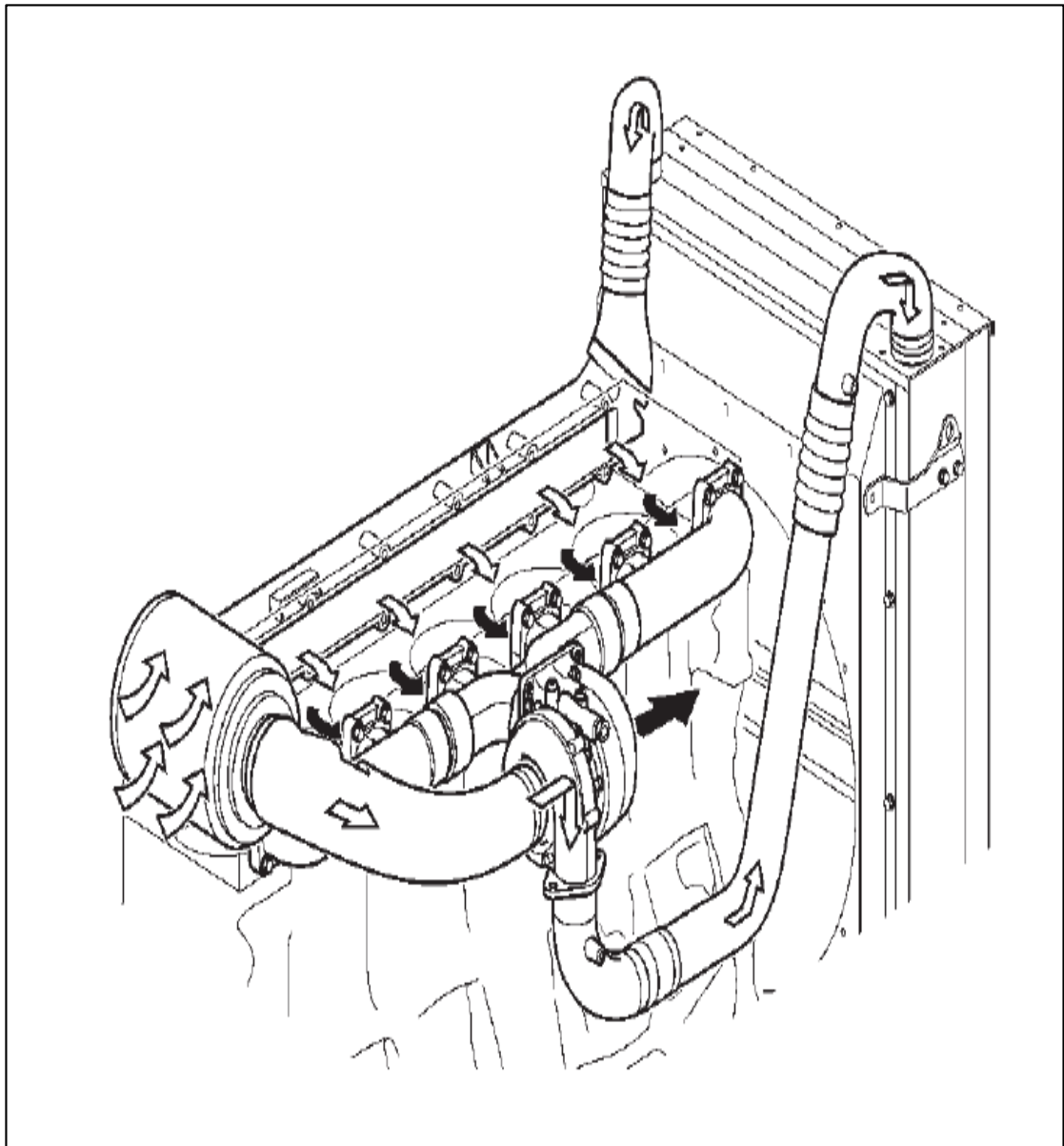
Fuente: RD Rental S.A.C

Anexo N°7: Ficha técnica – G500-09

HOJA DE EQUIPO	
CARACTERISTICAS GENERALES	
CÓDIGO DEL EQUIPO : G500-09	
Información General	
Descripción : GRUPO ELECTRÓGENO INSONORIZADO DE 500 KW (POT. CONTINUA)	Año de Fabricación : 2008
Peso de Equipo : 5400 KG	Dimensiones
Tipo de Combustible : Diesel D2	Largo : 4600 (mm.)
	Ancho : 1600 (mm.)
	Alto : 2150 (mm.)
Datos del Equipo	
Marca : RD	MOTOR : VOLVO PENTA
Modelo : RVM-550	Modelo : TAD1642GE
Serie : 686550113	Número de Serie : 2016031360
Horómetro Actual : 4507.50	GENERADOR : MARATHON ELECTRIC
	Modelo : 572RSL4028
	Número de Serie : WA-560694-0907

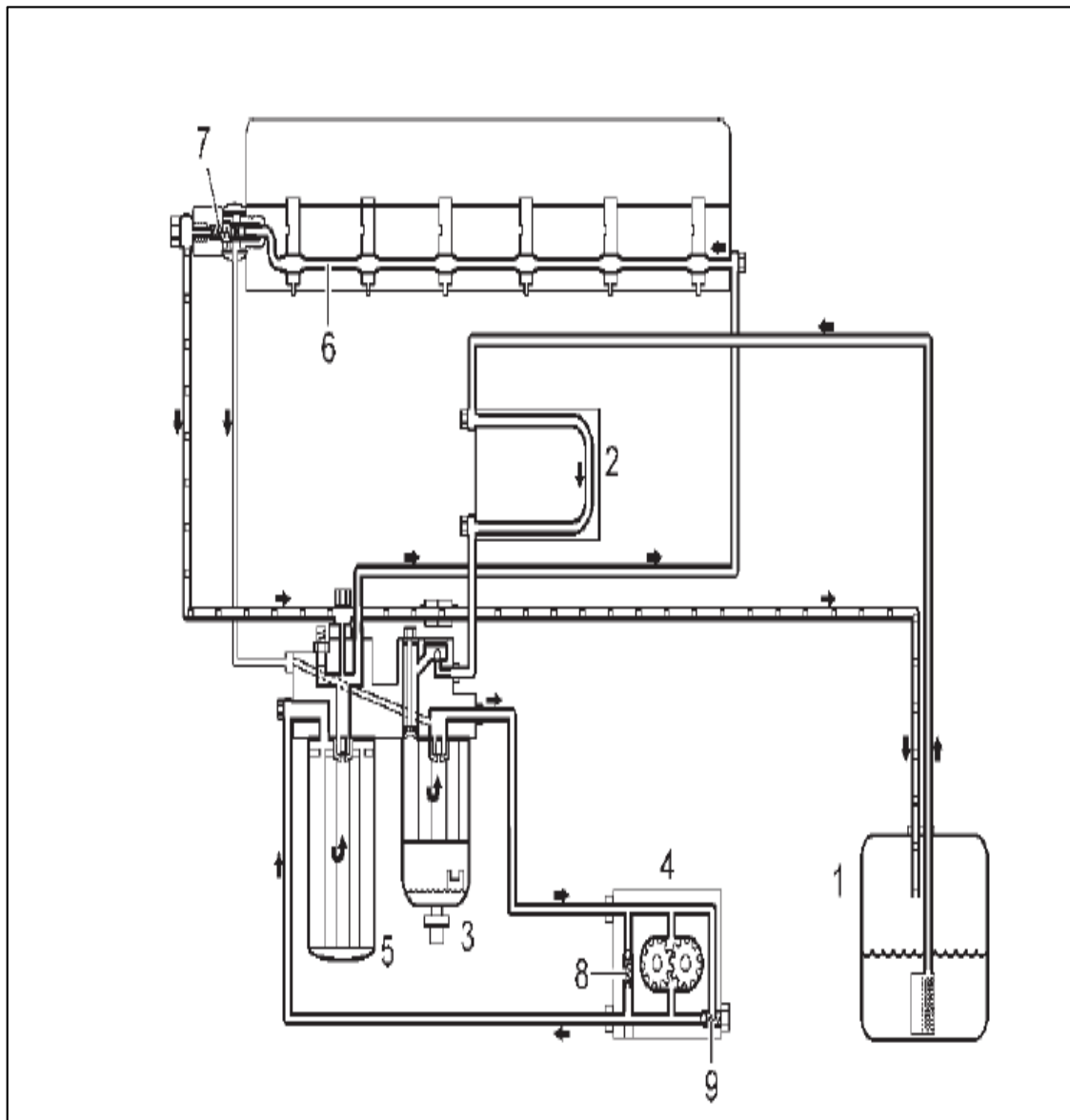
Fuente: RD Rental S.A.C

Anexo N°8: Circuito del sistema de admisión y escape de aire



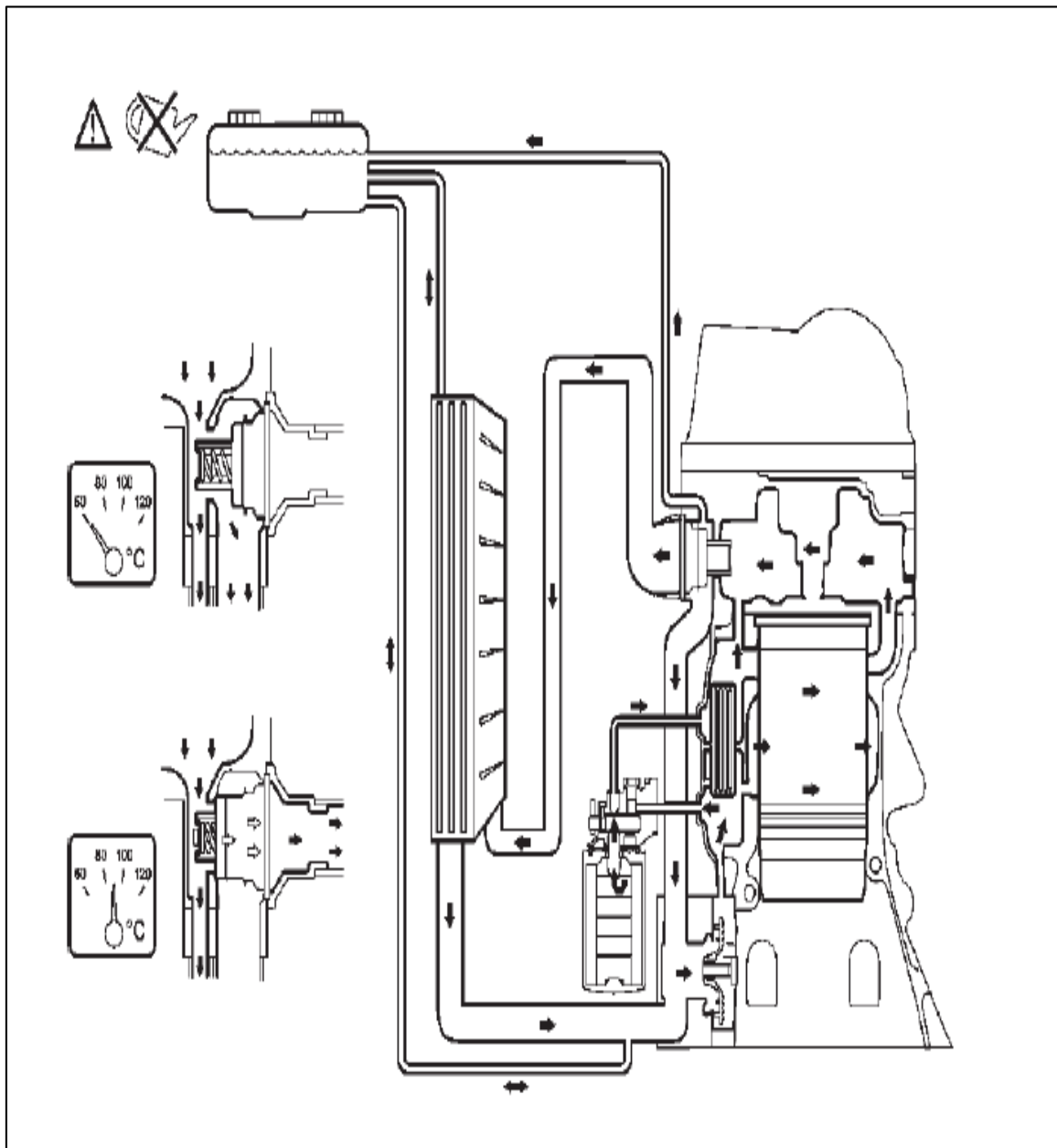
Fuente: RD Rental

Anexo N°9: Circuito del sistema de alimentación de combustible



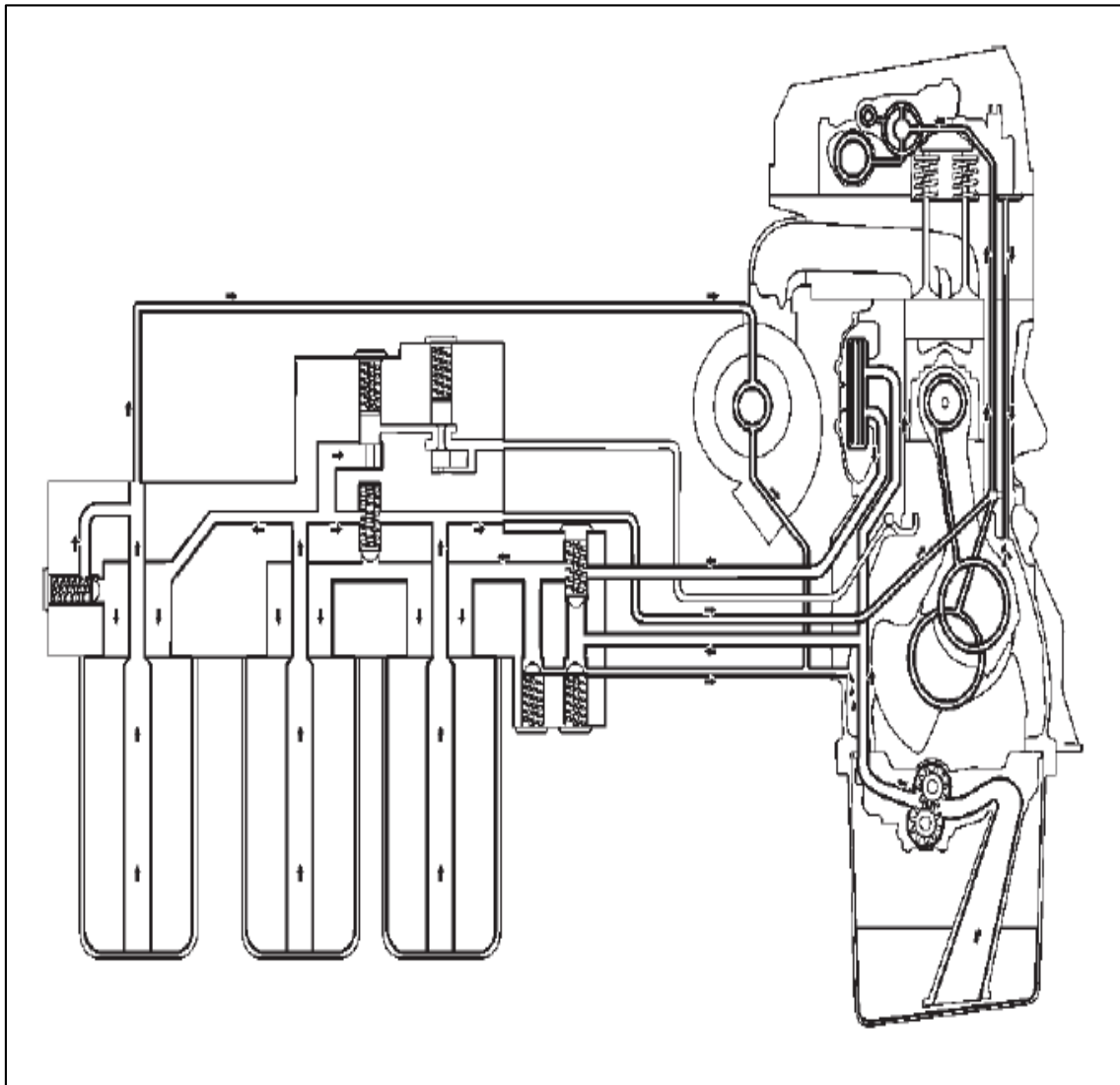
Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°10: Circuito del sistema de refrigeración



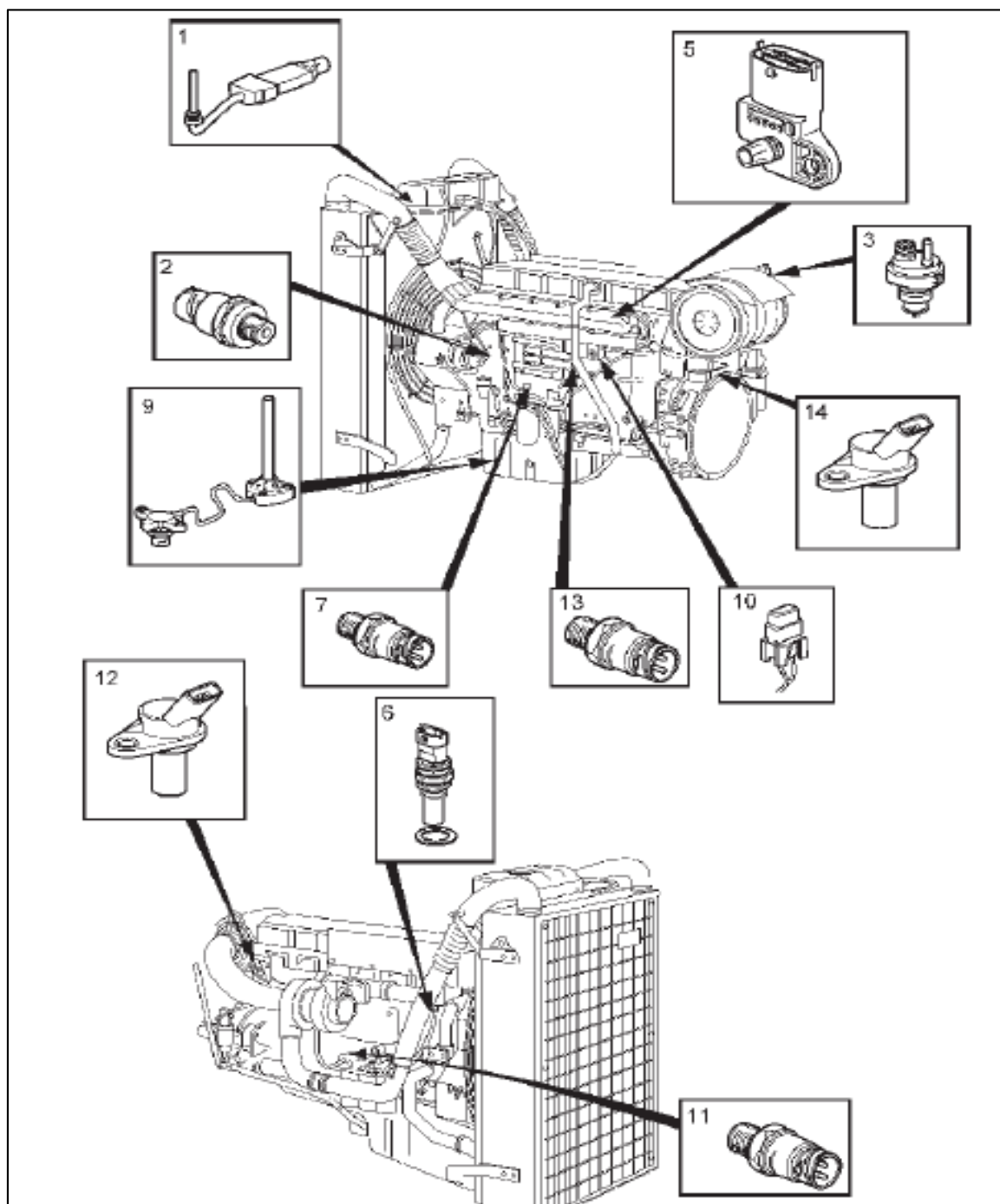
Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°11: Circuito del sistema de lubricación



Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°12: Ubicación de sensores electrónicos



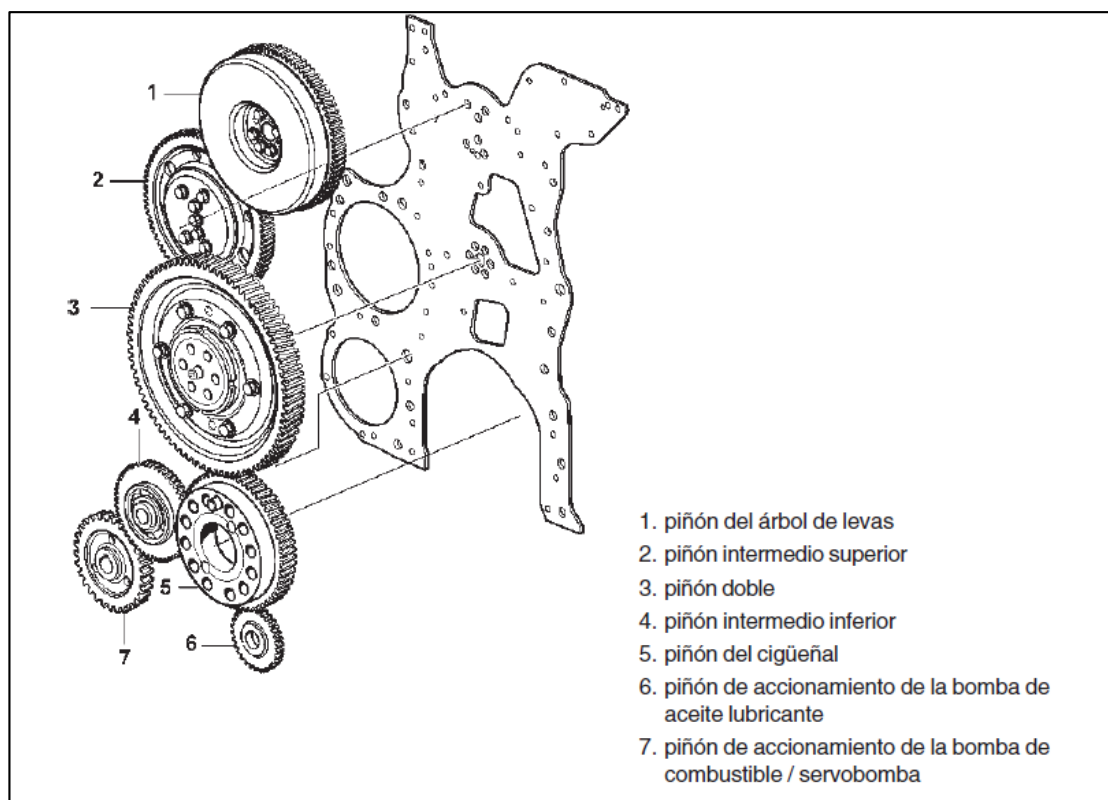
Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°13: Lista de sensores

- | | |
|---|---|
| 1. Sensor del nivel de refrigerante, en el depósito de expansión | 8. Electroválvula, drenaje del separador de agua (es opcional), no se ve en la figura |
| 2. Sensor de presión del cárter | 9. Sensor de nivel de aceite |
| 3. Sensor de presión del aire de carga, filtro de aire | 10. Fusible principal de 10 A |
| 4. Parada adicional | 11. Presión del aceite de refrigeración de los pistones |
| 5. Sensor combinado de la presión y temperatura del aire de carga | 12. Posición del árbol de levas |
| 6. Sensor de temperatura del refrigerante | 13. Sensor combinado de la temperatura y presión de aceite |
| 7. Sensor de presión de combustible | 14. Posición del volante y revoluciones |
| 8. Agua en el sensor de combustible | |

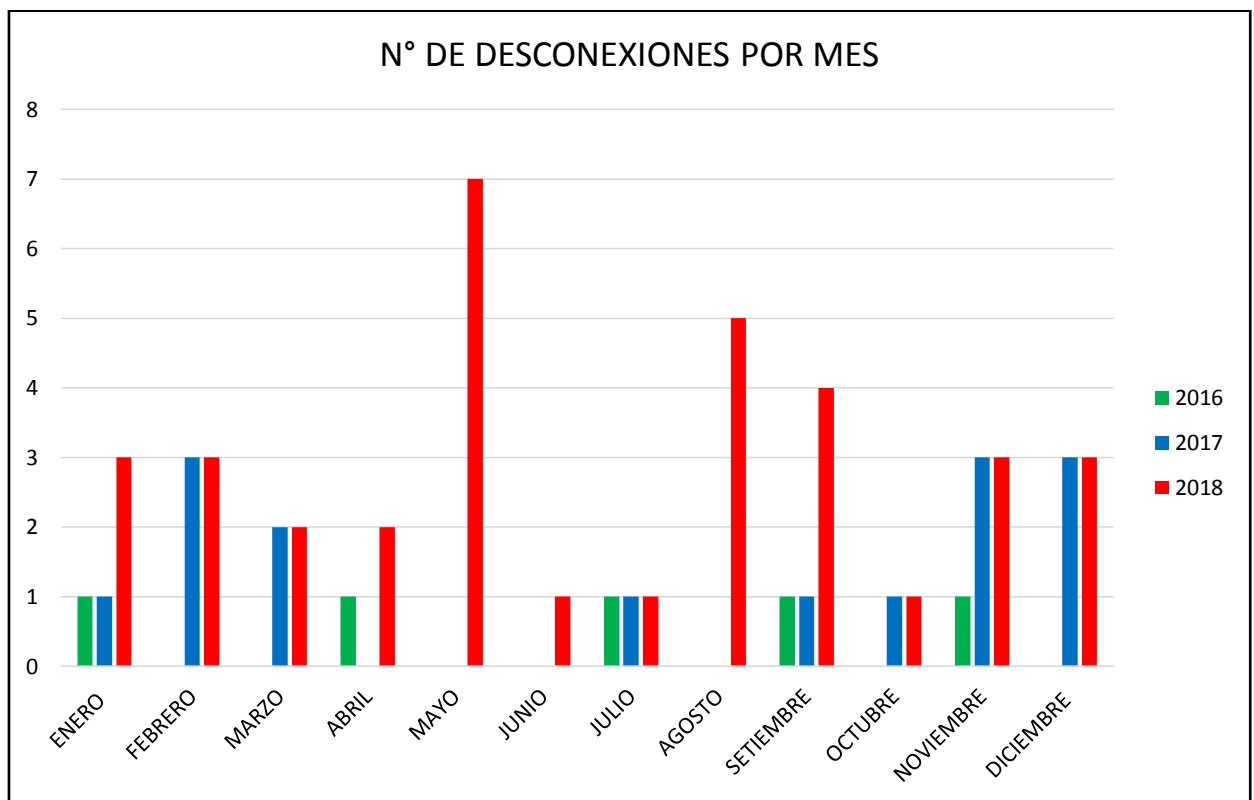
Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°14: Piñones del sistema de distribución



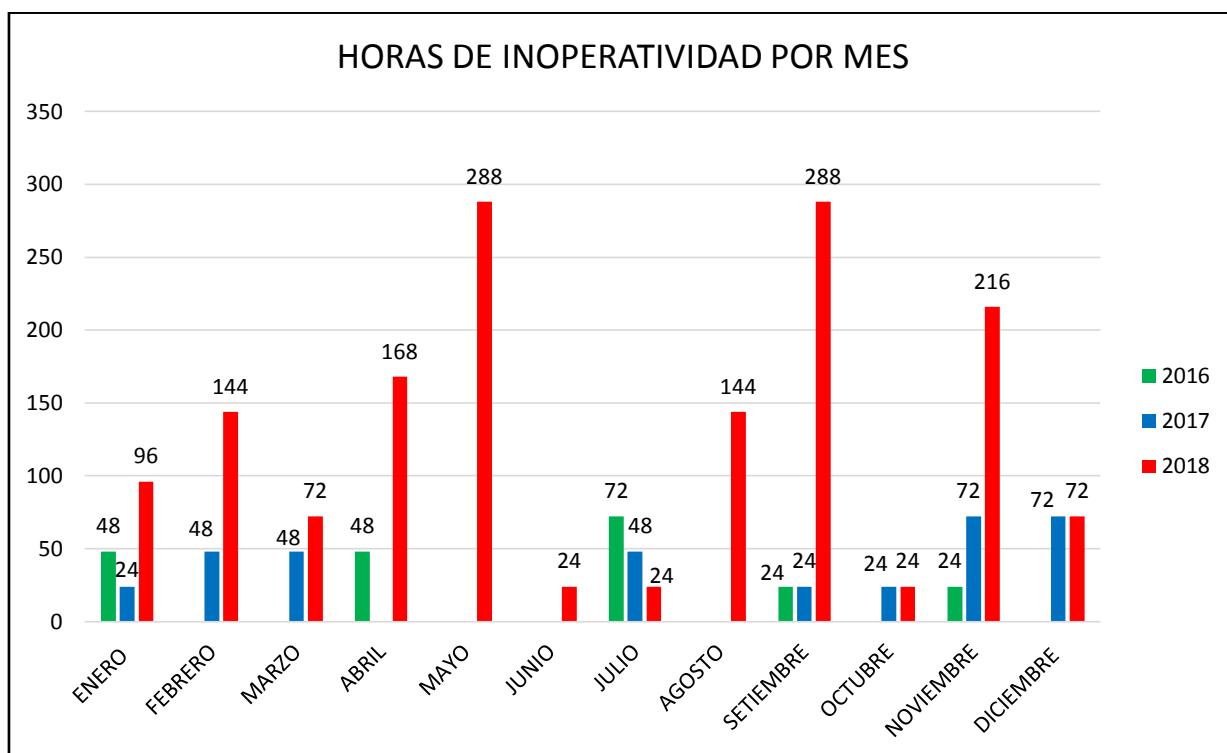
Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°15: Comparación del número de desconexiones por mes de los años 2016, 2017 y 2018.



Fuente: Elaboración Propia

Anexo N°15: Comparación del número de horas de inoperatividad por mes de los años 2016, 2017 y 2018.



Fuente: Elaboración Propia

Anexo N°16: Plan de mantenimiento actual para los grupos electrógenos de 500 kW

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

CLIENTE:	CONSORCIO JJC MAYO	MARCA:	VOLVO - LEROY
OBRA:	HUANCABAMBA	MODELO:	VL 550 - C
FECHA SALIDA	22/06/16	N° SERIE:	666550138
HOROMETRO DE SALIDA	3849.1	MOTOR:	VOLVO PENTA
CODIGO INTERNO RD	GI500-14	MODELO:	TAD1642GE
DESCRIPCION	Grupo Electrógeno Insonorizado de 500 Kw (Pot. Continua)	SERIE:	2016073371

MES:

JUNIO

Codigo RD	CANT	DESCRIPCION	Ultimo Mantenimiento		Mtto Preventivo 250 Hrs		Mtto Preventivo 500 Hrs		Mtto Preventivo		Mtto Preventivo		Proximo Mito Preventivo 2000 Hrs	
			Fecha	Horometro	Fecha	Horometro	Fecha	Horometro	Fecha	Horometro	Fecha	Horometro	Fecha	Horometro
GI500-14		Grupo Electrógeno Insonorizado de 500 Kw (Pot. Continua)	22-abr-16	3843.9		4093.9		4343.9		4593.9		4843.9		5843.9
P553191	2	FILTRO ACEITE DE MOTOR		*		*		*		*		*		*
P550425	1	FILTRO DE ACEITE BY-PASS		*		*		*		*		*		*
15W40	15	ACEITE DE MOTOR		*		*		*		*		*		*
P559628	1	FILTRO SEPARADOR DE COMBUSTIBLE		*		*		*		*		*		*
P552020	1	FILTRO RACOR		*		*		*		*		*		*
P550529	1	FILTRO DE COMBUSTIBLE		*		*		*		*		*		*
AF26249	1	FILTRO DE AIRE PRIMARIO		*		*		*		*		*		*
		REVISION DEL SISTEMA ELECTRICO										*		*
		REVISION DE FAJA DE ALTERNADOR										*		*
		REVISION DE FAJA DE VENTILADOR										*		*
		MANTENIMIENTO DE ALTERNADOR										*		*
		MANTENIMIENTO DE ARRANCADOR										*		*

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°17: Especificaciones técnicas del sistema de refrigeración

Tipo	Sobrepresión, cerrado
Válvula de presión, presión de descarga máx.	75 kPa
Cantidad de refrigerante (motor):	
TAD1640-42GE, TAD1641-43VE, TWD1643GE	33 litros
Cantidad de refrigerante (motor, radiador y mangueras):	
TAD1640-42GE, TAD1641-43VE	60 litros
TWD1643GE	95 litros
Termostato, número	1 unidad
Termostato, temperatura de apertura:	
TAD1640-42GE, TAD1641-43VE	86 °C
TAD1650VE, TWD1643GE	82 °C

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°18: Especificaciones de la calidad de agua recomendada para el sistema de refrigeración

ASTM D4985:	
Total de partículas sólidas	<340 ppm
Dureza total	<9,5° dH
Cloruro	<40 ppm
Sulfato	<100 ppm
Valor pH	5,5-9
Silicio (según ASTM D859)	<20 mg SiO ₂ /l
Hierro (según ASTM D1068)	<0,10 ppm
Manganeso (según ASTM D858)	<0,05 ppm
Conductividad (según ASTM D1125)	<500 µS/cm
Contenido orgánico, COD _{Mn} (según ISO8467)	<15 mg KMnO ₄ /l

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°19: Especificaciones técnicas del sistema eléctrico

Tensión	24V
Alternador de corriente alterna:	
tensión/intensidad máx.	28V/80A
potencia aprox.	2200W
Equipo de alternador alternativo (equipo adicional):	
tensión/intensidad máx.	28V/110A
potencia aprox.	2800W
Capacidad de las baterías	2 acopladas en serie de 12V, máx. 225 Ah
Densidad del electrolito a +25°C:	
totalmente cargada	1,28 g/cm ³ (1,24 g/cm ³)*
recarga a	1,20 g/cm ³ (1,20 g/cm ³)*

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°20: Especificaciones técnicas del sistema de combustible

Bomba de alimentación	
Presión de alimentación a 600 rpm	min 100 kPa (14.5 psi)
Presión de alimentación a 1200 rpm	min 300 kPa (43,5 psi)
Presión de alimentación a plena carga	min 300 kPa (43,5 psi)
Válvula bypass	
Presión de descarga	400-550 kPa (58–80 psi)

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°21: Especificaciones técnicas recomendadas del combustible

El combustible ha de cumplir como mínimo las normas nacionales e internacionales de los combustibles comerciales, p. ej.:

EN 590 (con exigencias ambientales y de frío de adaptación nacional)

ASTM D 975 No 1-D y 2-D

JIS KK 2204

Contenido de azufre: Según la legislación vigente de cada país. Si el contenido de azufre es superior a 0,5 por ciento en peso, hay que modificar **los intervalos para el cambio de aceite**, véase la rúbrica *Características técnicas en la pag. 81*.

Observar que los combustibles con extremadamente bajos contenidos de azufre (gasóleo urbano en Suecia y citydiesel en Finlandia) pueden comportar una pérdida de potencia de un 5 % y un aumento del consumo de entre 2 y 3 %.

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°22: Especificaciones técnicas del sistema de lubricación

Aceite	
Volumen de cambios, incl. cambio de filtro	48 litros
TAD1650VE	53 litros
Presión de aceite, motor caliente	
al régimen normal	300-650 kPa
TAD1650VE	400-650 kPa
Filtro de aceite	
Filtro paso total	2
Filtro by-pass	1
Bomba de lubricación	
Tipo	Accionada por engranajes

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°23: Especificaciones técnicas recomendadas del aceite

Calidad de aceite	Contenido de azufre del combustible en porcentaje de peso		
	hasta 0,5 %	0,5 – 1,0 %	más de 1,0 % ¹⁾
	Intervalos de cambio de aceite: Lo que se alcanza primero durante el funcionamiento del motor		
VDS-3 VDS-2 y ACEA: E7 ²⁾ VDS-2 y ACEA: E5 ²⁾ VDS-2 y Global DHD-1 ²⁾ VDS-2 y API: CI-4 ²⁾ VDS-2 y API: CH-4 ²⁾	600 hrs / 12 meses	300 hrs / 12 meses	150 hrs / 12 meses
VDS y ACEA: E3 ²⁾	400 hrs / 12 meses	200 hrs / 12 meses	100 hrs / 12 meses
ACEA: E7, E5, E4 API: CI-4, CH-4, CG-4	200 hrs / 12 meses	100 hrs / 12 meses	50 hrs / 12 meses

Fuente: RD Rental S.A.C.

Anexo N°24: Especificaciones técnicas del motor

Designación de tipo	TAD1640GE	TAD1641GE	TAD1642GE	TWD1643GE
Potencia, Prime/Stand-by	Ver la documentación de ventas			
Par, Prime/Stand-by	Ver la documentación de ventas			
Número de cilindros	6	6	6	6
Diámetro de los cilindros, mm	144 (5.67)	144 (5.67)	144 (5.67)	144 (5.67)
Carrera, mm	165 (6.50)	165 (6.50)	165 (6.50)	165 (6.50)
Cilindrada, litros	16,12 (983.9)	16,12 (983.9)	16,12 (983.9)	16,12 (983.9)
Peso en seco, kg	1440 (3175)	1440 (3175)	1480 (3263)	1700 (3748)
Peso en húmedo, kg	1510 (3329)	1510 (3329)	1550 (3417)	1770 (3902)
Orden de inyección	1-5-3-6-2-4	1-5-3-6-2-4	1-5-3-6-2-4	1-5-3-6-2-4
Relación de compresión	17,5:1	16,5:1	16,5:1	16,5:1
Ralentí lento, r.p.m.	900	900	900	900
Ralentí rápido, r.p.m.	1500/1800	1500/1800	1500/1800	1500/1800

Fuente: RD Rental S.A.C.