



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL

“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

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Industrial

Autores:

Br. Carlos Alberto, Mendivil Guillen
Br. Santos Yony, Montenegro Peralta

Asesor:

Mg. Ing. Hans Vidal Castañeda

Lima – Perú

2017

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Antecedentes	14
1.2. Realidad Problemática	17
1.3. Formulación del Problema	18
1.3.1. <i>Problema General</i>	18
1.3.2. <i>Problemas Específicos</i>	18
1.4. Justificación	19
1.4.1. <i>Justificación Teórica</i>	19
1.4.2. <i>Justificación Práctica</i>	19
1.5. Objetivos	20
1.5.1. <i>Objetivo General</i>	20
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i>	20
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes	21
2.1.1. <i>En el ámbito internacional</i>	21
2.1.2. <i>En el ámbito nacional</i>	23
2.2. Definición de Mantenimiento	24
2.2.1. <i>Estrategias de Mantenimiento</i>	25
2.2.1.1. <i>Mantenimiento Planificado:</i>	25
2.2.1.2. <i>Mantenimiento no Planificado</i>	25
2.2.1.3. <i>Mantenimiento Reactivo:</i>	26
2.2.1.4. <i>Mantenimiento Preventivo (PM):</i>	27

2.2.1.5.	<i>Mantenimiento Predictivo (PdM):</i>	28
2.2.2.	<i>Técnicas Aplicadas en el Mantenimiento Predictivo</i>	29
2.2.2.1.	<i>Análisis de Aceite y Tribología</i>	29
2.2.2.2.	<i>Funciones del Aceite de Motor</i>	29
2.2.2.3.	<i>Clasificación del Aceite para Motor</i>	31
2.2.2.4.	<i>Requerimiento de Aceite para Motor a Gas Natural</i>	32
2.2.2.5.	<i>Grados de Viscosidades de Aceite de Motor</i>	32
2.2.2.6.	<i>Composición del Aceite</i>	32
2.2.2.7.	<i>Intervalos de Aceite del Motor</i>	33
2.2.2.8.	<i>Contaminación del Aceite del Motor</i>	34
2.2.2.9.	<i>Muestreo de Aceite del Motor</i>	35
2.2.2.10.	<i>Análisis de Aceite del Motor</i>	35
2.2.2.11.	<i>Selección y Definición del Análisis</i>	36
2.2.2.12.	<i>Interpretación del Análisis de Aceite del Motor</i>	39
2.2.2.13.	<i>Monitoreo Con Herramienta Electrónica Insite</i>	40
2.2.2.14.	<i>Monitoreo Con Herramienta Electrónica In power</i>	44
2.3.	<i>Definición de Términos básicos</i>	46
CAPÍTULO 3. DESARROLLO		49
3.1.	<i>Historia</i>	50
3.2.	<i>Información del Proyecto</i>	51
3.2.1.	<i>Cronograma de implementación</i>	52
3.2.2.	<i>Datos del Grupo Electrónico</i>	54
3.3.	<i>Proceso de Mantenimiento antes de la Implementación del MdP</i>	56
3.3.1.	<i>Diagrama Ishikawa</i>	57
3.3.2.	<i>Cantidad de fallas y horas detenida</i>	58
3.3.3.	<i>Tipos de falla</i>	59
3.3.4.	<i>Perdidas que genera el equipo por estar inoperativo</i>	60
3.3.5.	<i>Argumento para la implementación</i>	61
3.4.	<i>Implementación del Proyecto de Mantenimiento Predictivo</i>	62
3.4.1.	<i>Sistema a monitorear</i>	63
3.4.2.	<i>Muestra de aceite</i>	64
3.4.2.1.	<i>Procedimientos para la muestra de aceite</i>	65

3.4.3.	<i>Monitoreo con In power</i>	68
3.4.3.1.	<i>Power Command Control</i>	69
3.4.3.2.	<i>Procedimientos para el monitoreo de In power</i>	70
3.4.4.	<i>Monitoreo con Insite</i>	70
3.4.4.1.	<i>Sistemas del motor a monitorear</i>	71
3.4.4.2.	<i>Procedimientos para el monitoreo de Insite</i>	72
3.5.	Costo de materiales para la implementación	76
3.6.	Costo de implementación.....	76
3.7.	Costo de mantenimiento preventivo y predictivo en 6 años	77
3.8.	Comparación de costo entre el grupo electrógeno y la red de distribución eléctrica	77
CAPÍTULO 4. RESULTADOS		79
4.1.	Resultados del análisis de aceite	79
4.1.1.	<i>Propiedades de aceite</i>	79
4.1.2.	<i>Desgastes</i>	80
4.1.3.	<i>Contaminación</i>	80
4.2.	Resultado del monitoreo con Insite	81
4.2.1.	<i>Presión de refrigerante</i>	81
4.2.2.	<i>Temperatura de refrigerante</i>	82
4.2.3.	<i>Presión de aceite</i>	83
4.2.4.	<i>Temperatura de los gases de escape de los diferentes cilindros</i>	84
4.2.5.	<i>Flujo de gas</i>	85
4.2.6.	<i>Presión del aire de admisión</i>	86
4.3.	Resultado del monitoreo con In power	87
4.3.1.	<i>Frecuencia (Hz)</i>	88
4.3.2.	<i>Temperatura de los devanados de alternador</i>	88
4.4.	Fallas	89
4.4.1.	<i>Índice del número de fallas</i>	90
4.4.2.	<i>Comparación económica</i>	90
4.4.3.	<i>Fallas totales en el equipo</i>	91
4.4.4.	<i>Indicadores de mantenimiento</i>	92
4.4.5.	<i>Disponibilidad mensual del grupo electrógeno</i>	93

4.5. Costo de generación eléctrica.....	94
CONCLUSIONES.....	96
RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS.....	99
ANEXOS	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1-1. Organigrama Cummins Perú S.A.C.	16
Figura N° 1-2. Mapa de procesos Cummins Perú S.A.C.	17
Figura N° 2-1. Esquema de relaciones entre las estrategias de mantenimiento	26
Figura N° 2-2. Ventana principal de herramientas electrónicas Insite de Cummins	41
Figura N° 2-3. Comunicación en el motor	43
Figura N° 2-4. Comunicación en el blanco	43
Figura N° 2-5. Vista principal de In power	44
Figura N° 2-6. Cables de servicio para In power	45
Figura N° 2-7. Método de conexión de In power con el PCC	45
Figura N° 3-1. Diagrama de Gantt-Proyecto de mantenimiento predictivo	53
Figura N° 3-2. Grupo electrógeno C2000N6C Cummins Power Generati3n	56
Figura N° 3-3. Diagrama de Ishikawa	58
Figura N° 3-4. Fallas frecuentes que se encontró en el grupo electrógeno	59
Figura N° 3-5. Fallas más representativas que se encontró en el grupo electrógeno	60
Figura N° 3-6. Perdidas generado por las fallas del equipo	61
Figura N° 3-7. Esquema sistema lubricaci3n motor QSC 91	65
Figura N° 3-8. Sistema de control PCC 3300	68
Figura N° 3-9. Sistema de control PCC	69
Figura N° 3-10. Sistema	71
Figura N° 3-11. Sistema de escape y admisi3n	72
Figura N° 3-12. Sistema de control del motor	73
Figura N° 4-1. Propiedades de aceite	79
Figura N° 4-2. Desgastes	80
Figura N° 4-3. Contaminaci3n	81
Figura N° 4-4. Presi3n de refrigerante	82
Figura N° 4-5. Temperatura de refrigerante	83
Figura N° 4-6. Presi3n de aceite.....	84
Figura N° 4-7. Temperatura de los gases de escape de los diferentes cilindros	85
Figura N° 4-8. Flujo de gas	86
Figura N° 4-9. Presi3n del aire de admisi3n	87
Figura N° 4-10. Frecuencia	88
Figura N° 4-11. Temperatura de los devanados de alternador	89
Figura N° 4-12. Índice del número de fallas	90
Figura N° 4-13. Comparaci3n económica	91

Figura N° 4-14. Fallas totales en el equipo	92
Figura N° 4-15. Indicadores MTTR, , antes y después de la implementación PdM	92
Figura N° 4-16. Indicadores MTBF, antes y después de la implementación PdM	93
Figura N° 4-17. Operación del equipo Disponibilidad, antes y después de la implementación	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2-1. Aplicación de las estrategias predictivas en función de criticidad y tipo de falla	
31	
Tabla N° 2-2. Requerimiento de aceite para motor a gas natural.....	32
Tabla N° 2-3. Contaminantes del aceite lubricante	34
Tabla N° 2-4. Análisis definidos en el programa de seguimiento que ofrece NTS.....	36
Tabla N° 2-5. Selección del análisis de aceite ADOC de Repsol en función al tipo y aplicación del motor	37
Tabla N° 2-6. Selección de análisis en el servicio Exxgard de EXXON	38
Tabla N° 2-7. Arreglos de comunicación con el ECM.....	42
Tabla N° 3-1. Etapas de la implementación en Kimberly Clark	52
Tabla N° 3-2. Datos del Grupo Electrónico	55
Tabla N° 3-3. Actividades que se realizan en el mantenimiento predictivo	57
Tabla N° 3-4. Representación de fallas de enero - agosto 2016	58
Tabla N° 3-5. Valores considerados para la implementación	62
Tabla N° 3-6. Sistemas a monitorear	63
Tabla N° 3-7. Cambio de aceite con análisis y sin análisis	64
Tabla N° 3-8. Datos de lubricación	64
Tabla N° 3-9. Formato de registro de muestra de aceite	67
Tabla N° 3-10. Registro de parámetros del funcionamiento del equipo	74
Tabla N° 3-11. Costos de implementación	76
Tabla N° 3-12. Costo total en 6 años	76
Tabla N° 3-13. Costo de mantenimiento predictivo	77
Tabla N° 3-14. Costo por kW/h de la red	77
Tabla N° 3-15. Costo de kW/h por abastecimiento de gas	78
Tabla N° 3-16. Costo de kW/h por mantenimiento de instalación	78
Tabla N° 4-1. Total, de fallas después de las mejoras	89
Tabla N° 4-2. Costo de generación eléctrica	94
Tabla N° 4-3. Ahorro después del mantenimiento predictivo.....	95

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la implementación del mantenimiento Predictivo basado en el análisis de Aceite y monitoreo con herramienta electrónica Insite e Inpower del grupo electrógeno C2000N6C. Con el cumplimiento de tal objetivo se reducirá las fallas del equipo y así se tendrá un cliente más satisfecho obteniendo mejor ahorro económico.

Se realizó la observación de paradas en el grupo electrógeno de una manera muy frecuente en tal sentido se recopiló la información técnica del equipo incluido en el estudio; se determinaron los puntos de medición, se definieron las acciones a tomar para disminuir las fallas repentinas del equipo. Para culminar el trabajo se analizaron los resultados de los análisis de aceite y monitoreos que se realiza con las herramientas electrónicas. De acuerdo a la severidad de las fallas se estableció la frecuencia de monitoreo del equipo. En el análisis de los aspectos seleccionados se detectaron problemas tales como: mala combustión, aceite contaminado, falla en algunos sensores, falla en los ajustes de los parámetros electrónicos, falla en cableado, falla en configuración de los módulos de control del equipo, entre otros.

Se hallaron antecedentes de información relacionada con el mantenimiento predictivo: bases teóricas, objetivos, componentes y sus principios, así también se encontró los diferentes tipos de mantenimiento predictivo que se puede aplicar.

Se realizó el diagnostico situacional del grupo electrógeno encontrándose diversos problemas por la cual conlleva al equipo a detenerse de manera repentina.

Se concluye que través de los análisis de aceite y monitoreo con Insite e Inpower, que la disminución de fallas es considerable de 80 en el mes de enero del 2016 a dos fallas en el mes de enero del 2017; así mismo se tomó en cuenta el costo de oportunidad que se está generando al tener el equipo en funcionamiento interrumpido; su ahorro económico es mayor para la empresa de \$482,734.08 al año.

Finalmente se concluye que, después de la implementación del mantenimiento predictivo se evidencia la disminución considerable de las fallas que originaba el apagado del equipo de manera repentina. Demostrando del 100% de fallas se ha reducido un 94% (figura 4-14).

ABSTRACT

The present project aims at the implementation of Predictive maintenance based on the analysis of Oil and monitoring with electronic tool Insite and Inpower of the generator set C2000N6C. With the fulfillment of such objective will reduce the equipment failures and thus will have a more satisfied customer obtaining better economic savings.

It was realized the observation of stops in the generating set of a very frequent way in that sense was compiled the technical information of the equipment included in the study; The measurement points were determined, the actions to be taken to reduce the sudden failures of the equipment were defined. To finish the work the results of the oil analysis and monitoring were analyzed with the electronic tools. According to the severity of the faults, the frequency of monitoring of the equipment was established. In the analysis of the selected aspects, problems were detected such as: poor combustion, contaminated oil, failure of some sensors, failure of the electronic parameter settings, wiring failure, configuration of the control modules of the equipment, among others.

A history of information related to predictive maintenance was found: theoretical bases, objectives, components and their principles, as well as the different types of predictive maintenance that can be applied.

The situational diagnosis of the generator was performed, encountering several problems that caused the team to stop suddenly.

It is concluded that through oil analysis and monitoring with Insite and Inpower, that the decrease in flaws is considerable from 80 in the month of January, 2016 to two failures in the month of January, 2017; Also took into account the opportunity cost that is generated by having the equipment in operation interrupted; Its economic saving is greater for the company of \$ 482,734.08 per year.

Finally, it is concluded that, after the implementation of the predictive maintenance, it is evident the considerable decrease of the failures caused by the sudden shutdown of the equipment. Demonstrating 100% failure has been reduced by 94% (Figure 4-14).

"

Nota de acceso:

No se puede acceder al texto completo pues contiene datos confidenciales.

REFERENCIAS

- _ Cummins Perú (junio 01, 2016). *Quienes somos*. Recuperado de: <http://www.cumminsperu.pe/index.php/quienes-somos>
- _ Buses y camiones (noviembre 08, 2013). *Motores Cummins*. Recuperado de: <http://www.busesycamiones.pe/empresas-peru/1040->
- _ Kimberly Clark Perú (2017). *Quienes somos*. Recuperado de: <http://www.kimberly-clarkperutemp.com/la-empresa/quienes-somos.aspx>
- _ Word Referencia (2017) *Barniz*. Recuperado de: <http://www.wordreference.com/definicion/barniz>
- _ Renovetec (s.f) *Tipos de Mantenimientos*. Recuperado de: <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>
- _ Widman International S.R.L. (abril 30, 2016). *Degradación*. Recuperado de: <http://www.widman.biz/Analisis/degradacion.html>
- _ Emerson Process Management (2002). *Disponibilidad*. Recuperado de http://www2.emersonprocess.com/siteadmincenter/PM%20Central%20Web%20Documents/BusSch-OEE_102es.pdf
- _ Linguee (2017). *Esfuerzos Cíclicos*. Recuperado de: <http://www.linguee.es/espanol-ingles/traduccion/esfuerzos+c%C3%ADclicos.html>
- _ TheFreeDictionary By Farlex (s.f). *Ítem*. Recuperado de: <http://es.thefreedictionary.com/%c3%adtem>
- _ Copyright Equipos y Laboratorio de Colombia S.A.S. (2011-2015). *Ferrografía usada en el mantenimiento preventivo*. Recuperado de: http://www.equiposylaboratorio.com/sitio/contenidos_mo.php?it=4955
- _ De Conceptos (2017). *Concepto de derrumbe*. Recuperado de: <http://deconceptos.com/ciencias-naturales/herrumbre>
- _ EHow en español (s.f). *Que hace un módulo de control electrónico*. Recuperado de: http://www.ehowenespanol.com/modulo-control-electronico-hechos_312010/
- _ Damiano, A (2004). *Manual de Nitración*. Recuperado de: <http://materias.fi.uba.ar/7218/Nitracion.pdf>
- _ Profesor en Línea (2015). *Oxidación*. Recuperado de: <http://www.profesorenlinea.cl/Quimica/Oxidacion.htm>

- _ Vibratec S.A. (2016). *Análisis de aceite*. Recuperado de: [//www.vibratec.net/pages/tecnico5_anaaceites.html](http://www.vibratec.net/pages/tecnico5_anaaceites.html)
- _ Da-Web (s.f). *Estructura de los Buses CAN (SAE J1587/J1708 y SAE J1939)*. Recuperado de: http://www.dacarsa.net/lmgs/capsulas/Volvo_Trucks/V3_Estructura_de_buses_CAN_SAE_J1587_J1708_y_SAE_J1939.html
- _ Quickserve Oline (2017). *Sistema de funcionamiento del motor*. Recuperado de: <https://quickserve.cummins.com/info/index.html>
- _ Laboratorio Tecnoil (s.f). *Reacondicionamiento de aceite industrial*. Recuperado de: <https://sites.google.com/a/tecnoil.mx/informacion-tecnica/toma-de-muestras-1>
- _ Cummins Perú (noviembre 5, 2010) *Manual de uso y aplicaciones de cummins insite software de diagnosis*. Recuperado de: http://grupos.emagister.com/documento/manual_de_uso_de_cummins_insite/1838-622632
- _ Cummins Power Generation (2016). *Manual de servicio del motor QSV 91 Volumen 03*.
- _ Cummins Power Generation (2013) *Manual de servicio TCC 3300 Volumen 01*.
- _ World Class Manufacturing (s,f). *Tiempo Medio Entre Fallas y Tiempo Medio Para Reparar*. Recuperado de: <http://www.world-class-manufacturing.com/es/KPI/mtbf.html>
- _ Kimberly Clark Perú (2017). *Historia*. Recuperado de: <http://www.kimberly-clarkperutemp.com/historia/en-el-peru.aspx>
- _ Mobil (s.f). *Aceite para motores de gas*. Recuperado de: <https://www.mobil.com/Spanish-EC/Industrial/pds/GLXXMobil-Pegasus-805>
- _ Quickserve Oline (2017). *Información de análisis de aceite* Recuperado de: <https://quickserve.cummins.com/qs3/pubsys2/xml/en/procedures/66/66-102-002-om.html>
- _ Quickserve Oline (2017). *Manual de servicio QSV 91*. Recuperado de: <https://qsol.cummins.com/qs3/portal/service/manual/en/5411406/>