



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
INGENIERIA INDUSTRIAL

Plan de mejora del sistema de mantenimiento para unidades de generación de energía con motores marca Wartsila de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) planta Managua, ubicada en la ciudad de Managua

AUTORES

Br. David Israel Baldizón Sandino
Br. Cristian Aarón Díaz García
Br. Jean Carlos Gómez Moraga

TUTOR

Msc. Freddy Fernando Boza Castro

Managua, 11 de Marzo de 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria
Secretaría de Facultad

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Industria, hace constar que el Br:

BALDIZON SANDINO DAVID ISRAEL

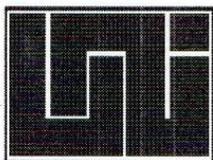
Carné: **2013-44032** Turno: **Diurno**: Plan: **2015** de conformidad con el Reglamento del Régimen Académico Vigente en la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**, es **EGRESADO** de la Carrera de **Ingeniería Industrial (IES)**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veintiséis días del mes de octubre del año dos mil diecisiete.

Atentamente,


Ing. **Wilmer Ramírez Velásquez**
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria
Secretaría de Facultad

CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la Facultad de Tecnología de la Industria, hace constar que el Br:

DIAZ GARCIA CRISTIAN AARON

Carné: **2013-44169** Turno: **Diurno**: Plan: **2015** de conformidad con el Reglamento del Régimen Académico Vigente en la **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**, es **EGRESADO** de la Carrera de **Ingeniería Industrial (IES)**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los diecinueve días del mes de noviembre del año dos mil dieciséis.

Atentamente,


Ing. Wilmer Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Industria

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE INDUSTRIA hace constar que:

GOMEZ MORAGA JEAN CARLOS

Carne: 2013-44109 Turno Diurno Plan de Estudios 2015
conformidad con el Reglamento Académico vigente en
Universidad, es EGRESADO de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL.

Se extiende la presente CARTA DE EGRESADO, a solicitud
interesado en la ciudad de Managua, a los siete días del mes
septiembre del año dos mil dieciocho.

Atentamente,

Ing. Wilmer Jose Ramírez Velásquez
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
Facultad de Tecnología de la Industria
DECANATURA

Managua, 24 de enero de 2018

Brs. Cristian Aarón Díaz García
David Israel Baldizón Sandino
Jean Carlos Gómez Moraga

Por este medio hago constar que el protocolo de su trabajo monográfico titulado **“Plan de mejora del sistema de mantenimiento para unidades de generación de energía con motores marca Wartsila de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) planta Managua, ubicada en la ciudad de Managua”**, para obtener el título de **Ingeniero Industrial** y que contará con el **MSc. Freddy Fernando Boza Castro** como tutor, ha sido aprobado por esta Decanatura.

Cordialmente,


MBA. Daniel Cuadra Horney
Decano



C/c Archivo
DCH/art



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA INDUSTRIA
CARRERA DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

Managua, 8 de Marzo 2019

Ing. Lester Artola Chavarría
Decano FTI
Su despacho

Estimado Ing. Artola:

Reciba un cordial saludo, deseándole éxitos en sus funciones.

Por medio de la presente me dirijo a usted con el objetivo de informarle que he fungido como tutor de la monografía titulada: **“Plan de mejora del sistema de mantenimiento para unidades de generación de energía con motores marca Wartsila de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) planta Managua, ubicada en la ciudad de Managua”** de los bachilleres:

Br. David Israel Baldizón Sandino

Br. Cristian Aarón Díaz García

Br. Jean Carlos Gómez Moraga

Después de revisar y analizar el contenido del trabajo y tomando en cuenta la calidad del mismo, considero que cumple con los requeridos para este tipo de estudio establecidos en nuestra facultad, por tal motivo doy mi aprobación para que los bachilleres presenten, expongan y defiendan su monografía ante un tribunal examinador y optar al título de INGENIERO INDUSTRIAL.

Sin más que agregar, me despido.

Atentamente

Msc. Freddy Fernando Boza Castro
Profesor Titular FTI-UNI (Tutor)

cc. archivo



Gobierno de Reconciliación
y Unidad Nacional

El Pueblo, Presidente!

40
2019

Aquí nos ilumina,
un Sol que no declina
El Sol que alumbra
las nuevas victorias
RUBÉN DARÍO

CONSTANCIA

Mediante la presente, hago del conocimiento, que los jóvenes descritos a continuación, realizaron su trabajo de monografía en esta empresa.

1. David Israel Baldizon Sandino, Carnet N° 2013-44032
2. Cristian Aarón Diaz Garcia, Carnet N° 2013-44169
3. Jean Carlos Gómez Moraga, Carnet N° 2013-44109

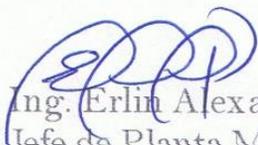
Dichos jóvenes realizaron el trabajo titulado por "**Plan de Mejora del Sistema de Mantenimiento para Unidades de Generación de Energía con Motores marca Wärtsiläs de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) Planta Managua, ubicada en la ciudad de Managua**".

Estos jóvenes finalizaron su trabajo monográfico en Planta Managua.

Se extiende la presente, para los fines que estimen conveniente, en la ciudad de Managua, a los veintisiete días del mes de febrero del año dos mil diecinueve.

Atentamente,




Ing. Erlin Alexander Martínez Pérez
Jefe de Planta Managua -ENEL
Teléfono N°87130707

CRISTIANA, SOCIALISTA, SOLIDARIA!


FE
FAMILIA
Y COMUNIDAD!

Empresa Nicaragüense de Electricidad ENEL - Jefatura de Planta Managua
Km 1 ½ Carretera Norte - Managua. Tel: 22486236/37 - 22486252

Resumen Ejecutivo

El presente proyecto fue elaborado en colaboración con la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), para analizar las adversidades que atraviesa esta, y de ser posible crear un plan de mejora para el sistema de mantenimiento para las Unidades de generación de energía marca Wartsila, que bien termina siendo un plan de acción.

- **Situación actual de ENEL planta Managua:** En esta sección del documento, se describe el rol que cumple la compañía en el mercado energético, y la evolución de esta como empresa, para comprender el entorno en el que se desenvuelve ENEL, para esto se muestran organigramas, diagramas de flujos y formulas. Es aquí donde se detalla la problemática vivida por la organización, específicamente en la planta Managua.
- **Características técnicas de los generadores de energía (Unidad IV y V):** Este apartado deja en claro algunas especificaciones generales de las Unidades Wartsila, para entender el tipo de maquina con la que se trabaja, y lo necesario para un correcto funcionamiento del mismo.
- **Formatos y herramientas utilizados para el Mantenimiento preventivo y correctivo de ENEL planta Managua:** Contar con un mantenimiento ejecutable trae como consecuencia servirse de medios para llevarla a cabo (entiéndase herramientas y formatos). Es por tal motivo que en esta parte se plantean los formatos instituidos en la planta Managua.
- **Análisis de los planes de mantenimiento ENEL Planta Managua 2017:** En este capítulo se analiza los planes mensuales elaborados en el periodo 2017, en donde se resumen las actividades cíclicas para cada área (Mecánica, Eléctrico, Instrumento), y se comparan con el manual del fabricante, dando como resultado la coincidencia de actividades, con algunas adicionales, producto de la incorporación de equipos al diseño original de las unidades.

- **Análisis de fallas de Unidades IV y V en el año 2017:** En esta parte se analizan las fallas de forma jerarquizada (dentro del periodo 2017), por medio del conteo de las mismas, y su posterior representación en los diagramas de Pareto, encontrando los defectos primordiales que necesitan de una atención inmediata.
- **Plan de mejora del sistema de mantenimiento para las Unidades IV y V:** Al no tener un programa mal planeado, se recurre a la creación de un plan de acción que involucra diagramas de flujos para la organización de actividades, permitiendo un mejor control de la información, de igual manera se crea planes de contingencia, por si surge nuevamente una falla primordial, entonces se tenga un documento escrito, que describa los pasos correctos para actuar. Además se añaden indicadores clave de rendimiento de mantenimiento establecido por la norma europea BS EN 15341: 2007 para comprobar lo mencionado anteriormente.

Índice de contenido

Capítulo I: Generalidades	
Introducción.....	2
Justificación y antecedentes.....	4
Objetivos.....	6
<i>Objetivo General</i>	<i>6</i>
<i>Objetivos Específicos</i>	<i>6</i>
Marco Teórico.....	7
<i>Motores Térmicos</i>	<i>7</i>
Motor de combustión externa	7
Motor de combustión interna	8
<i>Mantenimiento</i>	<i>10</i>
Diseño Metodológico.....	12
<i>Enfoque de Investigación.....</i>	<i>12</i>
<i>Tipo de investigación.....</i>	<i>13</i>
<i>Recolección de datos</i>	<i>13</i>
<i>Pasos a seguir</i>	<i>14</i>
Capítulo II: Situación actual de ENEL planta Managua	
Energía eléctrica en Nicaragua	16
<i>Generación.....</i>	<i>16</i>
<i>Transmisión</i>	<i>18</i>
<i>Distribución.....</i>	<i>19</i>
<i>Consumidores</i>	<i>19</i>
Empresa Nicaragüense de Electricidad	19
El mantenimiento industrial.....	23
<i>Mantenimiento Industrial en ENEL planta Managua</i>	<i>24</i>
Mantenimiento a las Unidades IV y V.....	25
Indicadores de mantenimiento	28
Capítulo III: Características técnicas de los generadores de energía (Unidad IV y V)	
Descripción general de las Unidades IV y V	32
Datos principales del motor	32
<i>Diseño general del motor</i>	<i>32</i>
Orden de Encendido	33
Condiciones externas para funcionamiento del motor.....	34
<i>Sistemas del motor.....</i>	<i>34</i>
Sistema para aceite combustible.....	34
Sistema de aceite de lubricación	34
Sistema de agua enfriamiento.....	35
Sistema de aire comprimido	36
Sistema eléctrico	36
Sistema de aire de combustión y escape	37
Datos principales del generador eléctrico	37

Capítulo IV: Formatos y herramientas utilizados para el Mantenimiento preventivo y correctivo de ENEL planta Managua	
Formatos de ENEL planta Managua	40
<i>Ficha Técnica</i>	40
<i>Requisición de materiales</i>	41
<i>Devolución de materiales</i>	41
<i>Requisición de herramientas</i>	42
<i>Expediente de equipo</i>	42
<i>Solicitud de trabajo</i>	42
<i>Orden de trabajo</i>	43
<i>Hoja de inspección semanal</i>	43
<i>Reporte de falla técnica</i>	44
<i>Parámetro operativo de motor Wartsila</i>	44
Herramientas de ENEL planta Managua	44
<i>Mecánica</i>	44
<i>Eléctrica</i>	45
<i>Instrumentos</i>	46
<i>Indumentaria</i>	47
Capítulo V: Análisis de los planes de mantenimiento ENEL Planta Managua 2017	
Plan de Mantenimiento Sección Mecánica	57
<i>Análisis de Plan de Mantenimiento sección Mecánica</i>	61
Plan de Mantenimiento Sección Instrumentos	62
<i>Análisis de Plan de Mantenimiento sección Instrumentos</i>	65
Plan de Mantenimiento Sección Eléctrica	66
<i>Análisis de Plan de Mantenimiento Sección Eléctrica</i>	67
Capítulo VI: Análisis de fallas de Unidades IV y V en el año 2017	
Fallas Unidad IV	71
<i>Reporte de fallas Unidad IV</i>	72
<i>Conteo de las fallas Unidad IV</i>	75
<i>Análisis del Diagrama de Pareto Unidad IV</i>	79
<i>Segundo conteo de las fallas Unidad IV</i>	81
<i>Análisis del Diagrama de Pareto de segundo nivel</i>	82
Fallas Unidad V	84
<i>Reporte de fallas Unidad V</i>	86
<i>Conteo de las fallas Unidad V</i>	89
<i>Análisis del Diagrama de Pareto Unidad V</i>	93

Capítulo VII: Plan de mejora del sistema de mantenimiento para las Unidades IV y V	
Introducción.....	97
Proceso para el mantenimiento preventivo	97
Proceso para el mantenimiento correctivo	98
Procesamiento de información de la orden de trabajo.....	100
Planes de acción para Unidad IV	101
<i>Sistema de inyección de combustible y conexiones.....</i>	101
<i>Culatas.....</i>	104
Planes de acción para Unidad V	105
<i>Culatas.....</i>	105
<i>Turbocompresor A y B</i>	107
<i>Línea de combustible.....</i>	109
<i>Sistema de agua (Bomba HT y LT).....</i>	111
Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento	112
<i>Indicadores para medir rendimiento del mantenimiento en ENEL.....</i>	114
Capítulo VIII: Conclusiones y recomendaciones	
Conclusiones generales	116
Recomendaciones generales	118
Bibliografía.....	119
Anexo A	i
Anexo B.....	iv
Anexo C.....	xi
Anexo D	xxii

Índice de Tablas

Tabla 1. Generación Neta (GWh) por Tipo de Sistemas, Empresas y Plantas	18
Tabla 2. Capacidad Instalada en (MW) por Tipo de Sistemas, Empresas y Plantas.....	22
Tabla 3. Mantenimiento del manual para el motor	50
Tabla 4. Plan de Mantenimiento sección Mecánica.....	57
Tabla 5. Plan de Mantenimiento sección Instrumentos.....	62
Tabla 6. Plan de Mantenimiento sección Eléctrica.....	66
Tabla 7. Reportes de fallas en Unidad IV	72
Tabla 8. Causa de las fallas en Unidad IV	74
Tabla 9. Acciones correctivas tomadas en ENEL según su falla en Unidad IV	75
Tabla 10. Organización de fallas (Unidad IV)	78
Tabla 11. Conteo general.....	79
Tabla 12. Conteo de segundo nivel.....	82
Tabla 13. Reportes de fallas en Unidad V	85
Tabla 14. Causa de las fallas en Unidad V	87
Tabla 15. Acciones correctivas tomadas en ENEL según su falla en Unidad V	88
Tabla 16. Organización de las fallas (Unidad V)	91
Tabla 17. Conteo general.....	92

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Organigrama general de ENEL.....	21
Ilustración 2. Organigrama de ENEL Planta Managua.....	24
Ilustración 3. Descripción general del mantenimiento del generador (parte 1)	56
Ilustración 4. Descripción general del mantenimiento del generador (parte 2)	57

Índice de Graficas

Gráfica 1. Diagrama de Pareto para Unidad IV	80
Gráfica 2. Diagrama de Pareto de segundo nivel (Unidad IV)	83
Gráfica 3. Diagrama de Pareto para Unidad V	93



Capítulo I: Generalidades

Introducción

El mantenimiento es un tema que ha recibido un gran auge a lo largo de los años, debido a que todos los equipos que produzcan objetos intangibles (Por ejemplo la energía eléctrica) o tangibles (Por ejemplo bombillos eléctricos), desde artículos domésticos hasta maquinas industriales, necesitan un proceso de conservación para que estos continúen con su función, de manera óptima.

Por tanto el mantenimiento es un tema muy amplio que aborda una infinidad de equipos, sin embargo lo que se pretende abordar a lo largo de este documento es el mantenimiento industrial, siendo definido como: “una actividad dirigida a conservar los equipos e instalaciones en condiciones óptimas de funcionamiento, durante un periodo predeterminado y al menor costo”. (Ariel Rojas, 2007, p. 8)

La Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL), es una empresa destinada a la producción de energía eléctrica por medio de motores de combustión interna a base de combustible fósil; por medio del uso del agua y por medio del uso de vapor de agua conseguido gracias al calor del subsuelo. Sin embargo pese a las otros tipos de obtención de energía, la utilización de motores de combustión interna es un sistema un poco anticuado en base a los grandes avances en tecnología para la generación de energía con medios sustentables (energía verde). Por lo antes mencionado se necesitan controles de mantenimientos preventivos que mejoren la efectividad y confiabilidad de los motores.

Las unidades Wartsila que trabajan con combustible fósil, ubicadas en la planta Managua y que son el objeto de este trabajo monográfico, actualmente no generan energía con la frecuencia que lo hacía años atrás, y por protección del medio ambiente ha venido trabajando como una estación de apoyo para otras unidades de generación que sí mantienen una producción constante, sin embargo, es de gran importancia siempre esté disponible, por alguna emergencia, ya que si en algún dado caso se origina un apagón, esta planta puede ayudar a los grandes generadores a restaurar el servicio de energía eléctrica.

En dicha planta además del mantenimiento preventivo se utiliza el correctivo, este último permite a las unidades regresar a funcionamiento de forma rápida, en

cambio el primero permite alargar la vida útil de los motores y evitar paros o fallos que entorpezcan la generación de energía. El propósito siempre de toda empresa ha sido optimizar los recursos y consigo disminuir costos, es por tal razón que los funcionarios a cargo de la compañía mencionaron utilizar estos tipos de mantenimiento para obtener los mayores beneficios de la maquinaria.

Las fallas constantes requieren de una atención inmediata al momento de ser vistos, para evitar que la unidad se deteriore y disminuya de esta manera su vida útil, por lo cual se hace un paro a la unidad para un mantenimiento en prontitud y dependiendo de la falla se mantiene la unidad sin uso por un periodo de tiempo, el cual puede ser largo o corto. El número de estas fallas se puede disminuir si se adecua un sistema de mantenimiento propio, ya que si esta situación continúa podría ocasionar terribles pérdidas en la empresa.

La situación de la empresa es discutible pero manejable, sin embargo se debe siempre buscar una manera de conservar el motor de forma apropiada, ya que si se da una actividad de mantenimiento preestablecido a un motor y además de esto se agrega que en la unidad siguiente se presente un fallo repentino al momento de su uso, esto afectaría seriamente la producción de energía, debido a que ambas unidades estarían dañadas y la empresa tendría la obligación de repararlas afectando monetariamente a la compañía.

El desarrollo de este trabajo monográfico tiene como fin analizar a fondo cada plan de mantenimiento existente en la empresa, para con esto saber si se ejecutan de manera adecuada o no. Si se detectan fallas o anomalías en los planes, posterior al análisis se debe brindar recomendaciones sustanciales que puedan alargar la vida útil de los motores.

Justificación y antecedentes

El tema de mantenimiento industrial ha venido evolucionando a lo largo de los años, tal como lo demuestra Nieto (2009) en la siguiente cita tomada de su artículo en línea:

A finales del siglo XVIII y comienzo del XIX durante la revolución industrial con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación y de igual manera los conceptos de competitividad, costos entre otros. De la misma manera empezaron a tenerse en cuenta el término de falla y comenzaron a darse a cuenta que esto producía paros en la producción. Tal fue la necesidad de empezar a controlar estas fallas que hacia los años 20 ya empezaron a aparecer las primeras estadísticas sobre tasas de falla en motores y equipo de aviación.

Como logramos observar en el fragmento anterior, nos damos cuenta que el mantenimiento viene siendo un tema que ha venido evolucionando con el tiempo hasta convertirse en un proceso importante para mantener en óptimas condiciones y funcionalidad las maquinarias de las empresas de gran importancia a nivel nacional.

Las empresas precisan ser competitivas para mantenerse o sobrevivir en el mercado al cual pertenecen, para ello debe de buscar la mayor disponibilidad operacional de sus equipos y su permanente mejora.

Esto obliga a transformar constantemente sus planes de mantenimientos debido al crecimiento exponencial de la tecnología, que ayuda a aumentar el nivel de utilización de los equipos al máximo posible, alargando su vida útil. Invertir en la automatización de equipos y procesos asegura el grado de disponibilidad.

Todo el mantenimiento siempre debe de tener en cuenta el respeto a las leyes de trabajo y la seguridad de los trabajadores, ya que son estos de los que depende de que se haga un mantenimiento de calidad.

Actualmente la empresa ENEL ejecuta dos tipos de mantenimientos, el preventivo y correctivo para sus motores WARTSILA, que trae como consecuencia la

realización constante de los mismos planes de mantenimiento para los motores y cuando sucede una emergencia ejecutan el mantenimiento correctivo. Con esto se quiere decir que no hay predicción y se trabaja sobre lo mismo mensualmente, a pesar de ello se tienen bastantes fallas inesperadas.

Con un correcto plan de mantenimiento se disminuye la gravedad de las fallas que no se logren evitar, y la rotura de piezas importantes del motor. También se garantiza su confiabilidad, disponibilidad y el uso adecuado de los mismos, debido a que la empresa forma parte de una gran red de generación de energía eléctrica del país.

La empresa siempre debe de ir evolucionando en sus planes de mantenimientos para poder cumplir con los siguientes parámetros:

- ✓ Asegurar la disponibilidad operacional de todas las máquinas de la empresa.
- ✓ Reducir a su máxima expresión la cantidad de fallos y/o paros productivos ocasionados por la falta de supervisión del motor de combustión interna.
- ✓ Controlar y supervisar todos los trabajos realizados en los motores y que estos cumplan al pie de la letra el formato establecido como “Plan de Mantenimiento”.



Objetivos

Objetivo General

Proponer mejoras al plan de mantenimiento para unidades de generación de energía con motores WARTSILA de la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) Planta Managua

Objetivos Especificos

- ✓ Definir la situación actual de la planta.
- ✓ Analizar el plan de mantenimiento ya existente.
- ✓ Determinar las fallas más comunes que se generan en los motores WARTSILA.
- ✓ Proponer un plan de acción para la problemática detectada.

Marco Teórico

Los motores se observan en nuestro entorno ya sea en automóviles, lavadoras, refrigeradoras, etc. Esto debido a que estos son los capaces de convertir algún tipo de energía (eléctrica, combustibles fósiles, etc.) en energía mecánica y de esta manera realizar un trabajo específico, dependiendo del fin con el que fue hecho.

Según el Diccionario de la Lengua Española (DEL) de la Real Academia Española define motor como: “Maquina destinada a producir movimiento a expensas de otra fuente de energía” (Real Academia Española, 2017).

El motor se subdivide de diferentes maneras según el fin para el que está hecho, según el tipo de combustible que ellos utilizan, según las partes que lo componen, entre otras subdivisiones. Existe una diversidad de motores a como se ha mencionado a lo largo del documento siendo la clasificación más común: los motores eléctricos y los motores térmicos, los cuales estos últimos son los de principal relevancia, ya que será abarcado a lo largo del proyecto.

Motores Térmicos

Los motores térmicos se define como: “Una maquina cíclica que tiene como misión transformar energía térmica en energía mecánica que sea directamente utilizable para producir trabajo” (Glez, 2011)

Los motores térmicos a como se mencionó previamente es una máquina que tiene como misión transformar la energía térmica en energía mecánica y si la maquina utiliza combustible como fuente térmica, se denomina motor de combustión.

Por lo anterior se puede comentar que el motor de combustión se divide en dos secciones: el motor de combustión interna y el motor de combustión externa.

Motor de combustión externa: “Son aquellos en los que la combustión tiene lugar fuera del motor. El calor desprendido es transmitido a un fluido intermedio, que produce la energía mecánica”. (Glez, 2011)

Motor de combustión interna: “La combustión se produce en una cámara interna del propio motor, donde se generan los gases que producen la expansión que causa el trabajo”. (Glez, 2011). El motor de combustión interna tiene a su vez diferentes tipos de divisiones siendo las principales las siguientes:

- Alternativos: “Son aquellos motores donde el fluido desarrolla un trabajo sobre una superficie móvil que se desplaza en movimientos rectilíneos” (García Soutullo, 2017). Por tanto los motores de combustión interna alternativos, son motores térmicos en los que de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón, obteniendo finalmente un movimiento de forma vertical rectilíneo teniendo como subdivisión dos ciclos que componen a estos motores en los siguientes:
 - El ciclo Otto, cuyo nombre es en honor del técnico alemán Nikolaus August Otto. Este ciclo es utilizado por el motor convencional de gasolina.
 - El ciclo Diésel, Cuyo nombre es en honor al ingeniero alemán nacido en Francia Rudolf Diésel, funciona con un principio diferente al ciclo Otto y suele consumir gasóleo.
- La turbina de gas.
- El motor rotatorio.
- El Ciclo Atkinson.

Por lo dicho anterior se puede clasificar a las unidades utilizadas en ENEL para la generación de energía, como motores de combustión interna alternativos de ciclo Diésel, pero este ciclo así como el Otto tienen dos modos de funcionamiento según las fases que se realizan para el movimiento que se obtiene en la cámara interna del propio motor siendo estos, el ciclo de dos tiempos (2T) y el de cuatro tiempos (4T).

Ciclos

Dos tiempos (2T): Efectúa las cuatro etapas que tiene el ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en dos movimientos lineales del pistón.

Cuatro tiempos (4T): Efectúa las cuatro etapas que tiene el ciclo termodinámico (admisión, compresión, explosión y escape) en cuatro carreras que realiza el pistón (dos vueltas completas del cigüeñal).

Por tanto se puede concluir que los motores WÄRTSILÄ, utilizados para la generación de energía, son motores térmicos de combustión interna con ciclo Diésel de cuatro tiempos, debido a los componentes que la conforman ya que ciertamente esta es una diferencia bastante notables entre ambos ciclos.

Anteriormente se mencionó al ciclo diésel de cuatro tiempos, sin embargo no se abordó las fases por las cuales el pistón recorre, que de acuerdo con Ruiz (2015) tiene una clasificación y una definición como la siguiente:

- Primer tiempo o admisión: En esta fase el pistón en descenso aspira el aire, es decir, el pistón baja del punto superior del cilindro al inferior. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta.
- Segundo tiempo o compresión: Con el pistón en su posición más baja, la válvula de admisión se cierra, manteniendo la cámara cerrada herméticamente. Luego por la inercia del cigüeñal que está unida al pistón por medio de una biela hará que este vuelva a subir, y se comprima el contenido de la cámara por el ascenso del pistón.
- Tercer tiempo o combustión: Con el pistón en su posición más alta y con el aire comprimido, se inyecta el combustible que se auto-inflama por la presión y temperatura existentes en el interior del cilindro. La combustión hace empujar el pistón hacia abajo con fuerza y la biela y el cigüeñal se encargan de convertir ese movimiento lineal del pistón, de arriba a abajo, en un movimiento giratorio. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo.
- Cuarto tiempo o escape: Esta es la última fase de este proceso y que significará la cuarta carrera del pistón y la segunda vuelta del cigüeñal. El pistón se encuentra en su parte más baja, y la cámara de combustión llena de gases quemados, el pistón se encarga de empujar estos para que

salgan a través de la válvula de escape que en esta etapa está abierta. Es ahora, con el pistón de nuevo en la parte superior es cuando se inicia el ciclo.

Este ciclo obedece a como se mencionó con antelación a la termodinámica, la ciencia encargada en observar las transferencias de calor, la conservación de la energía y la capacidad de los sistemas para producir trabajo, y esta juega un papel de vital importancia en el funcionamiento del motor, sin embargo tener una idea superficial de la misma basta para abordar el tema de principal a lo largo de este proyecto. Con respecto a la termodinámica este estudio se limitara en saber que los motores WARTSILA utilizan el ciclo diésel para la generación de energía y que precisa cuatro carreras del pistón para completar el ciclo termodinámico de combustión.

Mantenimiento

El fin del mantenimiento es conservar un equipo en buen estado para que esta mantenga su funcionalidad y evitar su degradación rápida. Sin embargo muchas empresas a nivel nacional no toman en cuenta la importancia del mantenimiento, debido a los costos que puede generar.

El mantenimiento según el Diccionario de la Lengua Española (DEL) de la Real Academia Española se define como: “Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que las instalaciones, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente”. (Real Academia Española, 2017)

Por tanto el enfoque que tendrá este proyecto es el mantenimiento industrial debido a la magnitud de tamaño de las unidades utilizadas para la generación de energía, Ariel Rojas (2007) define mantenimiento industrial como:

Una actividad dirigida a conservar los equipos e instalaciones en condiciones óptimas de funcionamiento, durante un periodo determinado y al menor costo, contribuyendo así a lograr los objetivos de la organización y brindando satisfacción a las expectativas de las partes interesadas.

El mantenimiento industrial toma como base tres elementos de vital importancia que son a su vez los parámetros en los cuales el mantenimiento y la organización se basan para una buena administración de los recursos, siendo estos descritos por Ariel Rojas (2007) como:

- Disponibilidad: Se define como la capacidad de un componente, equipo o instalación para realizar la función para la cual fueron diseñados, en el momento en el cual se requiera su funcionamiento.
- Confiabilidad: Se define como la probabilidad de que un componente, equipo o instalación no experimente fallas durante un tiempo determinado, mientras esta en servicio.
- Mantenibilidad: Se define como la probabilidad de que un componente, equipo o instalación que ha fallado, pueda ser reparado dentro de un periodo de tiempo dado.

En la empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL) planta Managua utiliza dos tipos de mantenimiento, debido a que sus ejecutivos comentan que es una forma de reducir costos y mantener la maquina en buenas condiciones para que funcione de manera correcta. A continuación mencionaremos los mantenimientos utilizados:

- Mantenimiento correctivo: corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos. Este mantenimiento es el más remoto que existe debido a que fue el único concepto que se manejaba anteriormente hasta la Primera Guerra Mundial.
- Mantenimiento preventivo: Es el destinado a mantener equipos o instalaciones en sus medidas correspondientes, mediante la realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad. Siendo el principal objetivos evitar las consecuencias de fallos de los equipos.

Conociendo que tipo de mantenimiento utiliza la empresa se nos será más fácil conocer la situación actual de la empresa, y de este modo abarcar un tema que será de mucha ayuda para analizar de manera comprensible todo el plan actual de mantenimiento. Por lo comentado anteriormente se hará mención del sistema alternativo de mantenimiento, que es un sistema utilizado para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial, ya que es caracterizado por integrar sistemas de mantenimientos conocidos, pero como subsistemas del mismo. Esos sistemas se aplican a los equipos industriales de forma individual o en un grupo que posean mismas características o funciones. Los subsistemas del sistema alternativo de mantenimiento se encuentra encerrado por:

- Mantenimiento Preventivo Planificado
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento de Línea.

Usualmente estos sistemas son los más conocidos en las industrias por los dirigentes, esto es debido a que reducen los costos, optimizan recursos, permite mayor eficiencia en el equipo industrial, cualquier sea el motivo de su uso, estos mantenimientos son usualmente conocidos de esa manera. En ENEL se pretende analizar los planes existentes, permitiendo a la empresa saber si la forma en que se desempeña el mantenimiento que se le está brindando a la unidad es el adecuado y sino mostrar un plan que se adecue a dichos motores.

Diseño Metodológico

Enfoque de Investigación

Toda investigación está basada en dos tipos de enfoques los cuales son según Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) los siguientes:

- Enfoque cuantitativo: usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

- Enfoque cualitativo: utiliza la recolección de datos sin medición numérica para descubrir o afinar preguntas de investigación en el proceso de interpretación.

Según estas definiciones y las características que poseen estos enfoques de investigación el proyecto posee un **enfoque cuantitativo**.

Dicha afirmación es expuesta dado que a través de datos estadísticos y numéricos, se trata de medir factores que se relacionan con las fallas existentes en los motores o generadores de energía de la empresa en estudio, para poder analizarlas y reducirlas con las respectivas medidas necesarias, que a su vez trae como consecuencia la elaboración de un correcto plan de mantenimiento e inspección en tiempo y forma.

Otra de las razones por lo que el estudio es de enfoque cuantitativo es porque el problema planteado es delimitado, concreto y las interrogantes versan sobre temas específicos, además el diseño de investigación es estructurado y predeterminado.

Tipo de investigación

El tipo de investigación es descriptiva ya que se busca especificar propiedades, características y datos para su posterior análisis, de forma que se pueda: mejorar el rendimiento; reducir tiempos muertos en áreas de trabajo; disminuir fallas o errores en las maquinarias, todo esto a fin de satisfacer eficientemente la demanda de energía eléctrica.

Recolección de datos

Para la recolección de datos se utilizaron instrumentos estandarizados, además de realizar observaciones, mediciones de elementos, toma de notas, y utilizar documentación que posee la empresa para profundizar el tema, todos estos fueron utilizados como ayuda para recolectar información.

Los instrumentos anteriores son válidos y confiables, sin embargo para la recolección de datos numéricos los cuales fueron analizados de forma estadística

a lo largo de la investigación se pueden integrar a la lista, los medidores de aceite, temperatura, vibraciones y reportes de fallas.

Pasos a seguir

Para la creación del proyecto de investigación en ENEL se requirieron de ciertos pasos a seguir, para generar información necesaria que dio como resultado una conclusión concreta. Los pasos tomados se muestran a continuación:

- Recopilación de información referente a las estrategias de mantenimiento de los motores utilizados en la empresa.
- Reconocer los diferentes sistemas que componen el motor mediante el uso de los manuales provisto por el fabricante.
- Tomar notas de fallas usuales y sus consecuencias.
- Recopilación de información del sistema de mantenimiento actual.
- Determinar las causas de las fallas y comparar con el plan de mantenimiento de la empresa.
- Realizar observaciones en cada mantenimiento hecho en el equipo.
- Recolección de datos numéricos para realizar estudios estadísticos que aporten al cumplimiento de los objetivos planteados.
- Reconocer funciones de distintas áreas de mantenimiento.
- Definición de la situación actual de empresa.
- Mostrar un sistema de mantenimiento que se adecue a las unidades de generación de energía, según la información recolectada.



Capítulo II: Situación actual de ENEL planta Managua

Energía eléctrica en Nicaragua

La energía eléctrica es una necesidad que se debe satisfacer en las comunidades, empresas, escuelas, hospitales, etc. ya que dependemos mucho de ella, ya sea para mantener la refrigeradora en función y así los alimentos estén conservados, como para encender bombillos en la noche oscura, y a como estos ejemplos anteriores, la utilidad que tiene la energía eléctrica es variada y comprender como esta llega hasta los consumidores es una travesía que implica generadores de energía y subestaciones, todo esto nos permite saber en qué parte de la travesía ENEL juega un papel importante.

En Nicaragua el sistema Interconectado Nacional (SIN), que es un conjunto de centrales de generación y distribución de energía interconectadas entre sí, posee la mayor parte del sistema eléctrico, y este “sistema de suministro eléctrico está compuesto por cuatro grandes agentes: Generación, Transmisión, Distribución y Consumo” (DISNORTE-DISSUR, 2018). Estos cumplen una función específica que posibilita que se dé una producción de energía justa, para satisfacer la demanda de la población.

Generación

Es el primer encargado de proveer energía a las redes de transmisión en Nicaragua, los representantes de este sector son empresas públicas como por ejemplo ENEL o empresas privadas como por ejemplo ingenios azucareros que utilizan el bagazo como combustible para plantas térmicas. En el caso de ENEL, la cual representa la empresa en estudio, tiene a disposición diferentes plantas eléctricas, y una de ellas es la planta Managua, en cambio las demás se encuentran dispersas por Nicaragua utilizando las ventajas de las zonas en la que se localizan, ayudando a satisfacer la demanda existente de energía eléctrica. En total se cuentan 18 empresas generadoras de energía según Ministerio de Energía y Minas (MEM) (2017), conectadas al Sistema Interconectado Nacional (SIN), que es el conjunto de centrales de generación eléctrica y sistemas de distribución que se encuentran interconectados entre sí, y de las cuales 3 son empresas públicas y 15 privadas; la Momotombo Power Company (MPC)

pertenece a ENEL; y con la excepción que solamente la empresa “Generadora San Rafael S.A. (GESARSA)” no produjo en el 2016, a como se muestra la generación neta en GWh en la “Tabla 1”. A continuación se muestra la lista de dichas compañías:

Empresas públicas

1. Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL)
 - a. Momotombo Power Company (MPC)
2. Generadora San Rafael S.A. (GESARSA)
3. Generadora Fotovoltaica La Trinidad

Empresas privadas

4. Hidroeléctrica ATDER - El Bote
5. Hidro Pantasma (HPA)
6. Inversiones Hidroeléctricas S.A. (IHSA). El Diamante
7. Alba de Nicaragua S.A. (ALBANISA)
8. Corporación Eléctrica Nicaragüense S.A. (CENSA)
9. Empresa Energética Corinto (EEC)
10. Tipitapa Power Company (TPC)
11. Generadora Eléctrica de Occidente S.A.
12. Polaris Energy Nicaragua S.A. (PENSA)
13. Nicaragua Sugar Estates Limited (NSEL)
14. Monte Rosa S.A. (IMR)
15. Green Power S.A. Ingenio Montelimar
16. Consorcio Eólico S.A. (AMAYO) I y II
17. Blue Power & Energy S.A.
18. Eolo de Nicaragua, S.A

El Sistema Aislado Nacional (SAN), a como su nombre lo indica “es la central o conjunto de centrales de generación eléctrica y sistemas de transmisión y distribución que no se encuentran interconectados al Sistema Nacional de Transmisión” (Centro Nacional de Despacho de carga, 2018). El más importante

de los dos sistemas es el SIN, debido a que este posee el 98.73% de toda la generación eléctrica neta, y a su vez se encuentra interconectado al Sistema Nacional de Transmisión, por ende es el que abastece a la mayor parte del país.

Tabla 1. Generación Neta (GWh) por Tipo de Sistemas, Empresas y Plantas

Generación Neta (GWh) por Tipo de Sistemas, Empresas y Plantas

AGENTES DEL MERCADO	GENERACION NETA-GWh				
	NETA 2015	NETA 2016	PARTICIP %	VARIACION %	VARIACION GWh
SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	4,169.01	4,150.40	98.73	(0.45)	(18.61)
EMPRESAS PÚBLICAS	278.21	380.79	9.05	36.87	102.58
Empresa Nicaraguense de Electricidad (ENEL)	276.08	378.73	9.00	37.18	102.65
Planta Centroamérica	152.55	178.29	4.24	16.87	25.74
Planta Carlos Fonseca	57.43	95.14	2.26	65.68	37.71
Planta Larreynaga	28.50	67.18	1.60	135.71	38.68
Planta Managua	35.57	37.59	0.89	5.67	2.02
Planta Las Brisas	2.03	0.53	0.01	(74.15)	(1.50)
Generadora San Rafael S.A.(CESARSA)	0.01	-	-	(100.00)	(0.01)
Generadora Fotovoltaica La Trinidad	2.12	2.06	0.05	(2.67)	(0.06)
EMPRESAS PRIVADAS	3,890.80	3,769.61	89.68	(3.11)	(121.19)
Hidroeléctrica ATDER - El Bote	4.10	4.10	0.10	0.02	-
Hidro Pantasma (HPA)	47.10	53.91	1.28	14.46	6.81
Inversiones Hidroeléctricas S.A. (IHSA), El Diamante	-	20.96	0.50	-	20.96
Alba de Nicaragua S.A. (ALBANISA)	867.53	816.33	19.42	(5.90)	(51.20)
Planta Hugo Chávez 1 - 2 y Che Guevara 1 - 9	706.91	671.88	15.98	(4.95)	(35.03)
Planta Camilo Ortega Saavedra	160.62	144.45	3.44	(10.07)	(16.17)
Corporación Eléctrica Nicaraguense S.A. (CENSA)	264.30	282.16	6.71	6.76	17.86
Empresa Energética Corinto (EEC)	452.27	349.61	8.32	(22.70)	(102.66)
Tiptape Power Company (TPC)	340.99	363.99	8.66	6.74	23.00
Generadora Eléctrica de Occidente S.A. (GEOSA)	356.56	359.19	8.55	0.74	2.63
Planta Nicaragua	356.56	359.19	8.55	0.74	2.63
Momotombo Power Company (MPC)	171.01	169.51	4.03	(0.88)	(1.50)
Polaris Energy Nicaragua S.A. (PENSA)	433.99	459.99	10.94	5.99	26.00
Nicaragua Sugar Estates Limited (NSEL)	109.69	115.30	2.74	5.11	5.61
Monte Rosa S.A. (MR)	151.13	150.45	3.58	(0.45)	(0.68)
Green Power S.A. Ingenio Montelimar	-	50.95	1.21	-	50.95
Consorcio Edico S.A. (AMAYO) I y II	269.58	236.36	5.62	(12.32)	(33.22)
Blue Power & Energy S.A.	190.42	146.50	3.49	(23.06)	(43.92)
Eolo de Nicaragua, S.A.	232.13	190.30	4.53	(18.02)	(41.83)
SISTEMA AISLADO NACIONAL	51.91	53.13	1.27	2.36	1.22
EMPRESAS PÚBLICAS	7.93	8.86	0.21	11.79	0.93
Empresa Nicaraguense de Electricidad (ENEL)	7.93	8.86	0.21	11.79	0.93
RACCN (Waspm)	1.93	2.47	0.06	28.42	0.54
RACCS (Corn Island, Karawala, Orinoco, Pueblo Nuevo San Juan de Nicaragua)	6.00	6.39	0.15	6.44	0.39
EMPRESAS PRIVADAS	43.98	44.27	1.06	0.66	0.29
Empresa Generadora Ometepe S.A. (EGOMSA)	9.28	8.05	0.19	(13.20)	(1.23)
Puerto Cabezas Power (PCP)	33.22	34.70	0.83	4.45	1.48
Tichana Power (TP)	1.48	1.52	0.04	2.54	0.04
TOTAL NACIONAL	4,220.92	4,203.53	100.00	(0.41)	(17.38)

Fuente: Estadísticas Eléctricas INE. Elaboración propia.

Notas:

- La empresa Momotombo Power Company (MPC), tiene la responsabilidad de la operación y mantenimiento del campo geotérmico Momotombo, propiedad de la empresa ENEL.
- La generación neta presentada por los ingenios azucareros NSEL, Monte Rosa y Montelimar corresponde a la energía inyectada al SIN.
- La Generadora Fotovoltaica La Trinidad, se encuentra interconectada a la red de distribución eléctrica.
- A finales del año 2016, concluyó la construcción de línea de interconexión en isla de Ometepe, con lo cual se cuenta con infraestructura requerida para interconexión al SIN de las plantas EGOMSA y Tichaná Power.

Fuente: Recuperado de Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2017). ANUARIO ESTADISTICO DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL 2016. Managua: Ministerio de Energía y Minas (MEM). Obtenido de <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/09/Anuario-Estadistico-Electrico-2016.pdf>

Transmisión

Este sector recibe la energía de plantas termoeléctricas, hidroeléctricas, geotérmicas, etc. para luego transmitirlo al siguiente agente. La misión de estos,

se resume en ser la conexión entre el generador y el distribuidor de energía eléctrica mediante el uso de subestaciones que la regulan y reparten.

Distribución

Es el tercer agente de la cadena, a como su nombre lo sugiere, distribuye la energía eléctrica del sistema de transporte hasta los lugares de consumo, y de esta manera se comercializa la electricidad, mediante medidores y redes eléctricas.

Consumidores

Son todos los usuarios (hogares, empresas, centros de comercio, centros de estudios, etc.) que utilizan la energía para los diferentes propósitos que es usada y está instalado a la red de distribución.

Empresa Nicaragüense de Electricidad

De acuerdo con Empresa Nicaragüense de Electricidad (2018), la historia jurídica de ENEL empieza en el año 1942 donde operaban en el país, empresas privadas y municipales para brindar el Servicio Público de Energía Eléctrica.

En el año 1948, el Estado de Nicaragua, adquirió la empresa Central American Power, de propiedad privada, localizada en la ciudad de Managua; en el año 1954 se constituyó la Empresa Nacional de Luz y Fuerza (ENALUF), como una empresa estatal a cargo de la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica; un año más tarde nació la Comisión Nacional de Energía (CNE) como Ente Regulador del Sector.

Como consecuencia del Plan de Inversiones en Generación y Electrificación Rural de ENALUF, en 1957 se instalaron en la Planta Managua, dos unidades de 15 MW cada una, accionadas con turbinas a vapor, incrementando la oferta de energía eléctrica y posibilitando el inicio de la electrificación rural en la región del Pacífico.

En abril de 1957 se promulgó la primera Ley de Industria Eléctrica (Ley No.11-D del 19 de Abril de 1957) y en 1970 ENALUF adquirió las empresas eléctricas privadas de León, Carazo y Granada. Luego de 1979 se nacionaliza las empresas

privadas, municipales y cooperativas de electrificación rural que operaban en el país y se creó el Instituto Nicaragüense de Energía (INE).

En el año 1994, mediante Decreto Ejecutivo No. 46-94, publicado en La Gaceta, Diario Oficial del uno de noviembre de 1994, se constituyó la Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Mediante este Decreto se separan de INE y se adscriben a ENEL las funciones empresariales del subsector de energía eléctrica y se mantienen en el INE las funciones de planificación, formulación de políticas, normación y regulación de las actividades del Sector Energía.

Durante el proceso de segmentación y privatización se derivan y crean de ENEL las empresas:

- DISNORTE y DISSUR, empresas privadas a cargo de la distribución y comercialización de energía en las zonas concesionadas, que comprenden fundamentalmente las zonas Pacífico y Central del país.
- GEOSA empresa privada que adquirió las antiguas plantas Nicaragua y Chinandega.
- ENATREL empresa estatal a cargo de la transmisión y del Centro Nacional de Despacho de Carga (CNDC).
- Se suscribió un contrato de Asociación en Participación con la empresa privada ORMAT para la operación y administración de planta y campo geotérmico Momotombo.

ENEL actualmente consta de plantas generadoras de energía en ciertas regiones de Nicaragua, dividiendo su producción en tres tipos de plantas, que son hidroeléctricas, térmicas y geotérmicas. En cuanto a la energía hidroeléctrica las plantas encargadas de producirla son conformadas por la Centroamérica, Carlos Fonseca y Larreynaga, estas tres están ubicadas bajo el “Sistema Hidroeléctrico Tuma, Matagalpa y Viejo (T. M. V)”, en cambio la energía térmica esta delegada por las plantas Managua, ubicada en la región norte de la ciudad de Managua, a las orillas del lago Xolotlán; Las Brisas y San Rafael, estas últimas llevan el

nombre donde se encuentran ubicadas (La planta San Rafael, lleva el nombre de su ubicación en el municipio de San Rafael del Sur) mientras que la energía geotérmica le corresponde a la planta Momotombo, ubicada a las faldas del volcán del mismo nombre. La distribución mencionada anteriormente al igual que la organización general de ENEL, se encuentra en la “Ilustración 1”, donde se menciona la jerarquía de la empresa y el lugar que ocupa cada departamento.



Ilustración 1. Organigrama general de ENEL

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad. (2 de Febrero de 2018). Historia jurídica. Obtenido de enel.gov.ni: <http://www.enel.gov.ni/index.php/quienes-somos/historia-juridica-enel>

ENEL juega un papel importante en la generación de energía ya que representa el 13.27% que se resume en 127.00 MW de la producción total a nivel nacional, y

aunque la planta Managua representa el 0.97% de la producción total que equivale a 11.00 MW, la alta gerencia expresa su preocupación por la cantidad de fallas que se dan en esta planta y por consiguiente, la preocupación del rumbo que puede tomar el mantenimiento. A pesar de no ser un factor alarmante, no obstante sirve como detonante para tomar medidas correctivas que puedan mejorar el sistema de mantenimiento, y si las propuestas planteadas en este proyecto logran mejorar la situación, se podrán tomar los mismos principios e implementarlos en todas las plantas eléctricas, claramente adaptándolos a su naturaleza.

Tabla 2. Capacidad Instalada en (MW) por Tipo de Sistemas, Empresas y Plantas

Capacidad Instalada Efectiva (MW) por Tipo de Sistemas, Empresas y Plantas

AGENTES DEL MERCADO	CAPACIDAD INSTALADA EFECTIVA - MW				
	EFFECTIVA dic-15	EFFECTIVA dic-16	PARTICIP %	VARIACION %	VARIACION MW
SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL	1,075.48	1,115.92	98.87	3.76	40.44
EMPRESAS PÚBLICAS	127.00	127.00	11.23	-	-
Empresa Nicaraguense de Electricidad (ENEL)	126.00	126.00	11.14	-	-
Planta Centroamérica	48.00	48.00	4.23	-	-
Planta Carlos Fonseca	50.00	50.00	4.43	-	-
Planta Larreynaga	17.00	17.00	1.51	-	-
Planta Managua	11.00	11.00	0.97	-	-
Planta Las Brisas	-	-	-	-	-
Generadora San Rafael S.A.(GESARSA)	-	-	-	-	-
Generadora Fotovoltaica La Trinidad	1.00	1.00	0.09	-	-
EMPRESAS PRIVADAS	948.48	988.92	87.64	4.26	40.44
Hidroeléctrica ATDER - El Bote	0.90	0.90	0.08	-	-
Hidro Pantasma (HPA)	13.00	13.00	1.15	-	-
Inversiones Hidroeléctricas S.A. (IHSA) El Diamante	-	4.70	0.42	-	4.70
Alba de Nicaragua S.A. (ALBANISA)	314.26	314.26	27.85	-	-
Planta Hugo Chávez 1 - 2 y Che Guevara 1 - 9	276.86	276.86	24.53	-	-
Planta Camilo Ortega Saavedra	37.40	37.40	3.32	-	-
Corporación Eléctrica Nicaraguense S.A. (CENSA)	60.90	60.90	5.40	-	-
Empresa Energética Corinto (EEC)	70.50	52.88	4.69	(25.00)	(17.62)
Tipitapa Power Company (TPC)	50.90	50.90	4.51	-	-
Generadora Eléctrica de Occidente S.A. (GEOSA)	100.00	100.00	8.86	-	-
Planta Nicaragua	100.00	100.00	8.86	-	-
Momotombo Power Company (MPC)	24.00	24.00	2.13	-	-
Polaris Energy Nicaragua S.A. (PENSA)	54.36	64.52	5.72	18.70	10.16
Nicaragua Sugar Estates Limited (NSEL)	77.30	77.30	6.85	-	-
Monte Rosa S.A. (MR)	47.00	48.00	4.25	2.13	1.00
Green Power S.A. Ingenio Montelimar	-	38.00	3.37	-	38.00
Consorcio Edico S.A. (AMAYO) I y II	58.80	63.00	5.58	7.14	4.20
Blue Power & Energy S.A.	39.60	39.60	3.51	-	-
Eolo de Nicaragua, S.A.	36.96	36.96	3.27	-	-
SISTEMA AISLADO NACIONAL	12.91	12.67	1.13	(1.83)	(0.24)
EMPRESAS PÚBLICAS	2.34	3.76	0.34	60.59	1.42
Empresa Nicaraguense de Electricidad (ENEL)	2.34	3.76	0.34	60.59	1.42
RACCN (Waspam)	0.45	0.88	0.08	94.55	0.43
RACCS (Com Island, Karawala, Orinoco, Pueblo Nuevo San Juan de Nicaragua)	1.89	2.88	0.26	52.54	0.99
EMPRESAS PRIVADAS	10.57	8.91	0.79	(15.65)	(1.66)
Empresa Generadora Ometepe S.A. (EGOMSA)	2.35	2.35	0.21	-	-
Puerto Cabezas Power (PCP)	8.00	6.35	0.56	(20.63)	(1.65)
Tichana Power (TP)	0.22	0.21	0.02	(1.40)	(0.01)
TOTAL NACIONAL	1,088.39	1,128.59	100.00	3.69	40.20

Fuente: Estadísticas Eléctricas INE. Elaboración propia.

Notas:

- La empresa Momotombo Power Company (MPC), tiene la responsabilidad de la operación y mantenimiento del campo geotérmico Momotombo, propiedad de la empresa ENEL.
- Los ingenios azucareros NSEL, Monte Rosa y Montelimar reportan el total de su capacidad instalada efectiva, utilizada para autoconsumo y para entrega de electricidad al SIN.
- La Generadora Fotovoltaica La Trinidad, se encuentra interconectada a la red de distribución eléctrica.
- A finales del año 2016, concluyó la construcción de línea de interconexión en isla de Ometepe, con lo cual se cuenta con infraestructura requerida para interconexión al SIN de las plantas EGOMSA v Tichana Power.

Fuente: Recuperado de Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2017). ANUARIO ESTADISTICO DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL 2016. Managua: Ministerio de Energía y Minas (MEM). Obtenido de <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/09/Anuario-Estadistico-Elctrico-2016.pdf>

El mantenimiento industrial

Primeramente es necesario entender un poco acerca de la conservación, la cual rige los conceptos de preservación y mantenimiento, en donde estos dos conceptos son completamente independientes, ya que mientras la primera se enfoca en el estado físico del objeto productor, el segundo vela por la calidad del servicio que se ofrece.

Las funciones de preservación y mantenimiento hasta fines del siglo XVII no tuvieron gran desarrollo debido a que la mano de obra era más importante que la máquina, en consecuencia se procuraba de un mantenimiento correctivo. Con la primera guerra mundial en 1914 las máquinas trabajaban a toda su capacidad y sin interrupciones por las altas demandas de variados productos, por esta razón nació el concepto de mantenimiento preventivo, con un enfoque en donde la máquina tendría que funcionar bien para obtener de ella lo deseado, y gracias a la concepción de aquel pensamiento y mediante estudios de fiabilidad los fabricantes se dieron a la tarea de facilitar la preservación, y que los mantenimientos fueran más productivos, además de esto se concluyó que la máquina depende de ella misma y del “servicio” que esta brinda.

El mantenimiento desde sus inicios ha evolucionado para buscar el enfoque en el “servicio” que la máquina brinda, este servicio es definido como: “el producto tangible o intangible que la máquina produce” (Villanueva, 2007). Desde el mantenimiento correctivo pasando por el mantenimiento preventivo, se llega al mantenimiento productivo, cuyo objetivo era que los trabajos de mantenimiento fueran mínimas y productivas, al pasar de los años este pensamiento se transforma en el mantenimiento productivo total que requiere del involucramiento de todos en la empresa para las acciones de mantenimiento. De las ideas planteadas se obtiene que el mantenimiento debe buscar el enfoque en el servicio que presta la máquina y no de forma contraria.

Entre tanto el mantenimiento industrial se inclina más, a como su nombre lo indica, a una administración industrial en mira de máquinas productoras, con planes que se ajustan a las necesidades de estas mismas, que tiene como fin cuidar del

servicio producido, con el equipo funcionando en condiciones óptimas durante un periodo determinado, en consecuencia este concepto se toma como el foco del trabajo monográfico.

A partir de todos los cambios de pensamiento vistos, la conservación y en especial el mantenimiento, obtienen mayor relevancia hasta al punto de convertirse en una necesidad. Por consiguiente los significados anteriores permiten estandarizar el lenguaje, facilitando la comprensión de aquí en adelante de todo lo planteado.

Mantenimiento Industrial en ENEL planta Managua

El mantenimiento en ENEL, según comentó el jefe de planta, se rige por los enfoques del mantenimiento correctivo y preventivo, por lo cual dicha empresa ha distribuido las labores de mantenimiento en 3 áreas, las cuales se encargan de los dos generadores de energía, siendo estas:

- Mecánica
- Eléctrica
- Instrumento

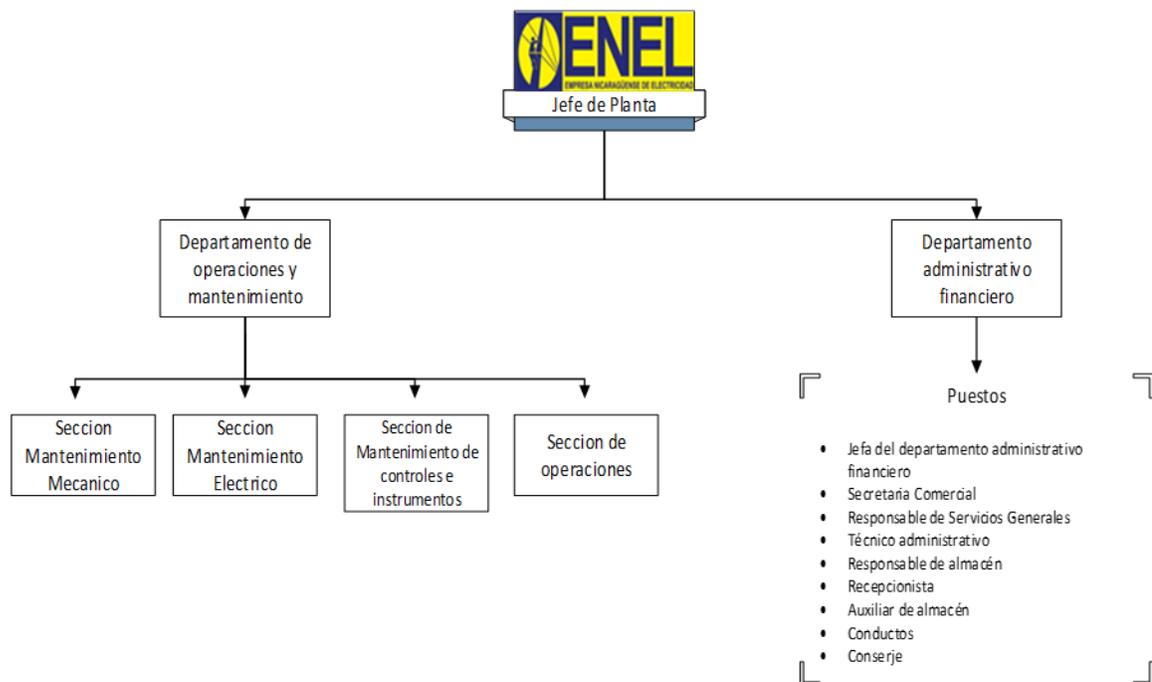


Ilustración 2. Organigrama de ENEL Planta Managua

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

La división señalada se muestra en el organigrama de la planta representado en la “Ilustración 2”, y la razón de agrupar el departamento de operaciones y mantenimiento de esta manera, es a causa que cada una de ellas tienen asignadas secciones en el motor que cumplen ciertas características, y el funcionamiento de estas obedecen a un mismo principio lógico, por ejemplo: el área Mecánica está encargado de ver todas las partes que componen al motor de combustión interna y que generan su fuerza motriz (culata, pistón, árbol de levas, cigüeñal, etc.); el área eléctrica revisa fusibles y demás aparatos eléctricos acoplados al motor; y el área instrumentos verifica si todos los parámetros en el motor son correctos, confirmando si se tiene las especificaciones correctas para el buen funcionamiento del equipo. Según datos no específicos brindado por el jefe de planta, aproximadamente el 70% de las labores de mantenimiento son hechos por parte del área Mecánica.

Las labores de mantenimiento de cada área se diseñan en planes de trabajo los cuales son elaborados de manera mensual y se elaboran en base a manuales del fabricante, y cada jefe de área debe hacer este plan utilizando cualquier medio o formato, con el fin de entregar en tiempo y orden, no se tiene un marco de referencia de cómo se debe entregar el plan de trabajo, sin tener ninguna plantilla o base para guiarse.

Mantenimiento a las Unidades IV y V

Las unidades IV y V son el alma de ENEL planta Managua por ser las únicas que se encuentran en función, su disposición para ser utilizadas es de vital importancia para la empresa, y su adecuado mantenimiento permitirá que se disminuyan aún más las fallas que se dan en un año, pero si se observa detenidamente su mantenimiento se deriva a años de experiencias del personal, es decir, los trabajadores y operarios llegan a conocer tan bien la máquina, que sus labores quedan excluidas a solamente realizar su trabajo en la forma que él conoce y que ha practicado desde años, introduciendo a esta manera de realizar sus tareas errores con el fin de agilizar su trabajo, legando este conocimiento al nuevo personal y a veces se obvia el manual, y en este se indica los pasos necesarios

para cambiar inclusive un perno, brindando información como de cuanta fuerza se debe ocupar, que tipo de herramienta, entre otros datos.

La necesidad de ocasionalmente reducir los costos, conduce a tomar decisiones que pueden afectar la funcionabilidad de ambas unidades, dado que si se utiliza un aceite de una viscosidad distinta a la recomendada, o incluso utilizar un combustible de mala calidad, puede producir en la maquina un desgaste muy severo, vale aclarar que estas dos situaciones mencionadas, solamente son usadas para ejemplificar que las decisiones traen consecuencias significativas en toda maquinaria a corto y largo plazo.

En ENEL planta Managua también hay una carencia de ciertas herramientas de medición, provocando que no se ocupen medidas exactas para la calibración de ciertos instrumentos; que no se hagan cálculos a las propiedades físicas-químicas de líquidos; que se den mal ajustes de piezas, un ejemplo de esto es el cambio de aceite de los turbocompresores, donde se efectúa de forma empírica, dado que la evaluación tomada para verificar la caducidad del aceite en uso, es la vista, o bien un caso más específico, puede ser la carencia de algunas herramientas necesarias para el desmontaje de algunas piezas, este último acontecimiento solo suele suceder en elementos que se dañan con facilidad y si lo hace se utilizan otros procedimientos, que esto trae como consecuencia el retraso del mantenimiento.

Mantenimiento preventivo

El proceso utilizado en ENEL planta Managua para la ejecución de los mantenimientos programados, según el jefe de operaciones, se realiza de la manera en que se muestra en el Diagrama de Flujo, no obstante a veces sucede que no se cumple alguna actividad, por olvido u omisión de los colaboradores. El diagrama de flujo fue hecho por los autores del trabajo monográfico para facilitar la comprensión de la secuencia en las actividades, ya que ENEL no posee uno.

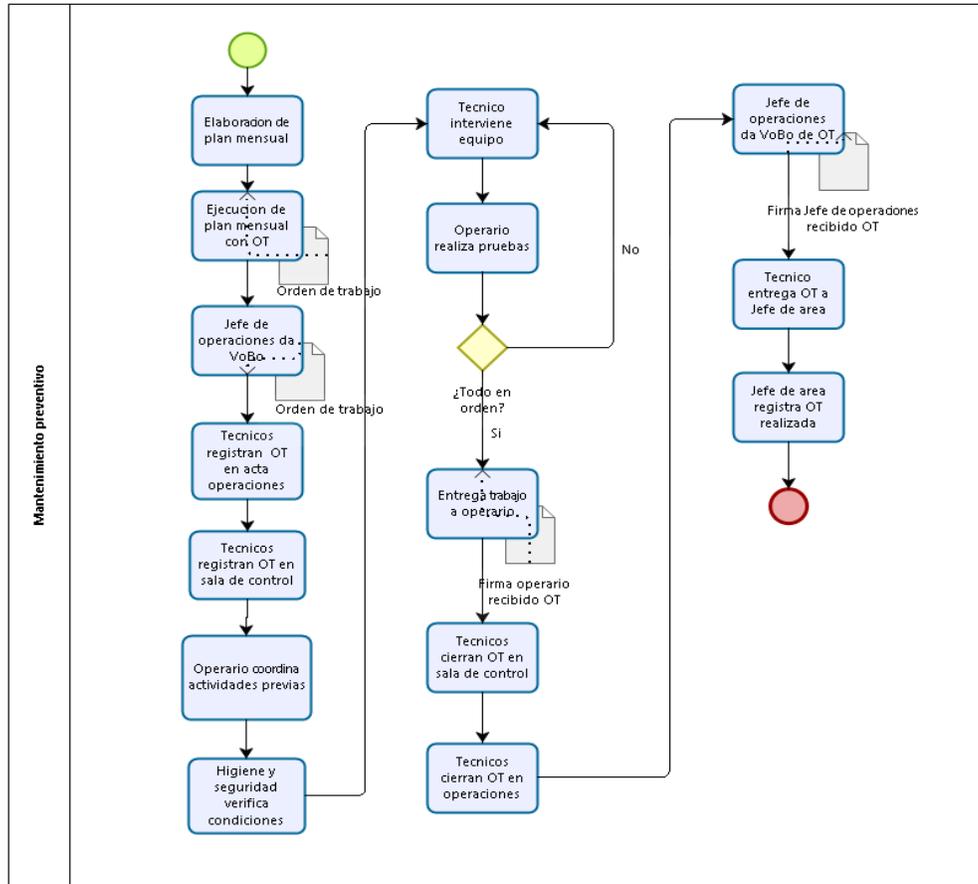


Diagrama de flujo de mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

Mantenimiento correctivo

El proceso utilizado en ENEL planta Managua para actuar al momento de una falla y la realización del mantenimiento correctivo, según el jefe de operaciones, se realiza de la manera en que se muestra en el diagrama de flujo, el cual fue hecho para facilitar la comprensión de la secuencia de las actividades, ya que ENEL no posee uno, sin embargo en este caso los pasos son ejecutados a cabalidad y en ese mismo orden.

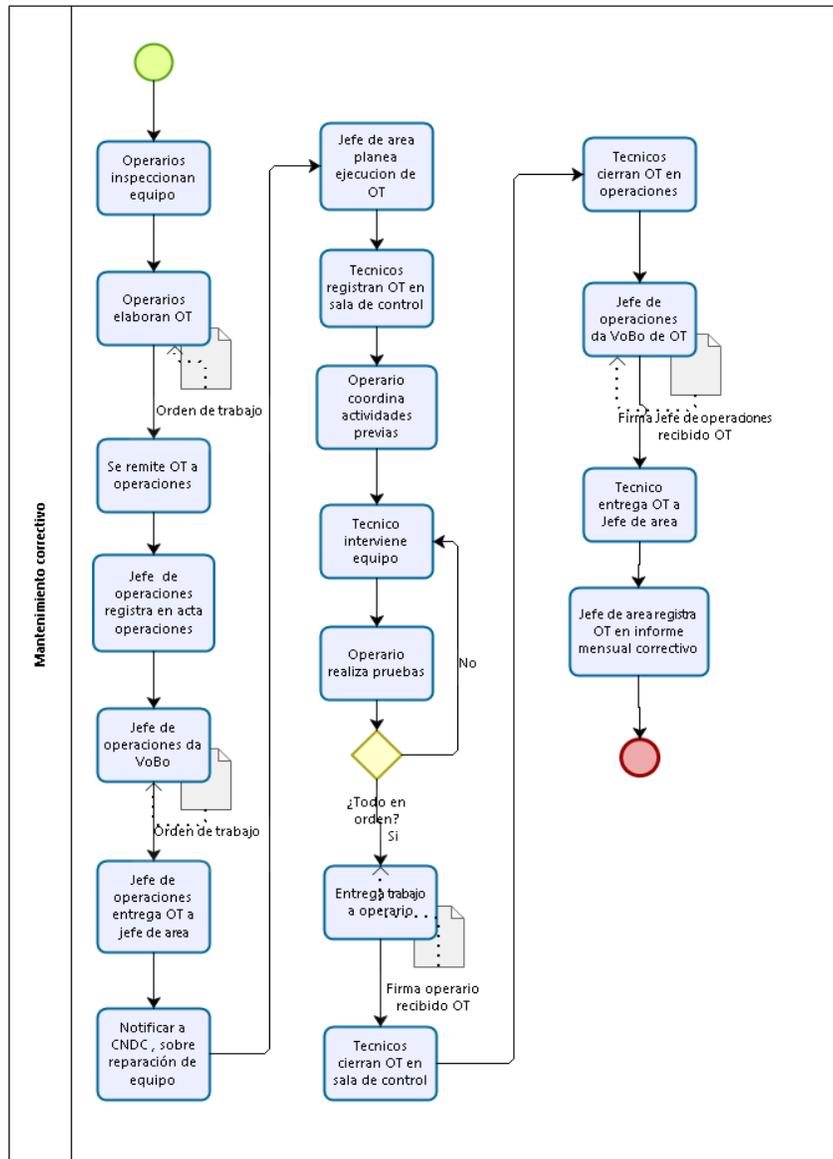


Diagrama de flujo de mantenimiento correctivo

Fuente: Elaboración propia

Indicadores de mantenimiento

En cualquier sistema de producción empresarial es necesario controles o indicadores que midan los procedimientos existentes, recursos utilizados, unidades producidas, en fin, una gran variedad de elementos que la empresa requiere monitorizar para tomar decisiones y realizar acciones en el mantenimiento.

Los controladores en ENEL calculan ciertos parámetros de las unidades de generación y de la planta en general, según comenta el jefe de Operaciones, siendo utilizados: Disponibilidad, Factor planta, Factor carga y Factor utilización, en donde cada uno de estos logra involucrar el mantenimiento de forma indirecta o directa. La disponibilidad es el indicador necesario para medir el mantenimiento, en cambio los otros factores comprenden criterios específicos de una planta eléctrica como producción generada con respecto a la demanda, producción ideal, etc. elementos que son afectados por la eficiencia del mantenimiento.

El objetivo del mantenimiento se resume en “Asegurar la disponibilidad planeada al menor costo dentro de las recomendaciones de garantía y uso de los fabricantes de los equipos e instalaciones y las normas de seguridad.” (Prando, 1996), si la disponibilidad es la habilidad que tiene el equipo para operar sin problemas, entonces una buena administración del mantenimiento permite altos índices de esta en la maquinaria, ENEL para calcularla en las Unidades IV y V utiliza la fórmula “(1)” para calcularla en toda la planta utiliza la fórmula “(2)”

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total de horas disponible del mes} - \left\{ \left(\frac{\text{Tiempo de fallas externas}}{\text{de la planta}} \right) + \left(\frac{\text{Tiempo de Fallas internas}}{\text{de la planta}} \right) + \left(\frac{\text{Tiempo de mantenimiento}}{\text{de la planta}} \right) \right\}}{\text{Tiempo total de horas disponible al mes}} * 100\% \quad (1)$$

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo total de horas disponible del mes} - \left\{ \left(\frac{\text{Tiempo de fallas externas}}{\text{de la planta}} \right) + \left(\frac{\text{Tiempo de Fallas internas}}{\text{de la planta}} \right) + \left(\frac{\text{Tiempo de mantenimiento}}{\text{de la planta}} \right) \right\}}{\text{Tiempo total de horas disponible al mes}} * 100\% \quad (2)$$

El indicador factor planta es un cálculo que expresa el porcentaje de lo que se genera realmente con respecto a lo que se debió generar en un tiempo estimado tomando en cuenta su potencia máxima. En otras palabras es un porcentaje relativo de la productividad ideal, esto se hace a través de la formula “(3)” para las Unidades IV y V, en cambio para la planta se utiliza la formula “(4)”

$$\text{Factor planta} = \left(\frac{\text{Generacion Bruta}}{\text{Horas trabajadas} * 6200 \text{ KW}} \right) * 100\% \quad (3)$$

$$\text{Factor planta} = \left(\frac{\text{Generacion Bruta de Unidad IV y V}}{\text{Horas trabajadas de la planta} * 12400 \text{ KW}} \right) * 100\% \quad (4)$$

La razón entre la demanda máxima y la potencia máxima que el generador puede producir da como resultado el factor utilización. Este dato se obtiene de la fórmula “(5)” para las Unidades IV y V, en cambio para la planta se utiliza la fórmula “(6)”.

$$\text{Factor utilizacion} = \left(\frac{\text{Demanda maxima}}{6200 \text{ KW}} \right) * 100\% \quad (5)$$

$$\text{Factor utilizacion} = \left(\frac{\text{Demanda maxima}}{12400 \text{ KW}} \right) * 100\% \quad (6)$$

El factor carga es la relación entre la generación real o bruta y el consumo que resultaría de considerar la demanda máxima por un periodo de horas trabajadas, se calcula mediante la fórmula “(7)(5)” para las Unidades IV y V, en cambio para la planta se utiliza la formula “(8)(6)”.

$$\text{Factor carga} = \left(\frac{\text{Generacion Bruta}}{\text{Demanda maxima} * \text{Horas trabajadas}} \right) * 100\% \quad (7)$$

$$\text{Factor carga} = \left(\frac{\text{Generacion Bruta de Unidad IV y V}}{\text{Demanda maxima} * \text{Horas trabajadas en la planta}} \right) * 100\% \quad (8)$$



Capítulo III: Características técnicas de los generadores de energía (Unidad IV y V)

Descripción general de las Unidades IV y V

Los dos grupos electrógenos que se encuentran en ENEL planta Managua tienen iguales partes técnicas, debido a que ambos son los mismos modelos, incluso algunos de sus componentes es compartido por ambos, por ejemplo la separadora de combustible.

El grupo electrógeno se compone de dos aspectos: el motor diésel marca WARTSILA modelo VASA 18V32 y de un generador trifásico marca ABB Industry modelo ASA 900XU10 (**Ver anexo D**).

El motor utilizado es de combustión interna con ciclo diésel de 4 tiempos, que utiliza combustible HFO380 (el número trescientos ochenta indica la viscosidad de dicho bunker), cabe resaltar que está diseñado para arrancar o detener con fuel oil pesado (Bunker C) logrando obtener 720 RPM (Revoluciones Por Minuto).

La sección motor se divide en dos lados siendo A y B. El lado A es el único que permite el arranque debido a que ambos lados están acoplados entre sí, mediante elementos en común, a como lo está un motor en “V”. Las dos partes constan de 9 pistones cada uno, dando un total de 18 cilindros con sus respectivas culatas, árbol de levas e inyectores y cuentan con una tapadera metálica para facilitar el mantenimiento de estas. En cuanto al generador, este se encuentra acoplado con el motor a través de un rotor, y este simplemente se compone de filtros de aire, un devanado, una coraza y un eje.

Datos principales del motor

Diseño general del motor

El diseño general descrito a continuación se basa conforme a Wartsila NSD finland oy (1997), que a su vez es el manual brindado por el proveedor, en donde se define las partes principales. Para comenzar el bloque del motor, se funde en una sola pieza y es dentro este que se albergan algunos de los elementos de vital importancia para el equipo. Este componente de suma importancia está conformado por cojinetes principales que están suspendidos, entre tanto las tapas del cojinete principal están soportadas por dos tornillos apretados hidráulicamente

y dos tornillos laterales. Los cojinetes principales pueden ser trimetálicos o bimetálicos (el cojinete consta de tres o dos metales con diferentes colores, el cual a medida que se desgasta, este cambia de color hasta llegar al que muestre la necesidad de sustitución) totalmente intercambiables. Las tapas del carter, de metal ligero, cierran herméticamente contra el bloque del motor por medio de juntas de gomas, el colector de aceite (carter) está construido con chapa soldada.

La culata es de acero fundido especial, que se fija por medio de cuatro tornillos apretados hidráulicamente. El diseño de la culata es de doble pared y el agua de refrigeración es forzada desde la periferia hacia el centro. Dentro de este va:

- Válvulas de admisión
- Válvulas de escape
- Árbol de levas
- Pistones

En el cilindro es donde se dan las fases del ciclo diésel, ya que aquí es donde se producen las explosiones que desplazan al pistón, según el manual proporcionado por el fabricante, se muestran a continuación ciertos datos principales acerca del cilindro del motor.

- Diámetro del cilindro - 320 mm
- Carrera - 350 mm
- Cilindrada por cada cilindro - 28.15 l

Las bombas de inyección normalmente pueden ser cambiadas sin ajuste alguno, junto con estas, las tuberías están situadas en un espacio cerrado, aislado térmicamente para el funcionamiento con combustible pesado. En cuanto a los turbosoplantes, se encuentran situados en el extremo libre del motor, y en un motor en V como el estudiado, hay uno para cada línea de cilindros.

Orden de Encendido

El orden de encendido es la secuencia o el orden en que se dan las explosiones, este orden tiene como principio numerar cada cilindro para distribuir el ciclo de 4 tiempos en estos y evitar que dos cilindros adyacentes realicen la misma fase

equilibrando las fuerzas que se producen en el cigüeñal, y además regulando las vibraciones en el motor. De modo que la distribución de las carreras (distancia que recorre el pistón en el cilindro) de potencia (en este caso es la rapidez en la que puede trabajar el motor) a lo largo del cigüeñal según el fabricante del motor es: 1, 7, 4, 2, 8, 6, 3, 9, 5

Condiciones externas para funcionamiento del motor

Según el manual proporcionado por el fabricante las condiciones de referencia para que todo opere bajo un buen rendimiento son:

- Presión atmosférica: 100 KPa (1.0 bar)
- Temperatura ambiente: 298 K (25°C)
- Humedad relativa del aire: 30%

Sistemas del motor

Sistema para aceite combustible

Para que el sistema de combustible funcione de manera óptima se deben de tener ciertas consideraciones como por ejemplo:

- Debe evitarse los combustibles mezclados con una viscosidad entre 4 y 7 cSt/100°C
- El motor está diseñado para funcionar con una viscosidad máxima de 55 cSt/100°C

Los elementos que engloban al sistema de combustible incluye: tanques de almacenamiento, tanques diarios, separadora de combustible, tanque buffer, unidad booster, filtros de combustibles.

Sistema de aceite de lubricación

El aceite permite reducir la fricción de las partes móviles del motor, y al no tener la cantidad necesaria las piezas se desgastan al punto de deformarse, sin embargo según el manual proporcionado por el fabricante, se muestra que el sistema de lubricación debe mantener un volumen de 2670 L (Litros)

Según Wartsila NSD Finland oy (1997), se dice que el motor en estudio:

Incluye una bomba de engranes, filtro, filtro centrifugo en bypass y electrobomba de prelubricación. El colector de aceite (carter) está dimensionado para el volumen total del aceite necesario, e independientemente del número de cilindros, todos los motores pueden funcionar con colector (carter) húmedo, o bien seco.

Para que el sistema de aceite funcione de manera óptima se deben de tener ciertas consideraciones como por ejemplo:

- El aceite debe ser SAE30 o SAE40 siendo el último el de preferencia según el fabricante.
- La viscosidad del aceite debe ser entre 61-90 cSt a 40°C y 7.5-12 cSt a 100°C.
- El aceite debe ser precalentado a una temperatura entre 62°C a 70°C. Igualmente después del trabajo realizado debe tener una temperatura entre 10°C a 13°C mayor a la del antes del arranque.
- Se recomienda que el aceite debe pasar por un centrifugado para limpiar el mismo.
- Para el cambio de aceite del carter se debe recordar que: El aceite se debe cambiar después de 500 horas de servicio para aceites normales; después de 1500 horas de servicio para aceites minerales especiales; y después de 2500 horas de servicio para aceites sintéticos.

El aceite utilizado para el carter no es el mismo utilizado para otras partes del motor como es el caso de los turbocompresores, y el cambio de este se da cuando tiene un color negro, en el caso del aceite para el virador se recomienda el uso de aceites EP (Extreme Pressure) de viscosidad entre 400-500 cSt/40°C

Sistema de agua enfriamiento

Para el sistema de enfriamiento se utiliza agua en baja temperatura (LT) y agua en alta temperatura (HT), siendo la primera encargada de refrigerar los cilindros, culata y turbocompresores; la segunda circula el agua a través del enfriador de aire de carga, el enfriador de aceite lubricante y los radiadores.

En el sistema HT una bomba hace fluir el agua a través de los conductos de enfriamiento hacia los componentes que debe refrigerar, en esta etapa el agua se mantiene en recirculación hasta que la temperatura sobrepasa el límite permisible, enseguida una válvula termostática permite el paso del agua a los radiadores, y cuando este recobra su temperatura se redirige al motor. El sistema LT funciona de igual forma al anterior, ya que hace circular el agua por medio de una bomba y cuando su temperatura aumenta sobrepasando el límite, se envía a los radiadores, sin embargo este sistema no va montado sobre el motor. Los radiadores se encargan de enfriar al sistema HT y LT a través de ventiladores, que impulsan aire del ambiente.

La temperatura según el Manual del fabricante antes del arranque, en el agua HT debe ser entre 5-8°C menor de la que sale después del motor el cual es 91-100°C y en el agua LT antes del arranque debe ser a una temperatura entre 28-38°C.

Según el manual proporcionado por el fabricante, la cantidad necesaria para que el sistema de refrigeración pueda mantener la temperatura adecuada en el motor y no ocasionar un sobrecalentamiento, es de 1060 L (Litros) o 280.4 gal (Galones)

Sistema de aire comprimido

Proporciona aire a los cilindros y es controlado por un distribuidor accionado por el árbol de levas para que el motor arranque necesita una presión de aire mínima de 15 bar y máxima de 30 bar, este aire se encuentra en los compresores y son inyectados a los cilindros para poder encender el motor a una temperatura de 40-60°C.

Sistema eléctrico

En el caso de los motores WARTSILA así como en el caso de un motor diésel normal, el sistema eléctrico es definido por: motores de abanicos eléctricos para radiadores, paneles, calentadores eléctricos, controladores, entre otros. Todo esto con el fin de controlar finamente el buen funcionamiento del motor, a través de alertas, sensores, válvulas, interruptores, etc.

El sistema eléctrico en si permite ajustar o modificar ciertos parámetros de funcionamiento de la máquina, de manera que al operador se le sea más fácil manejarla, y en caso de alguna falla, esta le alerte al operador y pueda este tomar las medidas necesarias.

Sistema de aire de combustión y escape

Los sistemas de aires están diseñados para que los motores mantengan una temperatura homogénea entre los 82°C y 113°C para que el recalentamiento no afecte el funcionamiento y las principales piezas del motor.

Con el sistema de aire se enfrían los cilindros, parte del aire se hace pasar hacia el radiador para bajar su temperatura. El sistema de escape sirve para canalizar y evacuar los gases resultantes de la combustión dentro del motor con esto asegura la descontaminación y la reducción de los humos desprendiendo así cuatro contaminantes nocivos: el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno y los humos específicos a los motores diésel.

Datos principales del generador eléctrico

El generador es capaz de producir alrededor de 5.4 a 6 Megavatio (MW), ambas por tal razón alcanzan aproximadamente los 10 MW bruto, ya que de esta energía producida, la Unidad hace consumo de esta para sus equipos eléctricos.

El generador consta de una cubierta que protege a los elementos dentro de esta siendo los más importantes el estator y el rotor, entre estos se da la inducción electromagnética, definida como: “La producción de corrientes eléctricas por campos magnéticos variables con el tiempo” (Sánchez, 2013).

El funcionamiento del generador de las unidades instaladas en ENEL planta Managua es el mismo que la de un generador pequeño que genera 1 kilovatio (kW), es decir, que utilizan el mismo principio, que según un sitio web (Venta generadores electrico, 2011) lo plantea de la siguiente manera:

“La corriente eléctrica se produce por un movimiento de electrones, el generador eléctrico se sirve de un campo magnético para producir este movimiento al girar una bobina conductora entre los polos de un imán se



produce una variación en el flujo del campo magnético generando una fuerza electromotriz capaz de generar corriente eléctrica alterna.”

Los aspectos técnicos de las Unidades IV y V fueron expuestos para familiarizarse con el equipo y conocer la complejidad del aparato sometido a mantenimiento, de tal forma que esta monografía se limitará a las afirmaciones hechas en este capítulo, sin abordar en temas que involucren ingeniería mecánica o bien ingeniería eléctrica.

Capítulo IV: Formatos y herramientas utilizados para el Mantenimiento preventivo y correctivo de ENEL planta Managua

Formatos de ENEL planta Managua

Como toda empresa de producción o de servicio es necesaria la recopilación y almacenamiento de datos para llevar un control de los recursos, mano de obra, costos, entre otros temas de importancia y hacer con la información recopilada toma de decisiones, proyecciones y/o acciones que permitan manejar o administrar la compañía hacia el éxito empresarial en un mercado competitivo, de modo que se requiere de formatos que recojan dichos datos idóneos para la empresa.

Los formatos son estándares que disponen de elementos que precisan ser llenados, por operarios, técnicos, personal a cargo de servicio al cliente, o cualquier trabajador cuyo papel en su área es notificar por medio de estos, lo que está ocurriendo en su puesto, usualmente puede ser digital o impreso para su posterior resguardo. En el Mantenimiento, son necesarios: Ficha técnica, Hoja de inspección, Solicitud de trabajo, Orden de trabajo, Expediente del equipo, Requisición de materiales, Devolución de materiales. Estos resultan ser los más habituales que se utilizan para la correcta ejecución del mantenimiento.

ENEL planta Managua posee sus propios formatos, obviamente adecuados para los tipos de maquinaria que disponen, aunque también existen variantes en la forma que recolectan los datos, ya sea por conveniencia, por desconocimiento de las herramientas a disposición o por facilidad en el manejo de estas, sea cual sea la razón lo crucial es tener a mano todo lo que se pida a nivel administrativo, para que estos tomen las riendas adecuadamente de la empresa.

Ficha Técnica

Es un documento o formato en el cual se detallan de manera ordenada todas las características específicas de un producto o maquinaria según sus fabricantes.

Las fichas técnicas de un producto y equipo son de mucha importancia para la ejecución y efectividad de las operaciones diarias de cualquier empresa, asimismo nuevo personal se familiariza con el equipo con el que va a trabajar, ya que se considera como una identificación de la maquinaria.

La empresa en estudio no utiliza ficha técnica, ya que estos se guían con los manuales de los equipos, suministrados por los fabricantes, o no la ven como necesaria por la experiencia adquirida de aquellos trabajadores que llevan años trabajando en contacto con el motor. El grupo monográfico se dio a la tarea de elaborar una ficha técnica de acuerdo a los estudios realizados, para cada unidad, la cual será de mucha ayuda para la empresa (**ver Anexo D, pg. xxiii y pg. xxiv**).

Requisición de materiales

Es un documento donde se autoriza la salida de materiales o repuestos del almacén durante las actividades de mantenimiento que enfrenta la empresa, con el fin de llevar un buen control de inventario para la contabilización de costos (**ver Anexo B, pg. vii**).

Procedimiento

1. La persona encargada de realizar el pedido va al almacén con el número con el cual se identifica el tipo de repuesto que se va a necesitar.
2. La persona responsable del almacén corrobora la numeración de la pieza.
3. Al encontrar la pieza solicitada se emite una requisita de materiales.
4. La requisita emitida se lleva donde el responsable jefe del área en la que se está trabajando para ser firmada y autorizada.
5. Se guarda una copia de la requisita como soporte para comprobar lo que se extrajo del almacén.

Devolución de materiales

Este documento se utiliza para la devolución de materiales o repuestos que fueron autorizados para dicho trabajo pero no fueron utilizados por diferentes razones. ENEL planta Managua utiliza el mismo documento de requisita de materiales para hacer las devoluciones, siendo el área encargada de solicitar los materiales la misma responsable de realizar la devolución (**ver Anexo B, pg. vii**).

Procedimiento

1. El personal de mantenimiento que está encargado de realizar pedido de materiales llega al almacén con los materiales o repuesto que no fueron utilizados.

2. La persona responsable del almacén recibe y verifica los materiales.
3. El encargado de bodega emite el formato de devolución donde se detalla las razones de dicho proceso
4. Dicho formato es firmado por el responsable jefe de área donde se realizó el mantenimiento.

Requisición de herramientas

La empresa ENEL planta Managua utiliza una requisita de herramientas la cual se basa en el mismo concepto que en la de materiales, sin embargo esta solo es utilizada por el área de mecánica donde el encargado lleva el control de la entrada y salida de las herramientas en la bitácora.

Procedimiento

1. Se solicitan las herramientas a utilizarse de parte del encargado del mantenimiento
2. El encargado de bodega apunta en su bitácora las herramientas que salen
3. Una vez que el trabajo a realizar ha culminado se confirma en bitácora el retorno de las herramientas que se utilizaron.

Expediente de equipo

Es el documento donde se detalla de manera completa los acontecimientos ocurridos en los equipos utilizados en toda empresa de producción. En cambio ENEL planta Managua lleva un control de todos los mantenimientos que se han realizado en los equipos Wartsila, por lo que cada área utiliza bitácoras donde detallan las fallas ocurridas, los factores que la ocasionan y las medidas utilizadas para dar solución, estos apuntes los hacen de manera inmediata después de realizado el mantenimiento y son utilizados como expediente de equipos. Incluso se anotan las órdenes de trabajo de los mantenimientos programados.

Solicitud de trabajo

Este documento sirve para alertar sobre una anomalía determinada dada en cualquier equipo, en donde el departamento de mantenimiento interviene, de tal forma que se solicite a los trabajadores encargados del mantenimiento acudan de inmediato o a la brevedad posible. La compañía generadora de energía no utiliza

dicho documento debido a que el operario realiza una orden de trabajo de manera directa, el jefe de operaciones la aprueba y el área de mantenimiento la ejecuta.

En ENEL planta Managua debe de ser necesario la utilización de dicho documento para que los encargados del mantenimiento valoren el nivel de importancia de la falla o anomalía dada, de tal forma proceder de manera correcta en dependencia de la situación ya sea para mantenimiento correctivo o preventivo.

Orden de trabajo

Existen dos tipos de órdenes de trabajo, las ordenes rutinarias y las ordenes específicas, a como explica Enrique Dounce Villanueva (2007):

- Ordenes rutinarias: Estas como se hace referencia en su nombre se realizan de manera rutinaria y cíclica, estos forman parte de un plan de mantenimiento programado.
- Ordenes específicas: Estas en cambio se elaboran para la atención de algún hecho eventual o para dar respuesta a alguna solicitud de trabajo emitida por personal de trabajo.

La empresa utiliza un formato de orden de trabajo para realizar cada uno de los mantenimientos ya sean correctivos o preventivos donde se detalla el tipo de trabajo que se debe de realizar, el visto bueno del supervisor de turno, el inicio de esta y su finalización, etc. siendo registradas según el código que le corresponde, establecido por la empresa (**ver Anexo B, pg. vi**).

Hoja de inspección semanal

Es un formato utilizado en la compañía para el mantenimiento preventivo donde se detallan distintos equipos a ser inspeccionados ya sea para la Unidad IV o la Unidad V (**ver Anexo B, pg. ix y pg. x**), en este se puede divisar campos como el número secuencial, el código del equipo, el nombre del equipo, el estado operacional (en servicio o fuera de servicio) y su estado técnico (bueno, regular o malo). Se hace distintos formatos para ambas unidades, buscando revisar las partes individuales de ambas (un ejemplo es el carter), así como los elementos que comparten (un ejemplo es la separadora de Bunker).

Reporte de falla técnica

Es un formato donde se registran todas las fallas que se ocasionan en los generadores eléctricos, estos se anotan de manera individual realizando un formato para cada una de las fallas, donde se plasman la fecha en que ocurrió, las medidas de solución que se llevaron a cabo, el tiempo total en que se realizó dicho mantenimiento, y llegando a utilizarse en gran medida para la realización de los expedientes de ambos equipos (**ver Anexo B, pg. v**).

Parámetro operativo de motor Wartsila

Es un formato auxiliar que se utiliza para la ejecución del mantenimiento preventivo que permite tomar mediciones o parámetros operativos de ambas unidades con el fin de que estos cumplan con los rangos establecidos y trabajen en condiciones óptimas, además de llevar un control de estos para la programación de los mantenimientos en caso de una desviación en la medida definida. En estos se mide la temperatura, la presión, las revoluciones, etc. y se realizan dos veces al mes solo en el área de mecánica (**ver Anexo B, pg. viii**).

Herramientas de ENEL planta Managua

La compañía cuenta con un sin número de herramientas, materiales y dispositivos de medición que son de mucha importancia para determinar la efectividad de un buen mantenimiento, por consiguiente vamos a mencionar las más usadas comúnmente y de mayor relevancia según las áreas de la empresa:

Mecánica

- Llaves mixtas de 19 mm, 17 mm y 24 mm
- Llaves de copas 17 mm, llave de copa Allen 3 mm, desatornillador: todos estos son utilizados para quitar las gavetas en el turbocompresor
- Para el mantenimiento de culatas se utilizan: llave de copa Allen 8 mm, llave mixta 19 mm, llave mixta 24 mm, llave mixta 17 mm
- Para quitar las tuberías se ocupa: copa Allen 19 mm, copa Allen 13 mm
- Copa Allen 8 mm
- Equipo hidráulico.
- Mangueras

- Filtro manual montable
- Llave dinamométrica
- Grúas
- Montacargas

Eléctrica

- Megger: medidores que miden el grado de aislamiento del motor de una fase
- Capacitometro: mide los capacitores para que estos estén en el rango de capacitancia
- Analizadores de batería
- Inductores de alto voltaje: detectan si hay voltaje en interruptores o barras de distribución a distancia sin entrar en contacto
- Calentadores de balinera eléctricos: se ensamblan las balineras a los ejes sin utilizar fuerza sino a través de calentamiento térmico
- Llaves: fijas, milimétricas, en pulgadas, ajustables
- Llave Stillson: se utiliza para los trabajos en tuberías
- Sistema de empujadores metálicos
- Taladro eléctrico
- Martillos de distintas medidas
- Perforadores
- Desatornillador tipo ranura
- Desatornillador tipo cruz
- Desatornillador tipo estrella
- Desatornillador tipo torx
- Extractores de balinera
- Teclex: Para levantar peso de ½ ton, 2 ton, 5 ton
- Levanta peso Hidráulico: Para transportar carga en polines
- Slinger: Cuerdas de acero o nailon para sostener o levantar objetos
- Tenazas
- Alicates

- Extractores de chaveta: para extraer anillos, seguros etc.
- Cautín para soldar con estaño
- Extractores de soldadura

Instrumentos

- Multímetro Digital: dispositivo para medir voltaje, miliamperios, corriente, frecuencias, voltaje alterno, voltaje continuo, etc.
- Amperímetro de gancho
- Capacitometro: mide los capacitores para que estos estén en el rango de capacitancia
- Fuentes de voltaje: corriente alterna(AC), corriente directa(DC), (0-150)V
- Llaves: fijas, milimétricas, en pulgadas, ajustables
- Llave Stillson: se utiliza para los trabajos en tuberías
- Sistema de empujadores metálicos
- Martillos de distintas medidas
- Perforadores
- Desatornillador tipo ranura
- Desatornillador tipo cruz
- Desatornillador tipo estrella
- Desatornillador tipo torx
- Tenazas
- Alicates
- Extractores de chavetas: para extraer anillos, seguros, etc.
- Cautín para soldar con estaño
- Extractores de soldadura de estaño

Por otro lado también es conveniente hablar que ENEL planta Managua como toda empresa, vela por la seguridad de sus trabajadores antes de realizar sus operaciones, tomando como prioridad la implementación de equipos de protección, los cuales son exigidos usar para las distintas áreas de trabajo, Wartsila NSD finland oy (1997) comenta la indumentaria a utilizar:

Indumentaria

Simplemente como cuestión elemental de protección personal, toda persona ocupada en la planta generadora debe observar ciertas normas básicas de indumentaria:

- Todo personal de la planta debe llevar la cabeza protegida. Los que tengan el cabello largo deben considerar asimismo el uso de una redecilla.
- Para evitar quemaduras, se debe vestir ropas de mangas largas con puños abotonados de modo que los brazos estén totalmente cubiertos.
- Usar calzado de seguridad con punteras duras y suela de cuero. Evitar las suelas de goma
- Usar guantes al manipular materiales o herramientas muy calientes o muy frías.
- Usar siempre protección acústica cuando se trabaja en áreas con nivel de ruido superior a 80 dBA.
- Usar gafas de seguridad para proteger los ojos.
- Para su seguridad personal: deje anillos, pendientes, pulseras, brazaletes, y collares en casa.



Capítulo V: Análisis de los planes de mantenimiento ENEL Planta Managua 2017

A como se ha estado explicando a lo largo del trabajo monográfico, el mantenimiento industrial juega un papel importante en la eficiencia de una empresa, para esto se debe de tener planes de mantenimiento que se rijan a los estándares de calidad de cada máquina, producto, proceso, etc. Al cual se deba de realizar el mantenimiento.

Es por esto que ENEL Planta Managua, al tener maquinaria extranjera se basa en el manual del proveedor para poder realizar sus planes de mantenimientos, ya sean diarios, semanales, mensuales o anuales. Tomando en base lo que dice el manual del proveedor, los jefes de áreas que velan el mantenimiento de ENEL planta Managua, tratan de formar un plan de mantenimiento en el cual se debe de dictar de manera clara lo que se quiere alcanzar o realizar, en un determinado tiempo.

Ciertamente en el manual del fabricante están escrito los pasos para la realización del mantenimiento, las condiciones de operación, y las herramientas idóneas para el desmontaje de piezas, pese a ello existen varios factores que puedan dificultar a la empresa conseguirlos, uno de ellos suele ser la accesibilidad, o bien la falta de técnicos especializados, así como la realización de tareas según las experiencias y malos hábitos de los técnicos con antigüedad en la empresa, cualquiera que sea el caso sin los recursos propicios, el proceso de reparación se ve influido de manera negativa. Aunque con un plan de mantenimiento indicado y la experticia de la persona encargada de su planificación, en administración de mantenimiento, se pueden llegar a crear programas que aseguren una mayor disposición de la máquina para su uso, con pocas fallas que ocasionen horas paro.

Los jefes de las áreas Mecánica, Eléctrica e instrumentación en ENEL planta Managua proyectan un plan de mantenimiento mensual en el que mencionan las labores técnicas y revisiones a realizar, ya sea diariamente, quincenal o una vez al mes. En efecto los jefes de áreas han logrado unificar lo que el manual del fabricante indica con sus conocimientos y, en algunos casos, junto a experiencias adquiridas durante tantos años trabajando con el motor y sus comportamientos, logrando así un plan de mantenimiento estándar.

El programa de mantenimiento mostrado en la tabla siguiente, es del manual del fabricante y consiste en realizar trabajos programados para que el motor funcione dentro de las especificaciones requeridas. En este plan se muestra las actividades de forma general para ciertos elementos según su intervalo de tiempo, y de forma específica en diferentes incisos del mismo manual. Sin embargo la empresa ha ido añadiendo elementos al motor, por ejemplo filtros para el sistema de tuberías de combustible, estos a su vez tienen sus propios intervalos de tiempo para ser revisados y reemplazados de ser necesario.

Tabla 3. Mantenimiento del manual para el motor

Intervalo: Cada dos días, independientemente de que el motor este o no en funcionamiento.	
Prelubricación automática	Comprobar el funcionamiento
Cigüeñal	Motor diesel: con el motor parado, girar el cigüeñal a una nueva posición
Intervalo: una vez por semana, independientemente de que el motor este o no en funcionamiento.	
Proceso de arranque	Arranque de prueba (si el motor está preparado)
Intervalo: cada 50 horas de funcionamiento	
Enfriadores del aire	Comprobar el tubo de purga en los enfriadores de aire Comprobar que el tubo de pura está abierto, comprobar si hay alguna fuga
Sistema de enfriamiento de agua	Comprobar el nivel de agua en el sistema de enfriamiento Comprobar el nivel en el tanque de expansión y la presión estática en los circuitos de circ. del motor
Biela	Comprobar el apriete de los tornillos de sujeción de la biela Comprobar el apriete de los tornillos de sujeción de la biela después de las primeras 50 h de funcionamiento en un motor nuevo y después de una revisión general comprobar aquellos tornillos que hayan sido aflojados. Nota: Bombear a la presión especificada. Apretar si es posible. No aflojar.
Filtros de combustible y lubricante	Comprobar los indicadores de caída de presión Cambiar los cartuchos de filtro si indica alta presión
Manómetros de presión y temperatura, indicadores de carga, etc.	Tomar lecturas Tomar lecturas y anotarlas (usando ej. formato No. WV98V009)(todas las temp. y pres., y al mismo tiempo la carga del motor)
Regulador	Comprobar el nivel de aceite en el regulador. Comprobar el nivel de aceite y si hay alguna fuga
Sistema de inyección y combustible	Comprobar la pérdida de combustible Comprobar la pérdida de combustible de las bombas y toberas
Carter de aceite	Comprobar el nivel de aceite en el carter Comprobar el nivel de aceite utilizando varilla sonda y añadir el aceite consumido
Cojinetes principales	Comprobar el apriete de los tornillos de los cojinetes principales Comprobar el apriete de los tornillos de los cojinete principales después de las primeras 50 h de funcionamiento en un motor nuevo y después de una revisión general comprobar aquellos

	tornillos que hayan sido aflojados. Nota: Bombear a la presión especificada. Apretar si es posible. No aflojar.
Turbosoplante	Limpiar el compresor con agua Limpiar el compresor con agua a presión
Turbosoplante	Comprobar el nivel de aceite en la turbosoplante Comprobar el nivel de aceite y comprobar si hay alguna fuga
Mecanismo de válvulas	Comprobar el huelo de las válvulas Comprobar el huelgo de las válvulas después de 50 horas de funcionamiento, en motores nuevos y reparados
Intervalo: cada 250 horas de funcionamiento	
Filtro centrifugo	Limpiarlo(s) filtro(s) centrifugo(s) Limpiar con más frecuencia si fuera necesario. Recordar abrir la válvula anterior al filtro después de limpiar
Mecanismo de control	Mantenimiento del mecanismo de control Comprobar su movimiento libre, limpiar, lubricar
Turbosoplante	Limpiar la turbina con agua inyectada; más a menudo si es necesario
Intervalo: Cada 500 horas de funcionamiento	
Circulación de agua	Comprobar la calidad de agua Comprobar el contenido de aditivos
Presión de cilindro	Comprobar la presión de cilindro Anotar la presión máx. de todos los cilindros
Aceite lubricante	Tomar muestras para análisis EN una nueva instalación o después del cambio a una nueva marca de aceite lubricante, tomar muestras para su análisis
Turbosoplante	Cambiar el aceite lubricante en el(los) turbosoplante(s) Cambiar el aceite lubricante en el(los) turbosoplante(s). Tener cuidado de que el aceite de la turbina no se mezcle con el del motor.
Intervalo: Cada 1000 horas de funcionamiento	
Filtro de aire (adosado)	Limpiar el filtro de aire de la turbosoplante Retirar el filtro(s) y limpiar de acuerdo con las instrucciones del fabricante (más a menudo, si es necesario).
Automatización	Comprobar el funcionamiento de automatización Comprobar la función de la alarma y mecanismo automático de parada
Bomba de alimentación de comb. eléct.	Volver a engrasar la bomba de alimentación de comb. eléct. Volver a engrasar la bomba de funcionamiento.
Bomba de prelub. eléct.	Volver a engrasar la bomba de prelub. eléct. Volver a engrasar la bomba de funcionamiento.
Filtro de combustible	Sustituir los cartuchos del filtro por otros nuevos. Limpiar la tela metálica y el alojamiento del filtro. Sustituir los cartuchos del filtro por otros nuevos (los cartuchos deben ser reemplazados cuando el indicador del presóstato diferencia muestra una caída de presión demasiado alta).
Filtro de aceite lubricante	Sustituir los cartuchos del filtro por otros nuevos. Drenar la carcasa del filtro. Limpiar la tela metálica y el alojamiento del filtro. Sustituir los cartuchos del filtro por otros nuevos (los cartuchos deben ser reemplazados cuando el indicador del presóstato diferencia muestra una caída de presión demasiado alta).
Intervalo: Cada 1000 horas de funcionamiento (cont.)	
Válvulas	Comprobar la condición de las válvulas

	<p>Comprobar que las válvulas de admisión y escape se mueven libres en sus guías. Esto deberá hacerse preferiblemente, cuando el motor ya lleva algunas horas parado.</p> <p>Comprobar la holgura de las válvulas.</p> <p>Comprobar la estanqueidad del cilindro (válvulas, pistones,...) con la herramienta suministrada (prueba neumática)</p>
Intervalo: Cada 2000 horas de funcionamiento	
Enfriadores del aire	<p>Comprobar el lado del agua en los enfriadores de aire</p> <p>Comprobarlos y la primera vez si es preciso, limpiar el lado del agua. Si esta está en buenas condiciones y los depósitos son insignificantes: próximo intervalo 4000 horas de funcionamiento.</p>
Válvulas de inyección	<p>Comprobar las válvulas de inyección</p> <p>Probar la presión de apertura. Desmontar y limpiar toberas. Comprobar el recorrido efectivo de la aguja. Comprobar los muelles, Renovar la tóricas. Comprobar las condiciones de la tobera con una bomba.</p> <p>Renovar el inyector si fuese necesario</p>
Aceite lubricante	<p>Cambiar el aceite lubricante</p> <p>Cambiar el aceite en una nueva instalación (instalación de carter húmedo). Tomar muestras para analizar. Si los valores del análisis son positivos y si el suministrador del aceite o el fabricante del motor así lo recomiendan, los intervalos entre los cambios se pueden alargar por espacios de 500 horas.</p> <p>En instalaciones de carter seco, los intervalos de cambio de aceite pueden ser de 8000 horas o más.</p> <p>Al cambiar el aceite, limpiar todas las esquinas de aceite.</p>
Instrumentos de medición	<p>Comprobar los instrumentos de medición</p> <p>Comprobar los manómetros de presión y temperatura. Sustituir los defectuosos.</p>
Regulador	<p>Cambiar el aceite en el regulador</p> <p>Cambiar el aceite lubricante</p>
Dispositivo de sobrevel. mecánica	<p>Comprobar el funcionamiento del dispositivo de sobrevel. Mecánica</p> <p>Comprobar el funcionamiento y la velocidad de disparo.</p>
Mecanismo de sobrevel. elect.-neumat.	<p>Comprobar el mecanismo de sobrevelocidad elect.-neumat.</p> <p>Comprobar el funcionamiento y la velocidad de disparo.</p>
Intervalo: Cada 4000 horas de funcionamiento	
Refrigerador(es) de aire	<p>Limpiar el (los) refrigerador(es) de aire</p> <p>Limpiar y efectuar prueba de presión, revisar cuidadosamente si hay corrosión.</p>
Eje de levas	<p>Comprobar las caras de contacto del eje de levas</p> <p>Comprobar las caras de contacto de las levas y rodillos.</p> <p>Comprobar que los rodillos giran. Girar el motor con el virador</p>
Mecanismo de control	<p>Comprobar el mecanismo de control</p> <p>Comprobar el desgaste de todas las articulaciones de conexión entre el regulador y todas las bombas de inyección.</p>
Cigüeñal	<p>Comprobar la alineación de cigüeñal</p> <p>Comprobar la alineación, usar formato No. WV98V036.</p> <p>Comprobar alineación con el motor caliente.</p>
Cigüeñal	<p>Comprobar el huelgo del cojinete de empuje</p> <p>Comprobar el huelgo axial.</p>
Camisas de cilindros	<p>Inspeccionar las cámaras de agua</p> <p>Sacar una camisa e inspeccionar el lado de agua a través del tapón del bloque del motor. Si los sedimentos son de grosor</p>

	superior a 1 mm, limpiar todas las camisas y mejorar el tratamiento de agua refrigeración
Válvulas de inyección	Inspeccionar las válvulas de inyección Comprobar la presión de apertura. Desmontar y limpiar las toberas. Comprobar el recorrido efectivo de la aguja del inyector. Comprobar el estado de los muelles. Sustituir la juntas tóricas. Comprobar el estado de las toberas con una bomba de prueba Recomendación: Sustituir las toberas por otras nuevas
Refrigeradores de aceite lubricante	Limpiar el refrigerador de aceite lubricante Si la temperatura de aceite lubricante delante del motor está dentro de los valores normales de funcionamiento, puede prolongarse el intervalo. Evitar abrir el refrigerador de chapa si no es necesario. Limpiar el refrigerador de aceite lubricante antes de alcanzar el límite de alarma. Inspeccionar cuidadosamente si hay corrosión
Limitador del combustible de arranque	Comprobar el limitador del combustible de arranque Comprobar el ajuste y funcionamiento
Turbosoplante	Inspeccionar y limpiar Limpiar mecánicamente el compresor y la turbina si es necesario. Inspeccionar los conductos de agua de circulación por posibles depósitos y limpiarlos si su grosor es mayor que 1mm
Intervalo: Entre cada 8000 a 12000 horas de funcionamiento	
Engrane de los ejes de contrapesos 4R32	Inspeccionar el engrane de los ejes de contrapesos Renovar piezas si es necesario
Engrane eje de levas	Inspeccionar el engrane del eje de levas Reemplazar las piezas si fuese necesario
Tubo de descarga del agua de circulación	Sustituir las juntas tóricas Sustituir las juntas tóricas del tubo de descarga del agua de circulación por otras nuevas.
Biela	Inspeccionar el cojinete de cabeza de biela Cambiar el cojinete de cabeza de biela. Inspeccionar el dentado de las superf. de unión. Medir el alojamiento, usar formato No. 3211V002
Culatas	Revisión general de la culata Desmontar y limpiar la cara inferior, los orificios de admisión y escape las válvulas de admisión y escape, inspeccionar las superficies de refrigeración y limpiarlas en caso necesario. Rectificar las válvulas (a menudo basta con esmerilar a mano). Cambiar las juntas tóricas en las guías de las válvulas
Camisas de cilindros	Inspeccionar las camisas de cilindros Medir el diámetro usando el formato 3210V001, reemplazar las camisas si se ha excedido los límites de desgaste. Bruñir las camisas.
Camisas de cilindros	Inspeccionar el lado de agua de la camisa Extraer la camisa de un cilindro (en los motores con cilindros en V, una por cada línea de cilindro), inspeccionar el lado del agua. Si los depósitos son de grosor superior a 1 mm, limpiar todas las camisas y el espacio de agua del bloque del motor. Cambiar las juntas tóricas de la parte inferior por otras partes nuevas en cada revisión.
Engrane acción, regulador	Inspeccionar el engrane de acción, regulador Renovar piezas si fuese necesario.

Bomba de agua HT	Inspeccionar la bomba de agua HT Desmontar y verificar. Renovar las piezas con desgaste.
Engrane acción, bomba HT	Inspeccionar el engrane de acción, de la bomba HT Renovar piezas si fuese necesario.
Válvula termostática de agua HT	Limpiar e inspeccionar la válvula termostática de agua HT Limpiar y comprobar el elemento termostático, cono de válvula en el cuerpo y los cierres.
Bomba de agua LT	Inspeccionar la bomba de agua LT Desmontar y verificar. Renovar las piezas con desgaste.
Engrane acción, bomba LT	Inspeccionar el engrane de acción, de la bomba LT Renovar piezas si fuese necesario.
Válvula termostática de agua HT	Limpiar e inspeccionar la válvula termostática de agua LT Limpiar y comprobar el elemento termostático, cono de válvula en el cuerpo y los cierres.
Bomba de aceite	Inspeccionar la bomba de aceite Renovar piezas si fuese necesario.
Intervalo: Entre cada 8000 a 12000 horas de funcionamiento	
Engrane de acción bomba de aceite	Inspeccionar el engrane de acción, bomba de aceite. Renovar piezas si fuese necesario
Válvula termostática de aceite	Limpiar e inspeccionar la válvula termostática de aceite Limpiar y comprobar el elemento termostático, cono de válvula en el cuerpo y los cierres
Pistón, aros, bulón de pistón	Inspeccionar los pistones y los aros de pistón Extrae, inspeccionar y limpiar. Comprobar la altura de las ranuras de los aros (la holgura de los aros). Usar formato No. 3210V001. Comprobar los anillos de cierre de los bulones de pistón. Renovar el juego completo de aros. Nota efectuar programa de rodaje
Válv. de arranque	Comprobar las válv. de arranque Comprobar las válv. de arranque en la culata. Renovar partes si fuese necesario
Turbosoplante Turbocompresores VTR	Cambiar los cojinetes en los turbocompresores VTR Ver instr. del fabricante.
Intervalo: Cada 16000 horas de funcionamiento	
Eje de levas	Inspeccionar los cojinetes Renovar si fuese necesario
Cigüeñal	Inspeccionar el cojinete principal Comprobar las condiciones del cojinete principal. Efectuar la inspección de acuerdo al tipo de cojinete montado.
Bomba alim. combust.	Revisión general de la bomba aliment. de combustible Inspeccionar bomba y renovar juntas y piezas con desgaste
Accionamiento regulador	Comprobar el cojinete del accionamiento regulador Comprobar In situ la holgura del cojinete del eje de accionamiento regulador
Colectores de escape	Comprobar los dilatadores Renovar si fuese necesario
Bombas de inyección	Revisión de bombas de inyección Limpiar e inspeccionar las bombas de inyección. Renovar las piezas con desgaste. Renovar el tapón con erosión
Válvulas de inyección	Inspeccionar las válvulas de inyección Probar la presión de apertura. Desmontar y limpiar las toberas. Comprobar el recorrido de la aguja. Comprobar el estado de los muelles. Sustituir las juntas tóricas. Comprobar el estado de las

	toberas una bomba de prelub. sustituir las válvulas completas si fuese necesario
Dispositivo virador	Cambiar el aceite en el dispositivo virador
Mecanismo de válvulas	Comprobar los cojinetes del mecanismo de válvulas Comprobar las holguras de los cojinetes en rodillos y balancines
Amortiguador de vibraciones viscoso	Tomar muestra de aceite del amortiguador de vibraciones viscoso Tomar muestra de aceite para su análisis
Intervalo: Cada 24000 horas de funcionamiento	
Eje de contrapeso balancín 4R32	Inspeccionar los cojinetes de los ejes de contrapesado Extraer un casquillo para su inspección. Si está mal comprobar otros dos. Renovar si fuese necesario
Bielas	Inspeccionar el casquillo del pie de biela Renovar si fuese necesario
Pernos de anclaje	Comprobar el apriete de los pernos de anclaje
Válv. autom. arranque	Revisión general de la Válv. autom. Arranque Renovar las partes con desgastes
Dispos. Sobrevelocidad mecán.	Revisión general del dispositivo de sobrevelocidad mecánica Comprobar funcionamiento y velocidad de disparo.
Distribuidor aire arranque	Revisión general del distribuidor del aire de arranque. Renovar las piezas con desgastes
Amortiguador de vibraciones Geislinger	Chequear el amortiguador de vibraciones Desmontar y chequear el amortiguador de vibraciones
Intervalo: Cada 48000 horas de funcionamiento	
Engrane eje contrapesos 4R32	Inspeccionar los casquillos de los cojinetes Renovar si fuese necesario
Turbosoplante	Renovar la rueda del rotor Ver instrucciones del fabricante
Intervalo: Cada 64000 horas de funcionamiento	
Todo el motor	Revisión general del motor

Nota. Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

La descripción de mantenimiento mostrado en la “**Error! Reference source not found.**” y en la “**Error! Reference source not found.**”, es del manual del fabricante y consiste en una descripción general del mantenimiento del generador para que este funcione dentro de las especificaciones requeridas. Estos documentos son distintos al plan de mantenimiento del motor anterior por no ser tan preciso y abordar de forma universal las ideas, pero se explica en diferentes incisos los pasos a realizar para los cojinetes, el devanado, los filtros de aire, etc. El generador por ser un equipo de alta peligrosidad tiene medidas de seguridad altas, por lo que su fallas no son tan comunes a como comenta, el jefe de área eléctrica.

ABB Industry Oy Machines	MAINTENANCE General	4.1 1/2
96-02-02 MN Rev. A		

4.1 General

El mantenimiento de los devanados, cojinetes y otras partes importantes se describe en las instrucciones especiales. El AVR no necesita un mantenimiento regular.

Un AVR defectuoso debe ser sustituido por un regulador de reserva. El regulador de reserva tiene que ser programado para tener la misma configuración con la original.

La localización y reparación de una avería en los circuitos del AVR requieren habilidades especiales e instrumentos de medición adecuados.

Limpieza

La humedad, el polvo, la suciedad, aceite y grasa pueden ser perjudiciales para los aislamientos eléctricos del generador. El sistema de refrigeración también puede ser bloqueado o corroído.

Retire los filtros de aire para la limpieza. Regularmente se deben limpiar con la aspiradora primero desde el lado de aguas arriba, a continuación, en el lado de descarga. Periódicamente, se recomienda un lavado a fondo con agua limpia para liberar la suciedad no se elimina con la aspiradora. Cuando se encuentran concentraciones de grasa pesada, los filtros se deben lavar con una solución de detergente. Esta solución se debe enjuagar completamente antes de poner el filtro de servicio. Tenga cuidado al instalar los filtros de aire de nuevo al lado derecho hacia fuera (flechas en el marco del filtro de aire indican la dirección del flujo de aire). Consulte también el filtro de aire de la información del fabricante en el capítulo 2.9.

Limpiar y secar los bobinados del generador se explica en el capítulo 4.2.

Programar

Un calendario para la comprobación y el mantenimiento del generador debe establecerse de acuerdo con los requisitos de operación y con las condiciones del lugar. El programa de mantenimiento de la planta entera se debe prestar atención a. El calendario definitivo para la comprobación y el mantenimiento debe ser confirmado cuando la experiencia ha sido adquirida durante 3 a 12 meses.

Una amplia comprobación del generador, incluida la inspección de los bobinados y otras partes importantes del interior del generador, debe hacerse cada 2 años de servicio.

Ilustración 3. Descripción general del mantenimiento del generador (parte 1)

Nota. Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Generador (Vol. 2E libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

ABB Industry Oy Machines	MAINTENANCE General	4.1 2/2
96-02-02 MN Rev. A		

Completa revisión

Para una completa revisión, limpiar y posiblemente barnizar, el generador debe ser desmantelado de forma que el rotor y el estator están separados.

Con qué frecuencia una limpieza a fondo se debe hacer se puede juzgar por el estado de falta de limpieza en inspecciones anuales. Si el generador no se somete a más de contaminación normal, se recomienda un intervalo de inspección de cinco a diez años.

Ilustración 4. Descripción general del mantenimiento del generador (parte 2)

Nota. Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Generador (Vol. 2E libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Plan de Mantenimiento Sección Mecánica

Tabla 4. Plan de Mantenimiento sección Mecánica



PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

SECCION MECANICA PMA.

HH. Disponible aparente: 780 HH. Prog: 423

Nº	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDADES A REALIZAR	H/H
 <p>Cada actividad de este programa que usted realice recuerde, <u>hágalo con seguridad</u> y deje limpia su área donde trabajó.</p>				
<p>UNIDAD # 4 PMA. HH. Programadas : 309</p>				
01	-	Equipos rotativos en general	Revisar niveles de aceite y grasa a todos los equipos, rellenar si es requerido. (Llenar hoja de control, una vez al mes)	8
02	-	Filtro Manual	Realizar limpieza en la primera quincena del mes.	8
03	-	Filtro Manual	Realizar limpieza en la segunda quincena del mes.	8

N°	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDADES A REALIZAR	H/H
04	-	Separadora de aceite	Realizar limpieza a filtro anterior a la bomba alimentadora de aceite a separadora.	6
05	-	Separadora de aceite	Realizar limpieza a separadora con maquina CIP según el tiempo de operación.	8
06	-	Radiadores HT/LT	Hacerles lavado con agua a presión una vez por mes.	18
07	-	Filtro automático	Realizar limpieza de filtro (1ra quincena del mes).	8
08	-	Filtro automático	Realizar limpieza de filtro (2da quincena del mes).	8
09	-	Filtros Centrífugos	Realizar limpieza a los filtros centrífugos lado A y B. (Cada 15 días mes)	16
10	-	MCI	Realizar toma de parámetros de operación del motor, hacer ajuste si es requerido (fecha 11 o 13 del mes).	8
11	-	MCI	Realizar toma de parámetros de operación del motor, hacer ajuste si es requerido (fecha 18 o 21 del mes).	8
12	-	Estación Transferimiento de Búnker.	Realizar limpieza en filtros de las Bombas N° 1 y 2. Fecha programada: 11 del mes	10
13	-	Estación Transferimiento de Búnker.	Realizar limpieza en filtros de las Bombas N° 1 y 2. Fecha programada: 21 del mes	10
14	-	Separadora de combustible #1	Realizar limpieza con máquina CIP, hacer prueba de funcionamiento y dar seguimiento. Nota: Si ha operado poco después de la última limpieza, reprogramar.	8
15	-	Bba alim. Separadora de combustible #1	Realizar limpieza a filtro anterior a la bomba.	6
16	-	Turbos compresores	Realizar control de vibraciones por la mañana y tarde	15
17	-	Cremalleras de Bbas.	Realizar limpieza y lubricación de las 18 cremalleras.	8
18	-	Unidad #4	Tomar presión diferencial de: Entrada y salida de agua de radiadores, Filtros de admisión y Carter del motor	12
19	-	Unidad #4	Inspección mecánica de equipos rotativos estáticos (Semanal)	12
20	-	Bomba de pozo # 2	Mantenimiento completo bomba de pozo # 2	100

N°	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDADES A REALIZAR	H/H
21	-	Filtro de admisión	Lavado de 12 filtro de admisión	16
22	-	Filtro Manual y automático	Revisión y limpieza a elementos filtrantes	8
UNIDAD #5 PMA HH. Programadas : 305				
01	-	Equipos rotativos en general	Revisar niveles de aceite y grasa, hacer relleno si es requerido, (Llenar hoja de control, una vez al mes)	8
02	-	Filtro Manual	Realizar limpieza en la primera quincena del mes.	8
03	-	Filtro Manual	Realizar limpieza en la segunda quincena del mes.	8
04	-	Separadora de aceite	Realizar limpieza a filtro anterior a la bomba alimentadora de aceite a separadora.	6
05	-	Separadora de aceite	Realizar limpieza a separadora con maquina CIP según el tiempo de operación.	8
06	-	Radiadores HT/LT	Hacer lavado con agua a presión una vez por mes.	18
07	-	Filtros Centrífugos	Realizar limpieza a los filtros centrífugos lado A y B. (una vez al mes)	16
08	-	MCI	Realizar toma de parámetros de operación del motor, hacer ajuste si es requerido (fecha entre el 11 y 13 del mes).	8
09	-	MCI	Realizar toma de parámetros de operación del motor, hacer ajuste si es requerido (fecha 21 del mes).	8
10	-	Separadora de combustible #2	Realizar limpieza con máquina CIP.	6
11	-	Bba. Alim de separadora de combustible #2	Realizar limpieza a filtro de combustible anterior a la bomba.	4
12	-	Turbos Compresores	Realizar control de vibraciones por la mañana y tarde	15
13	-	Cremalleras de Bbas.	Realizar limpieza y lubricación de las 18 cremalleras.	8
14	-	Filtro Manual.	Revisión y limpieza de elementos filtrantes	8
15	-	Unidad #5	Tomar presión diferencial de: Entrada y salida de agua de radiadores, Filtros de admisión y Carter del motor	12
16	-	Unidad #5	Inspección mecánica de equipos rotativos estáticos (Semanal)	12

N°	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDADES A REALIZAR	H/H
17	-	Filtro Bba de lodo	Limpieza de filtro bomba desecho de lodo de separadoras de combustible y aceite.	8
18	-	Filtros de admisión	Lavado de 12 filtros de admisión.	16
19	-	TK Combustible #2	Limpieza Filtro en la línea de combustible antes del calentador eléctrico	8
20	-	Carcaza Turbo Compresor	Realizar Limpieza y pintado a carcaza lado turbina	20
21	-	TK agua Tratada	Limpieza interior a TK de agua tratada	100
ACTIVIDADES PARA SECCION DE MAQUINADO. HH dispo: 200 - HH prog: 160				
1	-	Dispositivo de disparo U#4	Fabricar 1 embolo de válvula principal de parada de motor	8
2	-	Culatas U# 5 (Para usarse en las últimas culatas reparadas con anillos sobre medidas)	Fabricar 1 empujador para montar camisa protectora de inyectores.	45
3	-	Barra de mando para cremalleras. U #4	Verificación, enderezado y reparación de 2 barras	60
4	-	Culatas U# 4 (Mtto. 2000 horas Febrero 2016.)	Revisar y reparar (3 Unidades) Yokes (Puntos de Apoyos)	12
5	-	Yokes de culatas U#5 (8 unidades)	Revisar ajuste y reparar las que están en mal estado	8
6	-	Bomba de combustible U#4	Fabricar hoja de calibración de 1.65mm de espesor.	6
7	-	Turbo Compresor lado B U# 5.	Trazar y buscar centro para perforar y tallar roscas en carcasa lado turbina. (Repuesto)	5
8	-	Culata A-2	Perforar para extraer (1) trozo de Perno en línea de Salida de gases.	8
9	-	Pistones U#4	Verificar cara de contactos internos de coronas	8

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Plan de Mantenimiento mensual. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL)

Análisis de Plan de Mantenimiento sección Mecánica

En la “Tabla 4” se contempla, el número de la actividad, la Orden de trabajo a registrar cuando se complete la actividad, el elemento a ser trabajado, las actividades a realizar, y las horas hombres necesarias. El plan se divide en 4 secciones, según las actividades extras destinadas a la sección de Maquinado (Una sección bajo las órdenes del área Mecánica), y según los equipos a revisar que corresponden a las unidades existentes en ENEL planta Managua: Unidad III (Unidad inhabilitada), Unidad IV y Unidad V.

El plan anterior también aborda otros equipos externos además de los en estudio, y por esa razón, se procedió a mostrar solamente las Unidades de interés. Asimismo se muestra un mantenimiento estándar, es decir, revela las actividades rutinarias que mensualmente se planifica en ENEL planta Managua, con el cual los técnicos se basan para realizar los trabajos que corresponden a cada máquina. Por consiguiente toda actividad de mantenimiento a realizar después de ciertas horas de operatividad de la maquina (se lleva control de las horas de funcionamiento en bitácoras), será plasmado en el plan en el tiempo que corresponde, utilizando como referencia las horas transcurridas después del mantenimiento mayor (Overhaul), por que las horas de funcionamiento se restablecen después de este. En este mismo programa se graban las órdenes de trabajo de los trabajos realizados para mandarlos como reporte de las actividades hechas en el mes.

En el plan de mantenimiento del área mecánica también se realizan otros tipos de mantenimientos que son llevados a cabo en la sección de maquinado, en este se realizan reparaciones de las piezas removidas para luego tenerlas listas en un dado caso que se tenga que utilizar nuevamente. Es necesario aclarar que el programa de mantenimiento actual se basa en su mayoría en lo mostrado en la “Tabla 3”, y también se basa en los conocimientos del jefe de área, por lo que su programación es adecuada, entonces el mantenimiento depende, de su ejecución y la calidad de sus materiales.

Si bien es cierto, estos planes se realizan mensualmente, las fallas en el motor siempre surgen, debido a ley de Murphy que dice "Si algo puede fallar, fallará", por lo que la empresa también realiza mantenimientos correctivos. Estos mantenimientos si no son de urgencia son programados para su reparación lo más antes posibles, si en cambio pasa lo contrario, entonces son plasmados en el siguiente plan de mantenimiento para su reporte mensual, situándose usualmente como la última operación de su sección correspondiente.

Plan de Mantenimiento Sección Instrumentos

Tabla 5. Plan de Mantenimiento sección Instrumentos

PROGRAMA MENSUAL DE TRABAJO.

SECCION INSTRUMENTOS

No.	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDAD A REALIZAR	H/H
UNIDAD #4 (206 H.H)				
06	-	Motor C.I.	Inspección quincenal de equipos de instrumentación en Motor y equipos auxiliares.	16
07	-	Carter de Motor.	Revisión indicador de presión de gases en Carter de Motor y limpiar manguera de impulso.	8
08	-	Instrumentación Motor.	Efectuar limpieza de indicadores de presión y temperatura instalados en el Motor. Asegurar fijación de presóstatos, termostatos y cableado de conexión.	16
09	-	Protección por sobre velocidad del motor.	Revisar funcionamiento de los 18 servo pistones de cierre de cremalleras del motor. Reparar elementos defectuosos.	16

No.	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDAD A REALIZAR	H/H
10	-	Unidad Booster.	Instalar alarma visual local y común a Sala de Controles por alta presión de combustible, con setting en 10 Bar.	34
11	-	Unidad de transferimiento de bunker	Mantenimiento y ajuste de presóstatos y manómetros de líneas de succión y descarga de bombas No. 1 y No. 2.	24
12	-	Panel de control temp. Agua HT del Motor.	Resocado de líneas de fuerza en salida de módulos de tiristores y revisión general a todo el sistema de control	8
13	-	Calentador eléctrico de Succión Bunker.	Revisión de sistema de control automático de combustible y resocar terminales de conexión eléctrica.	12
14	-	Separadoras de aceite lubricante.	Revisión de paneles de sistema de control temperatura y fijación de terminales de conexión eléctrica	24
14	-	Separadoras de aceite lubricante.	Revisión de paneles de sistema de control temperatura y fijación de terminales de conexión eléctrica	24
15	-	Separadoras de bunker No. 1 y No. 2	Revisión de paneles de sistema de control temperatura y fijación de terminales de conexión eléctrica.	24
UNIDAD #5 (138 H.H)				
16	-	Motor C.I.	Inspección quincenal de equipos de instrumentación en Motor y equipos auxiliares.	16

No.	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDAD A REALIZAR	H/H
17	-	Carter de Motor.	Revisión indicador de presión de gases en Carter de Motor y limpiar manguera de impulso.	8
18	-	Instrumentación Motor.	Efectuar limpieza de indicadores de presión y temperatura instalados en el Motor. Asegurar Fijación de presóstatos, termostatos y cableado de conexión.	16
19	-	Protección por sobre velocidad del motor.	Revisar funcionamiento de los 18 servo pistones de cierre de cremalleras del motor. Reparar elementos defectuosos.	16
20	-	Panel de control temp. Agua HT del Motor.	Resocado de líneas de fuerza en salida de módulos de tiristores y revisión general a todo el sistema de control	8
21	-	Unidad Booster.	Instalar alarma visual local y común a Sala de Controles por alta presión de combustible, con setting en 10 Bar.	34
22	-	Separadora de aceite lubricante.	Revisión de paneles de sistema de control temperatura y fijación de terminales de conexión eléctrica.	16
23	-	Separadoras de bunker No. 1 y No. 2	Revisión de paneles de sistema de control temperatura y fijación de terminales de conexión eléctrica.	24
OTROS (40 H.H.)				

No.	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDAD A REALIZAR	H/H
24	-	Varios Taller Instrumentos.	Efectuar ordenamiento y limpieza en Taller y bodega de Sección de Instrumentos.	40

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Plan de Mantenimiento mensual. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Análisis de Plan de Mantenimiento sección Instrumentos

En la “Tabla 5” se contempla, el número de la actividad, la Orden de trabajo a registrar cuando se complete la actividad, el elemento a ser trabajado, las actividades a realizar, y las horas hombres necesarias. El plan se divide en 4 secciones, según las actividades extras y los equipos a revisar que corresponden a las unidades existentes en ENEL planta Managua: Unidad III (Unidad inhabilitada), Unidad IV y Unidad V.

El plan anterior también aborda otros equipos externos además de los en estudio, y por esa razón, se procedió a mostrar solamente las Unidades de interés. Asimismo se muestra un mantenimiento estándar, es decir, se exponen las actividades rutinarias que mensualmente se planifica en ENEL planta Managua, con el cual los técnicos se basan para realizar los trabajos que corresponden a cada máquina. Por consiguiente toda actividad de mantenimiento a realizar después de ciertas horas de operatividad de la maquina (se lleva control de las horas de funcionamiento en bitácoras), será plasmado en el plan en el tiempo que corresponde, utilizando como referencia las horas transcurridas después del mantenimiento mayor (Overhaul), por que las horas de funcionamiento se restablecen después de este. En este mismo programa se graban las órdenes de trabajo de los trabajos realizados para mandarlos como reporte de las actividades hechas en el mes.

La mayoría de operaciones en este plan de mantenimiento se limitan a una revisión, en algunos casos cuando los instrumentos presentan algún tipo de falla se recurre a la calibración de estos ya que se necesitan todos los instrumentos que funcionen de manera optimar para mantener el control de la producción de

energía generada por el motor. Es necesario aclarar que el programa de mantenimiento actual se basa en su mayoría en lo mostrado en la “Tabla 3”, en los mantenimientos específicos del generador, y también en los conocimientos del jefe de área, por lo que su programación es adecuada, entonces el mantenimiento depende, de su ejecución y la calidad de sus materiales.

Si bien es cierto, estos planes se realizan mensualmente, las fallas en el motor siempre surgen, debido a ley de Murphy que dice "Si algo puede fallar, fallará", por lo que la empresa también realiza mantenimientos correctivos. Estos mantenimientos si no son de urgencia son programados para su reparación lo más antes posibles, si en cambio pasa lo contrario, entonces son plasmados en el siguiente plan de mantenimiento para su reporte mensual, situándose usualmente como la última operación de su sección correspondiente.

Plan de Mantenimiento Sección Eléctrica

Tabla 6. Plan de Mantenimiento sección Eléctrica

PROGRAMA MENSUAL DE TRABAJO SECCION ELECTRICA

No	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDAD A REALIZAR	H/H
PLANTA MANAGUA UNIDAD #4				
4	-	Equipos eléctricos varios; U#4.	Inspección quincenal de equipos Eléctricos, corregir fallas menores y reportar fallas de consideración.	13.5
5	-	Equipos eléctricos varios; U#4.	Inspección quincenal de equipos Eléctricos, corregir fallas menores y reportar fallas de consideración.	13.5
6	-	Generador Eléctrico; U#4. (Segunda Semana)	Cambio y Limpieza de filtros para aire de enfriamiento al Generador Eléctrico.	2.5
7	-	Generador Eléctrico; U#4. (Cuarta Semana)	Cambio y Limpieza de filtros para aire de enfriamiento al Generador Eléctrico.	2.5
8	-	Equipos Rotativos Varios; U#4.	Medición de vibraciones a equipos rotativos electromecánicos.	8
9	-	Red de tierra Unidades Wartsilas	Inspección diaria para verificar si no ha habido robo de la misma.	6
PLANTA MANAGUA UNIDAD #5				

No	O/T	EQUIPO/AREA	ACTIVIDAD A REALIZAR	H/H
10	-	Equipos eléctricos varios; U#5.	Inspección quincenal de equipos Eléctricos, corregir fallas menores y reportar fallas de consideración.	13
11	-	Equipos eléctricos varios; U#5.	Inspección quincenal de equipos Eléctricos, corregir fallas menores y reportar fallas de consideración.	13
12	-	Generador Eléctrico; U#5. (Segunda Semana)	Cambio y Limpieza de filtros para aire de enfriamiento al Generador Eléctrico.	2.5
13	-	Generador Eléctrico; U#5. (Cuarta Semana)	Cambio y Limpieza de filtros para aire de enfriamiento al Generador Eléctrico.	2.5
14	-	Equipos Rotativos Varios; U#5.	Medición de vibraciones a equipos rotativos electromecánicos.	8

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Plan de Mantenimiento mensual. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Análisis de Plan de Mantenimiento Sección Eléctrica

En la “Tabla 6” se contempla, el número de la actividad, la Orden de trabajo a registrar cuando se complete la actividad, el elemento a ser trabajado, las actividades a realizar, y las horas hombres necesarias. El plan se divide en 3 secciones, según los equipos funcionales a revisar (Unidad IV y V), y las actividades extras.

El área eléctrica es la que menos tareas tiene a realizar para el mantenimiento ya que relativamente su rango de operación abarca el generador, el cual usualmente requiere de limpieza de filtros, y también cualquier sistema eléctrico dentro de la misma empresa. Más que todo, esta área cumplen funciones generales de revisar cualquier tipo de cuerpo eléctrico que funcione directa o indirectamente al motor.

En la tabla anterior se muestra un mantenimiento estándar, es decir, se presentan las actividades rutinarias que mensualmente se planifica en ENEL planta Managua, con el cual los técnicos se basan para realizar los trabajos que corresponden a cada máquina. Por consiguiente toda actividad de mantenimiento a realizar después de ciertas horas de operatividad de la maquina (se lleva control de las horas de funcionamiento en bitácoras), será plasmado en el plan en el



tiempo que corresponde, utilizando como referencia las horas transcurridas después del mantenimiento mayor (Overhaul), por que las horas de funcionamiento se restablecen después de este. En este mismo programa se graban las órdenes de trabajo de los trabajos realizados para mandarlos como reporte de las actividades hechas en el mes.

Es necesario aclarar que el programa de mantenimiento actual se basa en su mayoría en los mantenimientos específicos del generador, así como en los conocimientos del jefe de área, por lo que su programación es adecuada, entonces el mantenimiento depende, de su ejecución y la calidad de sus materiales.

Si bien es cierto, estos planes se realizan mensualmente, las fallas en el motor siempre surgen, debido a ley de Murphy que dice "Si algo puede fallar, fallará", por lo que la empresa también realiza mantenimientos correctivos. Estos mantenimientos si no son de urgencia son programados para su reparación lo más antes posibles, si en cambio pasa lo contrario, entonces son plasmados en el siguiente plan de mantenimiento para su reporte mensual, situándose usualmente como la última operación de su sección correspondiente.



Capítulo VI: Análisis de fallas de Unidades IV y V en el año 2017

En ENEL planta Managua existe un mantenimiento preventivo que se le da a la maquinaria, no obstante, se encuentran una gran cantidad de fallas en el periodo del año 2017, aun cuando este grupo generador no es utilizado con la misma frecuencia que un equipo productor, estos últimos usualmente son usado diariamente durante toda una jornada laboral, un ejemplo puede ser: una Llenadora de bebida energizante, la cual tiene que trabajar dos turnos, para producir cierta meta propuesta por la empresa, la cual puede ser “x” cantidad de botellas. Por consiguiente conocer el ¿Qué ocasionó las irregularidades en el sistema? es primordial, para alcanzar el objetivo que toda empresa busca, la disminución de defectos.

Cabe resaltar que cuando una avería se genera en un grupo electrógeno, es necesario avisar al Centro Nacional de Despacho de Carga (CNDC) ya que estos son los encargados de planificar que planta debe entrar en acción para suplir la demanda de energía eléctrica.

ENEL planta Managua en lo que respecta al registro de las fallas, separa por internas y externas, siendo las internas las que se dan propiamente en el lugar donde se encuentra el motor, mientras que las externas pueden ser las que se dan dentro de la empresa pero en las zonas exteriores del motor, o bien las que involucran a terceros como lo puede ser ENATREL u otra planta generadora. Aun cuando ambas afectan a la planta Managua las externas se encuentran fuera de las manos de ENEL.

La categorización de los defectos encontrados, ENEL planta Managua la organiza según el área que le corresponde, pudiendo ser Mecánica, Eléctrica o Instrumento. Esta distribución va en dependencia de la pieza a reparar. El manual del fabricante facilita la información de dichas partes, las cuales se encontraran a lo largo de este documento, en la sección mecánica los colaboradores manejan los dibujos técnicos de las piezas, mientras que en la parte eléctrica e instrumento poseen diagramas eléctricos, la cual no fue de ayuda por no mostrar la forma del elemento dañado.

Fallas Unidad IV

Teniendo en cuenta la tabla siguiente, donde se muestran las fallas ocurridas en el año 2017 de la Unidad IV, se tomara como base para la realización del diagrama de Pareto. A continuación se agruparan las fallas, para conocer la frecuencia (FR) en que se repiten, y serán contabilizadas según en el sistema en que se encuentren, y si una falla se engrana con otra, es decir, poseen las mismas características entre sí o si bien varias fallas se dan en un mismo tipo de pieza, se unificarán como un mismo concepto, para ser contabilizadas posteriormente, de caso contrario se tomará de manera singular. En caso que una avería de pie a otra los autores reflexionaran si debe de contar como un caso singular o si debe agrupar en un grupo, también si al momento de las correcciones a cualquier anomalía se corrigen otras piezas, esto indicara la existencia de otra falla, la cual será también contada como cualquier otra.

La “Tabla 7” fue proporcionada por ENEL mostrando todos los desperfectos para el año 2017, presentando las fechas en que sucedieron, las causas que las ocasionaron, las acciones tomadas para corregir las fallas y el tiempo en horas que estuvo indisponible la maquina durante la falla, hasta su intervención. Por tanto se analizara para su posterior conteo, y realizar un diagrama de Pareto, con el fin de facilitar su análisis.

En la tabla, se puede denotar que algunas de las acciones adoptadas, incluyen revisar algunas otras piezas que afecta directa o indirectamente al artefacto dañado, la empresa lo hace con el objetivo de confirmar si todo funciona de manera correcta, por ejemplo: las culatas A4 y A5 tuvieron deficiencias y las actividades para su solución fueron realizar sus respectivos cambios de culatas, agregando a esto se hizo de igual modo un venteo en todos los cilindros y un ajuste de cremalleras, siendo incluso la culata y los cilindros dos piezas que se deben de estudiar de forma independiente. De modo que el equipo conoce la relación entre las piezas y lo que se pretende es analizar cada acción tomada para conocer si surgió otra falla al momento de la corrección o si simplemente los procedimientos que se tomaron fueron meramente pasos protocolares.

Tabla 7. Reportes de fallas en Unidad IV

Fecha	Causas que originaron la falla	Acciones tomadas para corregir la falla	Tiempo indisponible (Hrs/min)
09/01/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN.	04:06
09/01/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN.	00:13
16/01/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN.	00:11
24/02/2017	Manguera de línea de entrada de combustible.	Se realiza cambio de manguera y se realizan con Unidad Booster en servicio(sistema de combustible), prueba de hermeticidad.	00:51
13/03/2017	Turbocompresor A	Se realiza desmontaje de rotor y balineras lado turbina y lado compresor dañado, desmontaje de carcasa lado gases por observarse fisuras en lado agua enfriamiento y se realiza montaje de rotor, balineras, carcasas y accesorios nuevos	65:39
23/04/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN	13:00
24/04/2017	Circuito L3100.	Disparo ocasionado por circuito interno de Albageneracion., se normaliza circuito.	00:40
26/04/2017	Circuito L3100.	Disparo ocasionado por circuito interno de Albageneracion.,se normaliza circuito nuevamente.	00:42
05/05/2017	Sistema Inyección combustible.	Fuga en manguera de combustible entrada a motor.	47:54
06/07/2017	Culata B4.	Cambio de oring de botador de culata B4.	01:16
29/08/2017	Bomba inyectora A4,A5.	Se realizaron cambios de bombas inyectoras A4,A5, cambios de inyectores A4,A5,A8, venteo en bombas nuevas A4 y A5 y en todos los cilindros y ajuste de cremalleras.	04:39
30/08/2017	Culata A4, A5.	Se realizaron cambios de culatas A4,A5, venteo en todos los cilindros y ajuste de cremalleras.	05:54
04/10/2017	Valvula principal de arranque y culata B4.	Cambio de Valvula Principal de aire de arranque, cambio de culata B4, calibración de valvulas de admisión y escape de la culata B4.	04:23
24/10/2017	Junta de expansión de salida de gases de carter.	Cambio de junta de expansión en tubería de multiple de escape ubicado entre culata A5, A6.	22:19
26/10/2017	Transformador de autosincronismo.	Aislamiento de transformador de acople de autosincronismo.	15:39
30/10/2017	Bomba HT y culata A1.	Cambio de bomba principal de sistema HT y cambio de culata A1.	07:21
23/11/2017	Manguera de recirculación de combustible de bomba A5.	Se realizó cambio de Manguera flexible metálica en línea de combustible y se corrigió fuga de aceite en varillas empujadoras en culata B4.	17:30
25/11/2017	Tubo de inyección de combustible de bombas A1, A5 y A7.	Se realizó cambio de tubos de Inyección de combustible en las tres bombas.	07:58

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Reportes de fallas 2017. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Reporte de fallas Unidad IV

Las fallas tienen un factor causal, y es sustancial conocer el ¿Por qué sucedió? Ya que existe un mantenimiento preventivo, no obstante surgieron varios daños, por lo que saber la respuesta de esta pregunta permitirá generar un plan que permita prever que la falla generada se dé nuevamente por la misma razón, y como consecuencia se disminuye las fallas originadas en este equipo (Nunca se está exento completamente de que la máquina falle aún por la misma causa, si bien se puede disminuir hasta lo más mínimo la frecuencia que ocurran). ENEL

planta Managua lleva un informe de las órdenes de trabajo realizadas, como así mismo un “Reporte de Falla técnica” para cada uno de los percances que hubieron de forma individual por lo que recopilado se presenta en la “Tabla 8”.

Resulta oportuno indicar que así como hubo un ¿Por qué? También existe un ¿Qué se hizo? Esto con el objetivo de profundizar en el tema de fallas, para entonces poder crear programas o planes que aseguren un mantenimiento más estricto permitiendo a la empresa disminuir sus horas de paro y aumentar la disponibilidad de la máquina.

Las actividades correctivas se basan en el grado de conformidad con que se atendió una tarea, es decir que a medida de cómo se haya realizado la reparación tendrá un impacto en el equipo, que puede ser positivo o negativo, si en algún dado caso en un periodo corto de tiempo se vuelve a estropear una parte rectificadora, entonces se debe escudriñar que procedimiento se hizo, para tomar medidas que eviten en lo más posible errores en el mantenimiento. Con referencia a lo anterior los pasos para corregir las fallas que se dieron en ENEL planta Managua se encuentra en la “Tabla 9”.

Tabla 8. Causa de las fallas en Unidad IV

Fecha	Fallas	Motivo que origino la falla
24/02/2017	Manguera de linea de entrada de combustible.	Fuga de combustible en manguera de linea de entrada a motor 4
13/03/2017	Turbocompresor A	Durante el encendido del motor se observo en sala de controles variaciones en las RPM del turbocompresor 4A, seguido del disparo de la unidad, personal de mantenimiento mecanico realizo inspeccion encontrando daños en cojinete lado turbina y rotor. turbocompresor.
05/05/2017	Sistema Inyección combustible.	Bomba inyectora B7
06/07/2017	Culata B4.	Oring de botador de varilla empujadora de valvulas de escape de culata B4, cristlizado
29/08/2017	Bomba inyectora A4,A5.	Alta temperaturas de gases de escape 487°C. 480°C en culatas A4 y A5
29/08/2017	Inyectores A4,A5, A8.	Alta temperaturas de gases de escape 487°C. 480°C en culatas A4 y A5
30/08/2017	Culata A4, A5.	Alta temperaturas de gases de escape 487°C. 480°C en culatas A4 y A5
04/10/2017	Valvula principal de arranque	Oring de sello en obsturador de la valvula principal de arranque, presento desgaste y suciedad acumulada
04/10/2017	Culata B4.	Cambio de culata B4
24/10/2017	Junta de expansión de salida de gases de carter.	Salida de gases en area de multiple de escape en primera etapa
26/10/2017	Transformador de autosincronismo.	Transformador de acople de autosincronismo en mal estado
30/10/2017	Bomba HT	Fuga de agua en sello mecanico de bomba principal sistema HT
30/10/2017	Culata A1	Presencia de agua en cilindro A1
23/11/2017	Manguera de recirculación de combustible de bomba A5.	Rotura de manguera flexible metalica de linea de recirculacion de bomba A5
23/11/2017	Culata B4.	Fuga de aceite en varillas empujadoras en culata B4
25/11/2017	Tubo de inyección de combustible de bombas A1, A5 y A7.	Fuga de combustible en tubos de inyeccion a bombas A1, A5 y A7

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Reporte de falla técnica. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Tabla 9. Acciones correctivas tomadas en ENEL según su falla en Unidad IV

Fecha	Fallas	Acciones correctivas
24/02/2017	Manguera de línea de entrada de combustible.	1. Se realiza cambio de Manguera. 2. Con unidad Booster en servicio (sistema de combustible) se realiza prueba de hermeticidad.
13/03/2017	Turbocompresor A	1. Se realiza desmontaje de rotor y balineras lado turbina y lado compresor (Dañado). 2. Desmontaje de carcasa lado gases por observarse fisuras en lado agua de enfriamiento. 3. Se realiza montaje de rotor, balineras, carcasas y accesorios. 4. Encendido de motor con carga máxima para toma de vibraciones de turbocompresor.
05/05/2017	Sistema Inyección combustible.	1. Cambio de bomba inyectora por una nueva. 2. Venteo de las 18 Bombas inyectoras. 3. Pruebas de funcionamiento.
06/07/2017	Culata B4.	1. Cambio de oring de botador de culata B4. 2. Revisión y prueba de Funcionamiento.
29/08/2017	Bomba inyectora A4, A5.	1. Se realizaron cambios de bombas inyectoras A4, A5. 2. Se realizaron cambios de inyectores A4, A5. 3. Se realizó venteo en bombas nuevas A4 y A5. 4. Se realizó venteo en todos los cilindros. 5. Se realizó ajuste de cremalleras. 6. Pruebas de funcionamiento.
30/08/2017	Culata A4, A5.	1. Se realizaron cambios de culatas A4, A5. 2. Se realizó venteo en todos los cilindros. 3. Se realizó ajuste de cremalleras. 4. Pruebas de funcionamiento.
04/10/2017	Valvula principal de arranque y culata B4.	1. Cambio de Valvula principal de aire de arranque. 2. Cambio de culata B4. 3. Calibración de valvulas de admisión y escape de la culata B4. 4. Revisión y prueba de funcionamiento.
24/10/2017	Junta de expansión de salida de gases de carter.	1. Cambio de junta de expansión en tubería de múltiple de escape ubicado entre culata A5, A6. 2. Revisión y prueba de Funcionamiento.
26/10/2017	Transformador de autosincronismo.	1. Aislamiento de transformador de acople de autosincronismo. 2. Revisión y prueba de Funcionamiento.
30/10/2017	Bomba HT y culata A1.	1. Cambio de bomba principal de sistema HT. 2. Cambio de culata A1. 3. Revisión y prueba de funcionamiento.
23/11/2017	Manguera de recirculación de combustible de bomba A5.	1. Se realizó cambio de Manguera flexible metálica en línea de combustible. 2. Se corrigió fuga de aceite en varillas empujadoras en culata B4.
25/11/2017	Tubo de inyección de combustible de bombas A1, A5 y A7.	1. Se realizó cambio de tubos de inyección en las tres bombas. 2. Se realizó pruebas de funcionamiento

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Reporte de falla técnica. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Conteo de las fallas Unidad IV

No se tomó en cuenta los desperfectos “sistema de interconexión nacional”, ni el “circuito L3100” debido a que estos son totalmente independientes al motor, es decir estas dos deficiencias llegan a afectar a los generadores, pero no depende de ENEL planta Managua su reparación, y en esta monografía solamente se contara los defectos a los cuales ENEL tiene alcance.

Por tanto se contabilizaron las fallas para el año 2017 en la “Tabla 10” siendo los autores los encargados de asignar un nombre con respecto a la unificación de las fallas en un mismo concepto, tomando en cuenta la relación entre estas, y dividiéndolas en los sistemas mencionados anteriormente, para tener un orden y verlas de forma organizada, para luego determinar qué sistema es el mayor

influyente en la situación actual de la empresa. A continuación se muestra la clasificación y las fallas contadas, con su respectiva referencia a los anexos (en donde se muestra el código utilizado y su diseño), vale aclarar que se agregaron solamente los dibujos principales en donde se dieron las fallas.

- En el sistema eléctrico.
 - El transformador de auto sincronismo se dañó el día 26 de octubre, tomando acciones correspondientes a dicho transformador, esta falla es llamada “Transformador de auto sincronismo”.
- En el sistema para aceite combustible.
 - En el día 5 de Mayo hubo una deficiencia en el sistema inyección combustible siendo sustituida la bomba inyectora B7 por una nueva (**ver Anexo C, pg. xxi, parte 165 180**). Las bombas inyectoras A4, A5 tuvieron una falla el día 29 de Agosto (**ver Anexo C, pg. xxi, parte 165 180**), provocando su remplazo, asimismo el día 23 de Noviembre la manguera de recirculación de la bomba A5 (**ver Anexo C, pg. xxi**) tuvo problemas, a esto se le agrega que los tubos de inyección de combustible de las bombas inyectoras A1, A5 y A7 se dañaron el día 25 de Noviembre (**ver Anexo C, pg. xxi, parte 167 150**), siendo el mismo tipo de pieza donde se ocasionan las 7 fallas por tanto se denominó a este defecto “Bombas inyectoras”.
 - Las culatas tuvieron acciones de corrección el día 6 de julio en la culata B4, especialmente en el empujador de válvula (**ver Anexo C, pg. xiii, parte 145 010**), el día 30 de Agosto se reemplazaron las culatas A4 y A5 (**ver Anexo C, pg. xii, parte 120 075**), también el otro cambio fue el día 4 de Octubre a la culata B4 (**ver Anexo C, pg. xii, parte 120 075**), asimismo sucedió con la culata A1 el día 30 de Octubre (**ver Anexo C, pg. xii, parte 120 075**), sin embargo el día 23 de Noviembre al momento de dar solución al problema principal en una bomba de inyección se hicieron ajustes en la culata B4 (**ver Anexo C, pg. xiii, parte 145 001**), denotando que había una falla

que fue asistida en ese momento, dando un total de 6 fallas en lo que se denominó como “Culatas”.

- Los inyectores A4, A5, A8 fueron cambiados el día 29 de Agosto (**ver Anexo C, pg. xxi, parte 165 180**), sumando en total 3 fallos etiquetados como “Inyectores”.
- La Manguera de la línea entrada de combustible fue reemplazada el día 24 de Febrero (**ver Anexo C, pg. xviii**), dando como resultado solamente 1 falla en el sistema de mangueras de combustible, llamado por tanto “Manguera entrada de combustible”.
- En el sistema de aceite de lubricación.
 - No hubo ninguna falla registrada en este sistema, no obstante se dieron cambio de aceite lubricante planificado en los tiempos establecidos.
- En el sistema de aire comprimido.
 - La válvula principal de arranque, fue cambiada el día 4 de Octubre (**ver Anexo C, pg. xv**), debido a la necesidad, siendo esta falla denominada “Válvula principal de arranque”.
- En el sistema de agua enfriamiento.
 - La Bomba HT fue causa de una falla, ocasionando el remplazo de esta el día 30 de Octubre (**ver Anexo C, pg. xvi, parte 191 011**), tomando como nombre “Sistema de agua (Bomba HT y LT)”.
- En el sistema de aire de combustión y escape.
 - Se cambió la junta de expansión en la tubería de múltiple de escape ubicado entre culata A5 y A6, el día 24 de Octubre (**ver Anexo C, pg. xix, parte 200 137**). Esta falla es independiente a las culatas porque corresponde a las tuberías del sistema de escape, y se utilizó el nombre “Junta de expansión (salida gases del carter)”.
 - El día 13 de Marzo surgió un problema en Turbocompresor A (**ver Anexo C, pg. xvii**), provocando el desmontaje de este y cambio de partes necesarias, dando como resultado la etiqueta “Turbocompresor A”

Tabla 10. Organización de fallas (Unidad IV)

Sistema eléctrico	FR	Sistema para aceite combustible	FR	Sistema de aceite de lubricación	FR	Sistema de aire comprimido	FR	Sistema de agua enfriamiento	FR	Sistema de aire de combustión y escape	FR
Transformador de autosincronismo.	1	Bombas inyectoras	7	-	-	Válvula principal de arranque	1	Sistema de agua (Bomba HT y LT)	1	Junta de expansión (salida gases del carter).	1
		Culatas	6	-	-	-	-	-	-	Turbocompresor A	1
-	-	Inyectores	3	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	Manguera entrada de combustible	1	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Fuente: Elaboración propia

Una vez que se definieron las fallas y se lograron agrupar, se asigna al efecto el valor del 100%, el cual es la situación actual de la empresa definida en el CAPITULO II, que a su vez es la consecuencia de las fallas, a continuación se procede a determinar el porcentaje relativo de contribución de cada causa, a como se muestra en la “Tabla 11”, con un orden de mayor a menor, según el número de fallas registradas, si en caso que existan el mismo valor de frecuencia, se procederá a ordenar los desperfectos alfabéticamente. Además la tabla muestra el porcentaje acumulado, de tal forma que permitirá aplicar la Ley 80-20 del diagrama, que se resume en que el “20% de las causas originan el 80% del efecto, y el 80% de las causas restantes son responsables del 20% del resto del efecto” (Villanueva, 2007).

Tabla 11. Conteo general

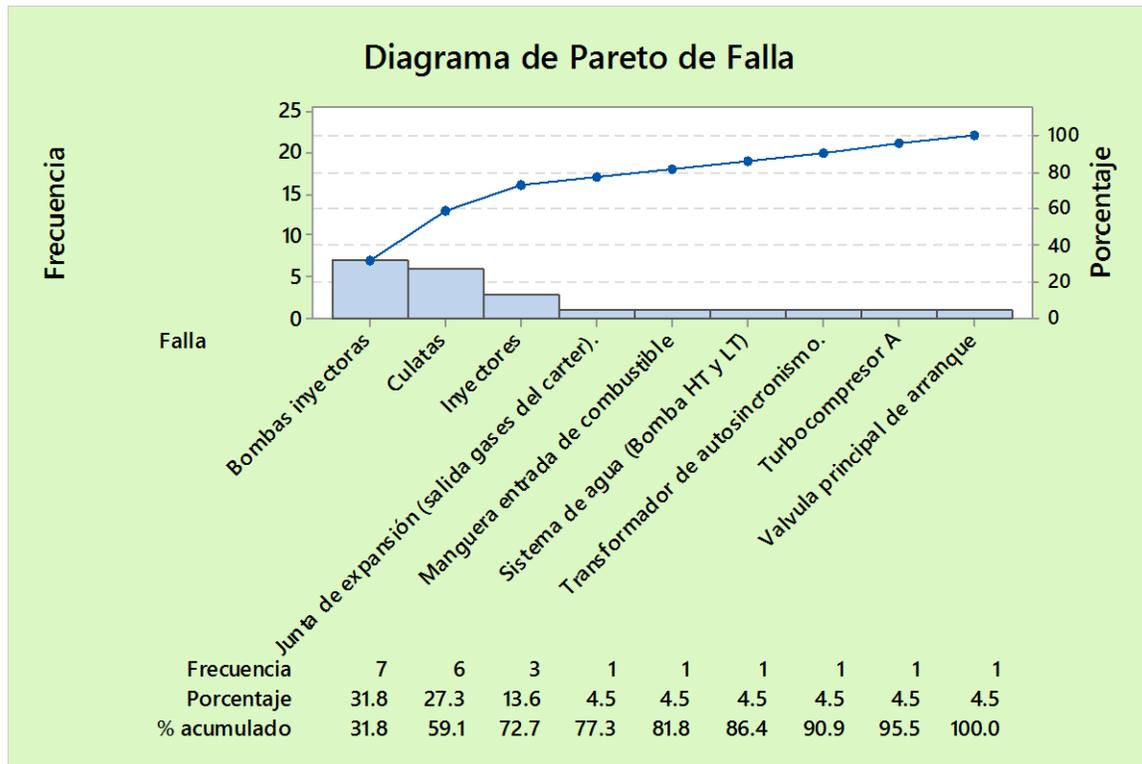
Causas que originaron la falla	Fallas Registradas	%	% acumulado
Bombas inyectoras	7	31.8%	32%
Culatas	6	27.3%	59%
Inyectores	3	13.6%	73%
Junta de expansión (salida gases del carter).	1	4.5%	77%
Manguera entrada de combustible	1	4.5%	82%
Sistema de agua (Bomba HT y LT)	1	4.5%	86%
Transformador de autosincronismo.	1	4.5%	91%
Turbocompresor A	1	4.5%	95%
Válvula principal de arranque	1	4.5%	100%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Análisis del Diagrama de Pareto Unidad IV

Lo recomendable para un análisis de las deficiencias de la máquina, utilizando la información precedente, es el Diagrama de Pareto (DP) por ser un “gráfico de barras que ayuda a identificar prioridades y causas, ya que se ordenan por orden de importancia a los diferentes problemas que se presentan” (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salaza, 2013). La Ley 80-20 del diagrama de Pareto fácilmente puede ser aplicado para fines prácticos, como en el caso de las fallas que se dan en la Unidad IV, apropiándose de la idea de priorizar cuales averías se deben de atender primeramente con base a la información obtenida, y esforzarse en resolver los desperfectos que generan un mayor impacto en la empresa, lo anterior se representa en la “Gráfica 1” donde el DP es el resultado de las tablas anteriores.

Gráfica 1. Diagrama de Pareto para Unidad IV



Fuente: Elaboración propia

En la “Gráfica 1” se aprecia que las fallas predominantes son las “Bombas inyectoras” con 31.8% y las “culatas” con 27.3%, juntas son las responsables del 59.1% de la situación actual de la empresa, le sigue en orden los “Inyectores” con 13.6%, y posterior continúan la “Manguera entrada de combustible”, “Junta de expansión (salida gases del carter)”, “Sistema de agua (Bomba HT y LT)”, “transformador de auto sincronismo”, “Turbocompresor A” y la “Válvula principal de arranque” con 4.5% cada una. La gráfica tiene una apariencia plana o hasta se logra ver un descenso lento en este caso “es conveniente ver el Pareto desde distintas perspectivas, siendo creativo y clasificando el problema o los datos de distintas maneras, hasta localizar un componente importante.” (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salaza, 2013)

Por lo dicho previamente, de la “Gráfica 1” se pueden dividir las fallas según la Ley 80-20 o ley de “Pocos vitales, muchos triviales” para tener una visión clara de cuales fallas son las más importantes y poder clasificarlas mejor, para con esto

dar una perspectiva distinta al DP, siendo los cuatro primeros desperfectos los vitales, pues ocasionan aproximadamente un 80% de la problemática de la empresa, esto se puede notar en la línea arriba de las barras que representa “la magnitud acumulada de los defectos hasta completar el total” (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salaza, 2013) por lo que se diagramará un Pareto de segundo nivel, para tener una mejor vista de los acontecimientos utilizando la información brindada en la “Tabla 7”, es decir, se diagramara un Pareto partiendo de lo más específico hasta llegar a lo general (conforme los elementos estén directamente vinculados así se etiquetará y contará). Para la elaboración de este nuevo DP se utilizará el mismo concepto empleado en la organización hecha anteriormente en cuanto a clasificación, con el ligero cambio que esta vez se enfocara en elementos que compartan la misma función o estén vinculadas (una depende directamente de otra), siendo la distribución un poco más general, es aquí donde se encuentra un punto o elemento más predominante a como se muestra en la “Tabla 12”, junto con su respectivo conteo y sus porcentajes correspondientes, así como también en la “Gráfica 2”.

Segundo conteo de las fallas Unidad IV

Se contabilizaron nuevamente las fallas en la Unidad IV para el año 2017, siendo los autores los encargados de asignar un nombre con respecto a la unificación de las fallas en un mismo concepto, tomando en cuenta la relación entre estas, a continuación se muestra la clasificación y las fallas contadas:

- Las fallas designadas como “Bombas inyectoras”, “Inyectores” y “Manguera entrada de combustible” son contempladas como una sola, en vista de que los inyectores están acopladas de forma directa a las bombas inyectoras. El tercer factor lleva el combustible por medio de conexiones a los componentes anteriores, siendo los 3 un conjunto cuya meta es la de alimentar de carburante el motor, así pues tomara el nombre de “Sistema de inyección de combustible y conexiones”.

- Las fallas “Culatas”, “Junta de expansión (Salida gases de carter)”, “Sistema de agua (Bomba HT y LT)”, “Transformador de auto sincronismo”, “Turbocompresor A”, y “Válvula principal de arranque” no sufren variaciones debido a que estas son de sistemas diferentes y como conjunto no se pueden definir tareas compartidas concretas.

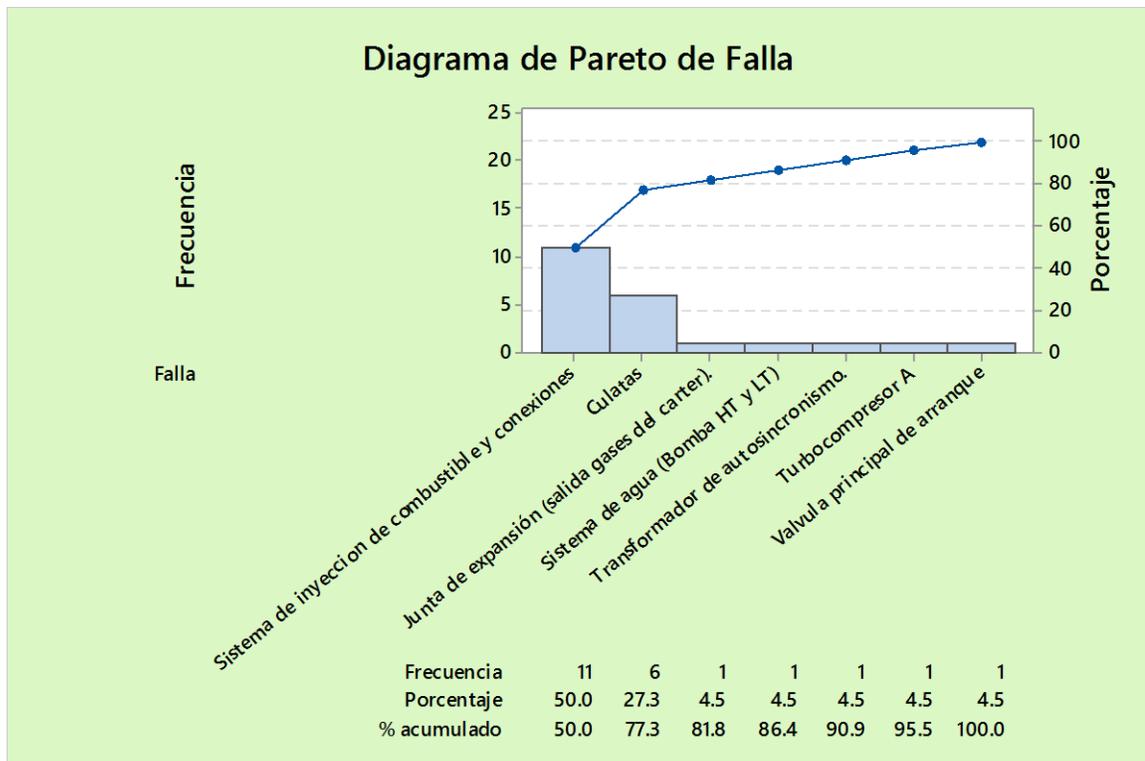
Tabla 12. Conteo de segundo nivel

Causas que originaron la falla	Fallas Registradas	%	% acumulado
Sistema de inyección de combustible y conexiones	11	50%	50%
Culatas	6	27%	77%
Junta de expansión (salida gases del carter).	1	5%	82%
Sistema de agua (Bomba HT y LT)	1	5%	86%
Turbocompresor A	1	5%	91%
Transformador de autosincronismo.	1	5%	95%
Válvula principal de arranque	1	5%	100%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Análisis del Diagrama de Pareto de segundo nivel

El DP anterior permite una nueva reformulación debido a su apariencia plana, es decir, hay muchas barras coincidentes en números de fallas, no existiendo una barra que resalte de las demás, por tanto, se utilizó un DP de segundo Nivel para no precipitarse a sacar conclusiones del primer Pareto sino que más bien, buscar las causas del problema que tienen un mayor impacto. En la “Gráfica 2” se aprecia mejor las barras más predominantes y no una gráfica con apariencia demasiada plana.



Gráfica 2. Diagrama de Pareto de segundo nivel (Unidad IV)

Fuente: Elaboración propia

Analizando el DP de la “Gráfica 2” podemos clasificar las fallas en la ley 80-20, teniendo como resultado:

Pocos vitales

1. Sistema de inyección de combustible y conexiones
2. Culatas

Muchos triviales

1. Junta de expansión (Salida gases de carter)
2. Sistema de agua (Bomba HT y LT)
3. Transformador de auto sincronismo
4. Turbocompresor A
5. Válvula principal de arranque

Fallas Unidad V

Para la realización del diagrama de Pareto se tuvo en cuenta la tabla siguiente, en donde se muestran las fallas ocurridas en el año 2017 de la unidad V. A continuación se agruparan las fallas, para conocer la frecuencia (FR) en que se repiten, y serán contabilizadas según en el sistema en que se encuentren, y si una falla se engrana con otra, es decir, poseen las mismas características entre sí o si bien varias fallas se dan en un mismo tipo de pieza, se unificarán como un mismo concepto, para ser contabilizadas posteriormente, de caso contrario se tomará de manera singular. En caso que una avería de pie a otra los autores reflexionaran si debe de contar como un caso singular o si debe agrupar en un grupo, también si al momento de las correcciones a cualquier anomalía se corrigen otras piezas, esto indicara la existencia de otra falla, la cual será también contada como cualquier otra.

La “Tabla 13” fue proporcionada por ENEL mostrando todos los desperfectos para el año 2017, presentando las fechas en que sucedieron, las causas que las ocasionaron, las acciones tomadas para corregir las fallas y el tiempo en horas que estuvo indisponible la maquina durante la falla, hasta su intervención. Por tanto se analizara para su posterior conteo, y realizar un diagrama de Pareto, con el fin de facilitar su análisis.

En la tabla, se puede denotar que algunas de las acciones adoptadas, incluyen revisar algunas otras piezas que afecta directa o indirectamente al artefacto dañado, la empresa lo hace con el objetivo de confirmar si todo funciona de manera correcta, por ejemplo: La línea de entrada de combustible se averió, sin embargo se realizó un venteo de las 18 bombas inyectoras de combustible, siendo incluso la manguera de combustible y las bombas inyectoras dos piezas que se deben de estudiar de forma independiente. De modo que el equipo monográfico conoce de forma superficial la relación entre las piezas, en donde se pretende analizar cada acción tomada, para conocer si surgió otra falla al momento de la corrección o si simplemente los procedimientos que se tomaron fueron meramente pasos protocolares.

Tabla 13. Reportes de fallas en Unidad V

Fecha	Causas que originaron la falla	Acciones tomadas para corregir la falla	Tiempo indisponible Hrs./min
09/01/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN.	5:20
09/01/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN.	0:13
16/01/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN.	0:11
21/02/2017	Línea de combustible.	Se realiza desmontaje y cambio de tubería con fisura, cambio de oring en caja de distribución.	3:26
23/02/2017	Bomba de agua del Sistema LT.	Se realiza desmontaje y montaje de bomba refraccionada del sistema LT.	6:10
24/02/2017	Selector de control de aumento y reducción de frecuencia.	Se realiza cambio de selector y con motor en servicio se realiza prueba de selector, ajustando frecuencia en generador.	1:01
27/02/2017	Turbocompresor A.	Se realiza desmontaje de carcasa fisurada y montaje de carcasa refraccionada de turbocompresor 5A, desmontaje y cambio de culata A9, realizándose limpieza en recámara de combustión, se realiza prueba de turbocompresor con motor en servicio y generador sincronizado con carga máxima.	52:54
19/04/2017	Sistema de agua HT.	Se realiza desmontaje de brida, se realiza montaje de brida nueva y se enciende motor para verificar hermeticidad del sistema.	1:42
23/04/2017	Sistema de interconexión nacional.	Falta de energía eléctrica por perturbación en el SIN	13:00
24/04/2017	Circuito L3100.	Disparo ocasionado por circuito interno de Albageneracion., se normaliza circuito.	0:40
26/04/2017	Circuito L3100.	Disparo ocasionado por circuito interno de Albageneracion.,se normaliza circuito nuevamente.	0:42
28/04/2017	Línea entrada combustible.	Cambio de Manguera y venteo de las 18 bombas inyectoras de combustible.	7:20
05/05/2017	Línea entrada combustible.	Cambio de Manguera y venteo de las 18 bombas inyectoras de combustible.	2:15
11/05/2017	Bomba Sistema LT.	Cambio de Bomba principal del sistema LT, revisión de Check de línea principal de sistema HT, desmontaje y montaje de bomba principal del sistema HT para revisión de sellos mecánicos, desmontaje y montaje de rotor de turbocompresor 5B para sustitución de cojinetes por altas vibraciones.	56:22
31/05/2017	Interruptor de Unidad.	Sustitución de interruptor por uno nuevo.	13:34
11/06/2017	Interruptor de Unidad	Reseteo de alarma de protección ,se revisó interruptor de unidad y se realizó pruebas en vacío y con carga.	17:00
16/06/2017	Culata A3.	Cambio de balancines y recalibración de válvulas.	2:53
19/06/2017	Culata A3.	Cambio de tope de válvula de varilla empujadora de Balancin, rectificación de segmento de arbol de leva de culata A3 y cambio de culata A3.	8:54
24/06/2017	Culata A4,A5,A6,A8,B4,B5,B6.	Cambio de culatas A4.A5.A6.A8.B4.B5.B6, revisión de carcasa lado A de turbina., encontrándose en buenas condiciones y cambio de aceite de turbo lado A.	61:58
12/07/2017	Válvula principal de aire de arranque.	Cambio de Válvula Principal de aire de arranque.	1:47
21/07/2017	Carter.	Se realizaron pruebas de hermeticidad en frío y en caliente., encontrándose bajas presiones en los cilindros A1,A4, A7,B1, B3, B5, B7, B8, B9, luego se realizó medición de camisa de pistones de los puntos antes mencionado, se reanilló los pistones A1, A4, A7, B1, B3, B5, B7, B8, B9 y se realizó programa de rodaje durante 06 horas.	77:35
20/10/2017	Tarjeta de control de RPM.	Cambio de tarjeta de control de revoluciones y de sensor de revoluciones.	5:58
26/10/2017	Transformador de autosincronismo.	Aislamiento de transformador de acople de autosincronismo.	15:39
14/11/2017	Carcasa lado turbina entrada de gases lado A, perforada internamente, salida de gases por tapas de área de enfriamiento del turbo	Cambio de carcasa lado turbina entrada de gases lado A, cambio de rodamientos ambos., lado turbina y lado compresor y cambio de sello lado turbina.	49:55
14/11/2017	Al realizar pruebas con carga de 5.2 MW se escuchan ruidos anormales en turbo 5A, a lo que se procede a realizar desmontaje.	Cambio de eje de turbo cargador a dos etapas, cambio de difusor de P11(HF09) a P21(HF12) para dos etapas, cambio de carcasa interna de VG15 a VG13 para dos etapas, cambio de sello de aire ambos lados turbina y lado compresor, cambio de conos lubricadores ambos lados turbina y compresor, cambio de boquillas de succión de aceite en ambos lados turbina y compresor, cambio de anillos lubricadores ambos lados turbina y compresor, cambio de rodamientos ambos lado turbina y lado compresor.	49:56

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Reportes de fallas 2017. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Reporte de fallas Unidad V

Las fallas tienen un factor causal, y es sustancial conocer el ¿Por qué sucedió? Ya que existe un mantenimiento preventivo, no obstante surgieron varios daños, por lo que saber la respuesta de esta pregunta permitirá generar un plan que permita prever que la falla generada se dé nuevamente por la misma razón, y como consecuencia se disminuye las fallas originadas en este equipo (Nunca se está exento completamente de que la maquina falle aún por la misma causa, si bien se puede disminuir hasta lo más mínimo la frecuencia que ocurran). ENEL planta Managua lleva un informe de las órdenes de trabajo realizadas, como así mismo un “Reporte de Falla técnica” para cada uno de los percances que hubieron de forma individual por lo que recopilado se presenta en la “Tabla 14”.

Resulta oportuno indicar que así como hubo un ¿Por qué? También existe un ¿Qué se hizo? Esto con el objetivo de profundizar en el tema de fallas, para entonces poder crear programas o planes que aseguren un mantenimiento más estricto permitiendo a la empresa disminuir sus horas de paro y aumentar la disponibilidad de la máquina.

Las actividades correctivas se basan en el grado de conformidad con que se atendió una tarea, es decir que a medida de cómo se haya realizado la reparación tendrá un impacto en el equipo, que puede ser positivo o negativo, si en algún dado caso en un periodo corto de tiempo se vuelve a estropear una parte rectificadora, entonces se debe escudriñar que procedimiento se hizo, para tomar medidas que eviten en lo más posible errores en el mantenimiento. Con referencia a lo anterior los pasos para corregir las fallas que se dieron en ENEL planta Managua se encuentra en la “Tabla 15”.

Tabla 14. Causa de las fallas en Unidad V

Fecha	Fallas	Motivo que origino la falla
21/02/2017	Línea de combustible.	Fuga de combustible en línea de entrada a motor (caja de distribución)
23/02/2017	Bomba de agua del Sistema LT.	Fuga de agua por sello mecánico en bomba principal de sistema LT
24/02/2017	Selector de control de aumento y reducción de frecuencia.	Se observa que una vez sincronizado el generador, no hay incremento de potencia activa
27/02/2017	Turbocompresor A.	Durante el encendido del motor se detecta caída de agua en línea de drenaje de turbocompresor 5A, apareciendo bajo nivel del sistema HT, personal de mantenimiento mecánico procede a realizar inspección detectándose fisuras en carcasa salida de gases
27/02/2017	Culata A9	Se detecta agua en válvula de venteo de culata A9
19/04/2017	Sistema de agua HT.	Durante el encendido del motor se observó fuga en la entrada del sistema de agua de enfriamiento de alta precisión en la brida de sujeción entre tubería y la bomba del sistema HT
28/04/2017	Línea entrada combustible.	Fuga de Manguera de entrada de combustible al motor de la Unidad
05/05/2017	Línea entrada combustible.	Fuga de Manguera de entrada de combustible al motor de la Unidad
11/05/2017	Bomba Sistema LT.	Diparo de la unidad # 5 por baja presión de agua del sistema LT
11/05/2017	Turbocompresor B.	Corregida la baja presión en el sistema LT, se procedió a realizar pruebas detectándose vibraciones y altas revoluciones en turbocompresor 5B
31/05/2017	Interruptor de Unidad.	Durante el proceso de sincronización no se pudo completar
11/06/2017	Interruptor de Unidad	Durante el proceso de sincronización no se pudo completar, apareciendo sobrevoltaje en rele de protección del generador
16/06/2017	Culata A3.	Ruidos anormales en culata A3
19/06/2017	Culata A3.	Revisión de topes de válvulas de varillas empujadoras de Balancines de culata A3
24/06/2017	Culata A4,A5,A6,A8,B4,B5,B6.	Oring de casquillos de válvulas de escape de culatas A4,A5,A6,A8,B4,B5,B6. cristalizados
24/06/2017	Turbocompresor A	Presencia de agua en salida del drenaje de lavado de turbo lado A
12/07/2017	Válvula principal de aire de arranque.	Oring de sello en obturador de la válvula principal de arranque, presentó desgaste y suciedad acumulada internamente
21/07/2017	Carter.	Alta presión de gases en el carter
20/10/2017	Tarjeta de control de RPM.	1. Revoluciones inestables en el motor de 600 a 720 RPM 2. Fallas de excitación del generador
26/10/2017	Transformador de autosincronismo.	Transformador de acople de autosincronismo en mal estado
14/11/2017	Carcasa lado turbina entrada de gases lado A, perforada internamente, salida de gases por tapas de área de enfriamiento del turbo	Carcasa lado turbina entrada de gases lado A, perforada internamente, salida de gases por tapas de área de enfriamiento del turbo (Falla en tapa de enfriamiento del turbo por salida de gases)
14/11/2017	Al realizar pruebas con carga de 5.2 MW se escuchan ruidos anormales en turbo 5A, a lo que se procede a realizar desmontaje.	Al realizar pruebas con carga de 5.2 MW se escuchan ruidos anormales en turbo 5A, a lo que se procede a realizar desmontaje. (Desviación de eje, por tanto se realizó cambio por uno de 2 etapas, junto con sus elementos necesarios)

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Reporte de falla técnica. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Tabla 15. Acciones correctivas tomadas en ENEL según su falla en Unidad V

Fecha	Fallas	Acciones correctivas
21/02/2017	Línea de combustible.	1. Se realiza desmontaje y cambio de tubería con fisura. 2. Se cambiaron orines en caja de distribución. 3. Pruebas de hermeticidad sistema de combustible.
23/02/2017	Bomba de agua del Sistema LT.	1. Se realiza desmontaje y montaje de bomba (refraccionada) del sistema LT. 2. Prueba de hermeticidad en sistema LT con motor en servicio.
24/02/2017	Selector de control de aumento y reducción de frecuencia.	1. Se realiza cambio de selector. 2. Con motor en servicio se realiza prueba de selector, ajustando frecuencia en generador.
27/02/2017	Turbocompresor A.	1. Se realiza desmontaje carcasa fisurada y montaje de carcasa refraccionada de turbocompresor 5A. 2. Desmontaje y cambio de culata A9, realizándose limpieza en recámara de combustión. 3. Se realiza prueba de turbocompresor con motor en servicio y generador sincronizado con carga máxima
19/04/2017	Sistema de agua HT.	1. Se realiza desmontaje de brida. 2. Se realiza montaje de brida nueva 3. Encendido de motor para verificar hermeticidad del sistema
28/04/2017	Línea entrada combustible.	1. Cambio de Manguera. 2. Venteo de las 18 Bombas inyectoras. 3. Pruebas de funcionamiento.
05/05/2017	Línea entrada combustible.	1. Cambio de Manguera. 2. Venteo de las 18 Bombas inyectoras. 3. Pruebas de funcionamiento.
11/05/2017	Bomba Sistema LT.	1. Cambio de Bomba principal del sistema LT. 2. Revisión de Check de Línea principal del sistema HT. 3. Desmontaje y montaje de bomba principal del sistema HT para revisión de sellos mecánicos. 4. Desmontaje y montaje de rotor de turbocompresor 5B para sustitución de cojinetes por altas vibraciones.
31/05/2017	Interruptor de Unidad.	1. Sustitución de interruptor por uno nuevo. 2. Se realiza prueba, sincronizando la unidad
11/06/2017	Interruptor de Unidad	1. Reseteo de alarma de protección. 2. Se revisó interruptor de unidad. 3. Se realizaron pruebas en vacío y con carga.
16/06/2017	Culata A3.	1. Cambio de balancines. 2. Recalibración de válvulas.
19/06/2017	Culata A3.	1. Cambio de tope de válvula de varilla empujadora de Balancín. 2. Rectificación de segmento de árbol de leva de culata A3. 3. Cambio de culata A3.
24/06/2017	Culata A4, A5, A6, A8, B4, B5, B6.	1. Cambio de culatas A4, A5, A6, A8, B4, B5, B6. 2. Revisión de carcasa lado A de turbina, encontrándose en buenas condiciones. 3. Cambio de aceite de turbo lado A.
12/07/2017	Válvula principal de aire de arranque.	1. Cambio de Válvula principal de aire de arranque. 2. Revisión y prueba de funcionamiento.
21/07/2017	Carter.	1. Se realizaron pruebas de hermeticidad en frío y en caliente, encontrándose bajas presiones en los cilindros A1, A4, A7, B1, B3, B5, B7, B8, B9. 2. Medición de camisa de pistones de los puntos antes mencionado. 3. Reanillado de pistones A1, A4, A7, B1, B5, B7, B8, B9. 4. Se realiza programa de rodaje durante 6 horas.
20/10/2017	Tarjeta de control de RPM.	1. Cambio de tarjeta de control de revoluciones. 2. Cambio de sensor de revoluciones. 3. Revisión y prueba de funcionamiento.
26/10/2017	Transformador de autosincronismo.	1. Aislamiento de transformador de acople de autosincronismo. 2. Revisión y prueba de Funcionamiento.
14/11/2017	Carcasa lado turbina entrada de gases lado A, perforada internamente, salida de gases por tapas de área de enfriamiento del turbo	1. Cambio de carcasa lado turbina entrada de gases lado A. 2. Cambio de rodamientos ambos lado turbina y lado compresor. 3. Cambio de sello lado turbina.
14/11/2017	Al realizar pruebas con carga de 5.2 MW se escuchan ruidos anormales en turbo 5A, a lo que se procede a realizar desmontaje.	1. Cambio de eje de turbo cargador a dos etapas. 2. Cambio de difusor de P11 (HF09) a P21 (HF12) para dos etapas. 3. Cambio de carcasa interna de VG15 a VG13 para dos etapas. 4. Cambio de sello de aire ambos lados turbina y lado compresor. 5. Cambio de conos lubricadores ambos lados turbina y compresor. 6. Cambio de boquillas de succión de aceite en ambos lados turbina y compresor. 7. Cambio de anillos lubricadores ambos lados turbina y compresor. 8. Cambio de rodamientos ambos lado turbina y lado compresor. 9. Pruebas de funcionamiento.

Nota. Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Reporte de falla técnica. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).

Conteo de las fallas Unidad V

No se tomó en cuenta los desperfectos “sistema de interconexión nacional”, ni el “circuito L3100” debido a que estos son totalmente independientes al motor, es decir estas dos deficiencias llegan a afectar a los generadores, pero no depende de ENEL planta Managua su reparación, y en esta monografía solamente se contara los defectos a los cuales ENEL tiene alcance.

Por tanto se contabilizaron las fallas para el año 2017 en la “Tabla 16”, siendo los autores los encargados de asignar un nombre con respecto a la unificación de las fallas en un mismo concepto, tomando en cuenta la relación entre estas, y dividiéndolas en los sistemas mencionados anteriormente, para tener un orden y verlas de forma organizada, para luego determinar qué sistema es el mayor influyente en la situación actual de la empresa. A continuación se muestra la clasificación y las fallas contadas, con su respectiva referencia a los anexos (en donde se muestra el código utilizado y su diseño), vale aclarar que se agregaron solamente los dibujos principales en donde se dieron las fallas.

- En el sistema eléctrico.
 - El selector de control de aumento y reducción de frecuencia, fue cambiada el 24 de febrero con el Unidad 5 en servicio, siendo esta falla denominada como “Selector (control aumento-reductor de frecuencia)”.
 - Se produjo un defecto en el interruptor de Unidad sustituyéndolo el día 30 de Mayo, al pasar los días se procedió a un reseteo de las alarmas del interruptor de Unidad el día 18 de Junio, de modo que se contaron 2 veces la falla con nombre “Interruptor de Unidad”.
 - La tarjeta de control de RPM, sufrió un desperfecto el día 20 de octubre, cambiando la tarjeta de control con su respectivo sensor, denominándose como “Tarjeta de control de RPM”.
 - El transformador de auto sincronismo se dañó el día 26 de octubre, tomando acciones correspondientes a dicho transformador, esta falla es llamada “transformador de auto sincronismo”.

- En el sistema para aceite combustible.
 - El día 21 de Febrero se intercambia una tubería con fisura en la línea de Combustible (**ver Anexo C, pg. xviii**), posterior a esto el día 28 de Abril se cambia la manguera de entrada (**ver Anexo C, pg. xviii**), esto mismo sucedió el día 5 de Mayo, contabilizando 2 fallas de este tipo, siendo nombrada como “Línea de combustible”.
 - La culata A9 tuvo desperfectos el día 27 de Febrero (**ver Anexo C, pg. xii, parte 120 075**). Asimismo la culata A3 tuvo acciones de corrección el día 16 de Junio con un cambio de balancín (**ver Anexo C, pg. xii, parte 143 035**), igualmente el día 19 de Junio se hicieron distintas correcciones (**ver Anexo C, pg. xiii, parte 145 001**), se dieron cambios de las culatas A4, A5, A6, A8, B4, B5, B6 de forma simultánea el día 24 de Junio (**ver Anexo C, pg. xii**). dando un total de 10 fallas en lo que se denominó como “culatas”.
- En el sistema de aceite de lubricación.
 - Se tomaron acciones para corregir el carter el día 21 de Julio, etiquetando esta falla como “Carter” (**ver Anexo C, pg. xiv**).
- En el sistema de aire comprimido.
 - La válvula principal de arranque, fue cambiada el día 12 de Julio, esta falla es denominada como “Válvula principal de arranque” (**ver Anexo C, pg. xv**).
- En el sistema de agua enfriamiento.
 - La Bomba de agua del sistema LT fue causa de una falla, ocasionando el desmontaje y montaje de la bomba el día 23 de Febrero (**ver Anexo C, pg. xvi, parte 191 011**), en el sistema HT se reemplaza una brida el día 19 de Abril (**ver Anexo C, pg. xvi**), sin embargo el día 11 de Mayo se cambió la bomba principal de este sistema (**ver Anexo C, pg. xvi**), obteniendo la suma de 3 fallas, asignándole estas el nombre de “Sistema de agua (Bomba HT y LT)”.
- En el sistema de aire de combustión y escape.

- El día 27 de Febrero se realiza reparación de una fisura en carcasa del turbocompresor 5A (**ver Anexo C, pg. xvii, parte 06.0**). Mientras que el día 11 de Mayo se encuentra altas vibraciones en el turbocompresor 5B, por lo que se realiza el intercambio de los cojinetes de esta (**ver Anexo C, pg. xvii**). En cambio el día 24 de Junio se notó la presencia de agua, aunque se encontró en buenas condiciones se procedió a una acción de mantenimiento, el cambio de aceite, siendo un motivo para su conteo (**ver Anexo C, pg. xvii**). Posterior se cambia carcasa en la parte turbina por la salida de gases en lado A el día 14 de Noviembre (**ver Anexo C, pg. xvii, parte 06.0**), también ese mismo día, después de la corrección anterior se realizan pruebas con carga de 5.2 MW y se escuchan ruidos anormales en turbo 5A (**ver Anexo C, pg. xvii, parte 02.0**), dando como resultado 5 fallas tomando como nombre “Turbocompresor A y B”.

En este caso no se encontraron fallas en otras piezas diferentes al artefacto principal en las “acciones tomadas para corregir la falla”, ya que no se muestra ningún indicio de que alguna pieza fuese reparada al momento de brindar mantenimiento al problema primordial, sin embargo se dieron cambios de algunos dispositivos pero no en calidad de mantenimiento correctivo sino como parte del proceso de reparación de la falla fundamental.

Tabla 16. Organización de las fallas (Unidad V)

Sistema eléctrico	FR	Sistema para aceite combustible	FR	Sistema de aceite de lubricación	FR	Sistema de aire comprimido	FR	Sistema de agua enfriamiento	FR	Sistema de aire de combustión y escape	FR
Interruptor de Unidad.	2	Culatas	10	Carter.	1	Válvula principal de arranque	1	Sistema de agua (Bomba HT y LT)	3	Turbocompresor A y B.	5
Selector (control aumento-reductor de frecuencia).	1	Línea de combustible	3	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarjeta de control de RPM.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transformador de autosincronismo.	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Nota. Fuente: Elaboración propia

Una vez que se definieron las fallas y se lograron agrupar, se asigna al efecto el valor del 100%, el cual es la situación actual de la empresa definida en el CAPITULO II, que a su vez es la consecuencia de las fallas, se procede a determinar el porcentaje relativo de contribución de cada causa, a como se muestra en la “Tabla 17”, con un orden de mayor a menor, según el número de fallas registradas, si en caso que existan el mismo valor de frecuencia, se procederá a ordenar los desperfectos alfabéticamente. Además la tabla muestra el porcentaje acumulado, de tal forma que permitirá aplicar la Ley 80-20 del diagrama, que se resume en que el “20% de las causas originan el 80% del efecto, y el 80% de las causas restantes son responsables del 20% del resto del efecto” (Villanueva, 2007).

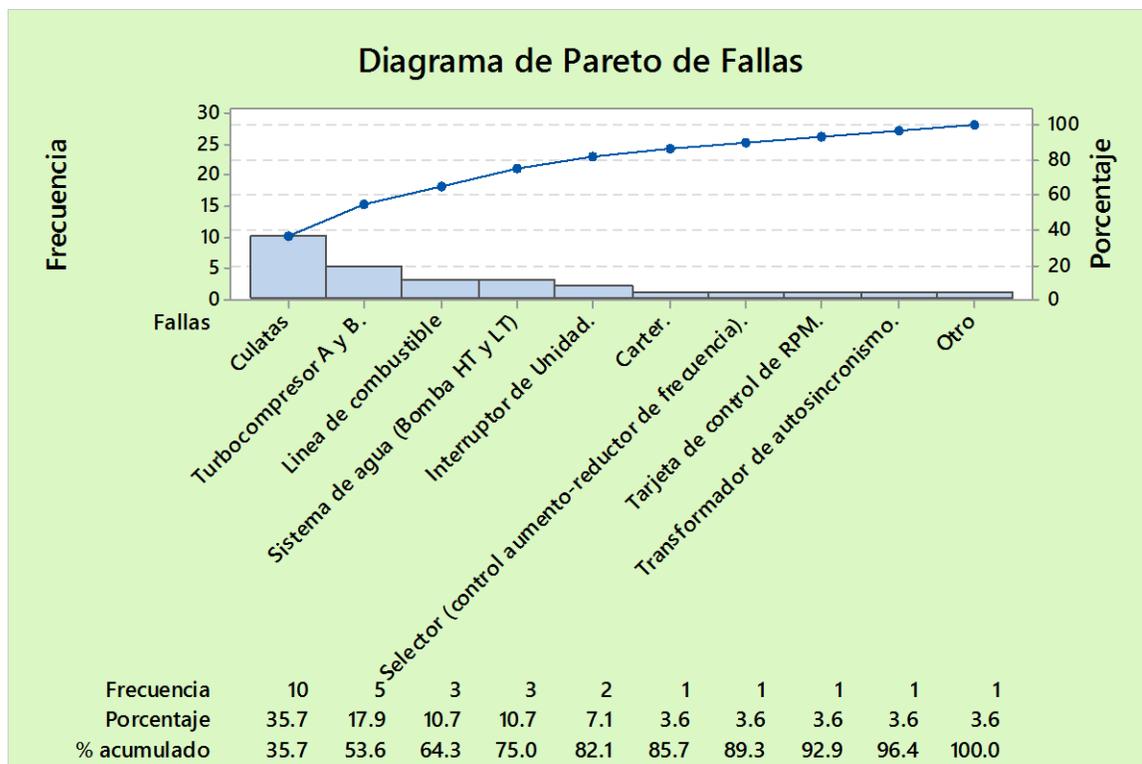
Tabla 17. Conteo general

Causas que originaron la falla	Fallas Registradas	%	% acumulado
Culatas	10	35.7%	36%
Turbocompresor A y B.	5	17.9%	54%
Línea de combustible	3	10.7%	64%
Sistema de agua (Bomba HT y LT)	3	10.7%	75%
Interruptor de Unidad.	2	7.1%	82%
Carter.	1	3.6%	86%
Selector (control aumento-reductor de frecuencia).	1	3.6%	89%
Tarjeta de control de RPM.	1	3.6%	93%
Transformador de autosincronismo.	1	3.6%	96%
Válvula principal de arranque	1	3.6%	100%

Nota. Fuente: Elaboración propia

Análisis del Diagrama de Pareto Unidad V

Lo recomendable para un análisis de las deficiencias de la máquina, utilizando la información precedente, es el Diagrama de Pareto (DP) por ser un “gráfico de barras que ayuda a identificar prioridades y causas, ya que se ordenan por orden de importancia a los diferentes problemas que se presentan” (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salaza, 2013). La Ley 80-20 del diagrama de Pareto fácilmente puede ser aplicado para fines prácticos, como en el caso de las fallas que se dan en la Unidad V, apropiándose de la idea de priorizar cuales averías se deben de atender primeramente con base a la información obtenida, y esforzarse en resolver los desperfectos que generan un mayor impacto en la empresa, lo anterior se representa en la “Gráfica 3 **Error! Reference source not found.**” donde el DP es el resultado de las tablas anteriores.



Gráfica 3. Diagrama de Pareto para Unidad V

Fuente: Elaboración propia

En la “Gráfica 3” se aprecia que las fallas predominantes son las “Culatas” y son estos responsables del 35.7% de la situación actual de la empresa, le sigue el

“Turbocompresor A y B” con 17.9% de afectación, luego continua con “Línea de combustible” y el “Sistema de agua (Bomba HT y LT)”, con 10.7% cada uno y luego continua el “Interruptor de Unidad”, con 7.1% de responsabilidad, subsiguiente están la deficiencias de “Carter”, “Selector (Control aumento-reductor de frecuencia)”, “Tarjeta de control de RPM”, “Transformador de auto sincronismo”, “Otro” con 3.6% de incidencia en la empresa. En la gráfica, los autores optaron por etiquetar como “otro”, toda falla que afecte al problema después de 95% de porcentaje acumulado, es decir, que se tomara como “otro” a toda falla que tenga una incidencia mínima y que acumulada con las otras fallas represente un porcentaje mayor a 95%, esto con el fin de facilitar la comprensión de este juntando todas las fallas en una sola etiqueta.

Se puede notar que la gráfica tiene un descenso lento, sin embargo hay una barra que resalta más que las demás, la de las “Culatas”, esto denota que hay una causa más dañina que las demás y es por tal razón que se debe priorizar esta falla, porque afecta en su gran mayoría a la situación actual de la empresa, junto a las 3 siguientes fallas pero con menor porcentaje, que ocasionan aproximadamente un 80% de la problemática de la empresa, esto se puede notar en la línea arriba de las barras que representa “la magnitud acumulada de los defectos hasta completar el total” (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salaza, 2013). Por lo dicho previamente, en la “Gráfica 3” se puede dividir las fallas según la Ley 80-20 o ley de “Pocos vitales, muchos triviales” para tener una visión clara de cuales fallas son las más importantes, teniendo como resultado:

Pocos vitales

1. Culatas.
2. Turbocompresor A y B.
3. Línea de combustible.
4. Sistema de agua (Bomba HT y LT).

Muchos triviales

1. Interruptor de unidad.



2. Carter.
3. Selector (control aumento-reductor de frecuencia).
4. Tarjeta de control de RPM.
5. Transformador de auto sincronismo.
6. Válvula principal de arranque.



Capítulo VII: Plan de mejora del sistema de mantenimiento para las Unidades IV y V

Introducción

Las empresas en general deben tener en cuenta que el mantenimiento preventivo no son actividades que se hacen de rutina diaria, sino un compromiso que consiste en velar por el bien de los equipos mediante inspección responsable, donde se verifican todos los componentes de acuerdo a los procedimientos, también corresponde trabajos con el fin de mantener la máquina en sus especificaciones correspondientes, tal como cita Enrique Dounce Villanueva (2007)

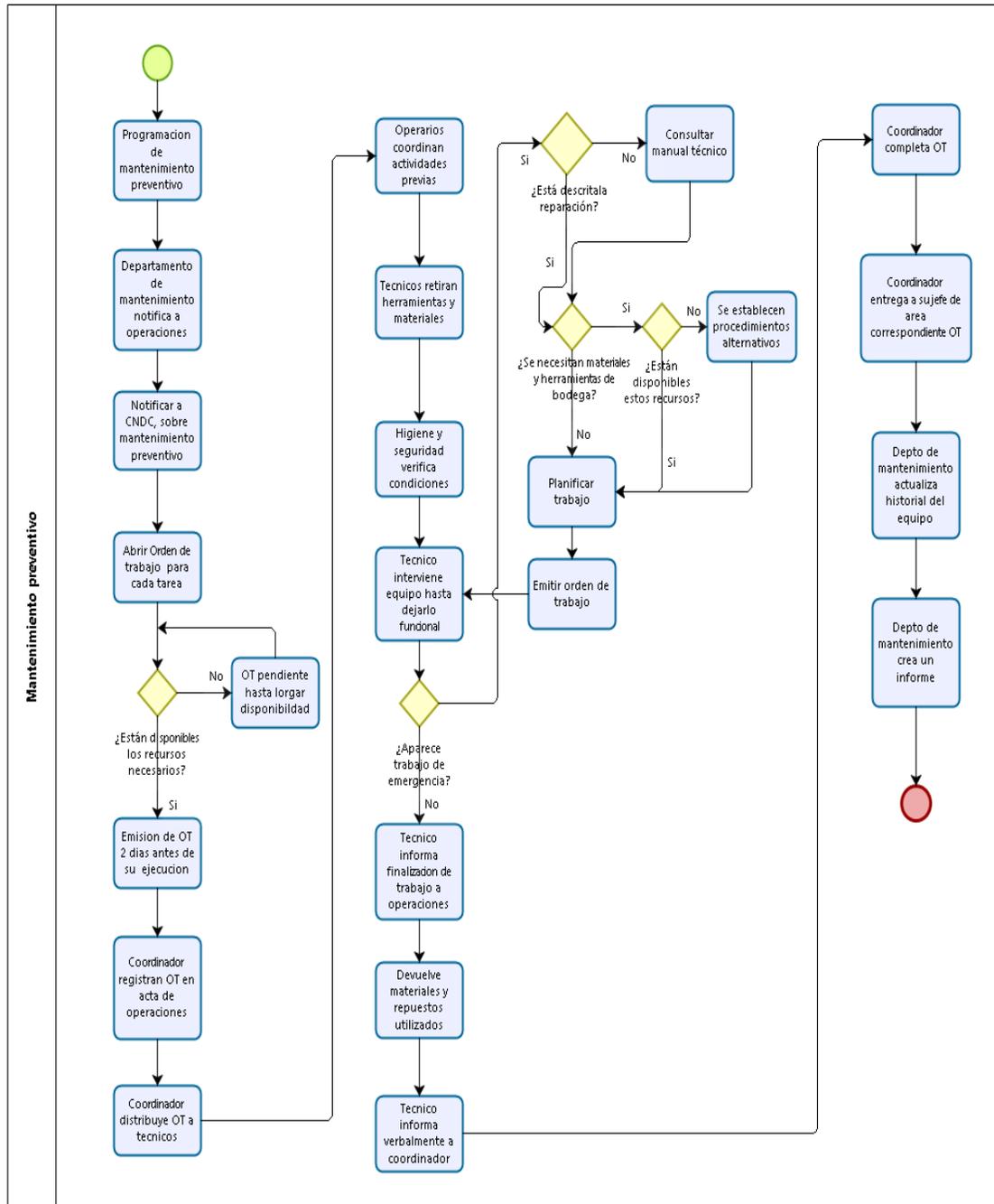
Todo trabajo de conservación preventiva debe estar apoyado en dos actividades básicas: en primer lugar, la inspección periódica de su comportamiento para corroborar el estado actual del recurso y tratar de predecir su comportamiento futuro; y en segundo lugar, en la restauración programada basada precisamente en los análisis de la inspección antes mencionada

Basándose en lo antes mencionado cualquier tipo de maquinaria incrementaría su disponibilidad, y en cuanto a la cantidad de fallas inesperadas que generan retrasos y/o paros en la productividad serían minimizadas, pudiendo así la empresa estar siempre disponible cuando el CNDC lo requiera.

La busca de mejorar el sistema de mantenimiento, y la realización de lo anterior, comienza con el perfeccionamiento en los procedimientos del mantenimiento, por esta razón se proponen diagramas de flujos como plan de mejora, los cuales serán base para los planes de acción, debido a que las tareas sugeridas presentes en estos, son las adecuadas para proceder ante cualquiera de las dos eventualidades de mantenimiento (correctivo y preventivo).

Proceso para el mantenimiento preventivo

Es necesaria la creación de un nuevo modelo de pasos para la realización del mantenimiento preventivo, para que cada área en la empresa tenga estipulada de forma más organizada los pasos correctos que debe hacer, y utilicen un esquema estándar que deben de respetar cumpliendo una tarea a la vez. Para la creación del diagrama de flujo mostrado se tomó referencia de (Prando, 1996).



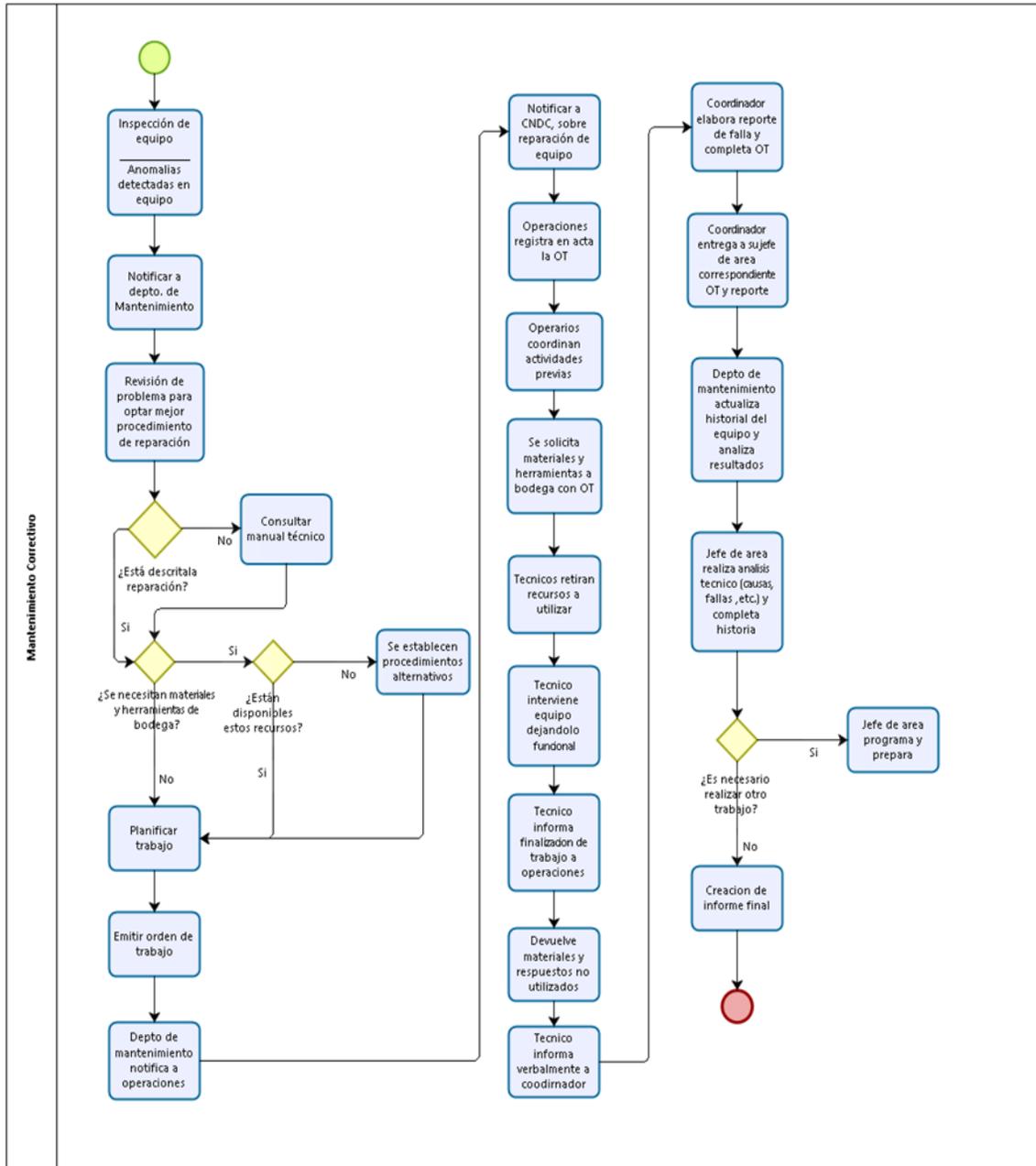
Propuesta de diagrama de flujo en mantenimiento preventivo

Fuente: Elaboración propia

Proceso para el mantenimiento correctivo

Es necesaria la creación de un nuevo modelo de pasos para la realización del mantenimiento correctivo, con el propósito de que cada actor involucrado conozca

sus tareas al momento de una eventualidad, y luego estos puedan guiarse de un esquema estándar que deberán de respetar, para evitar inconvenientes posteriores. Para la creación del diagrama de flujo mostrado se tomó referencia de (Prando, 1996).

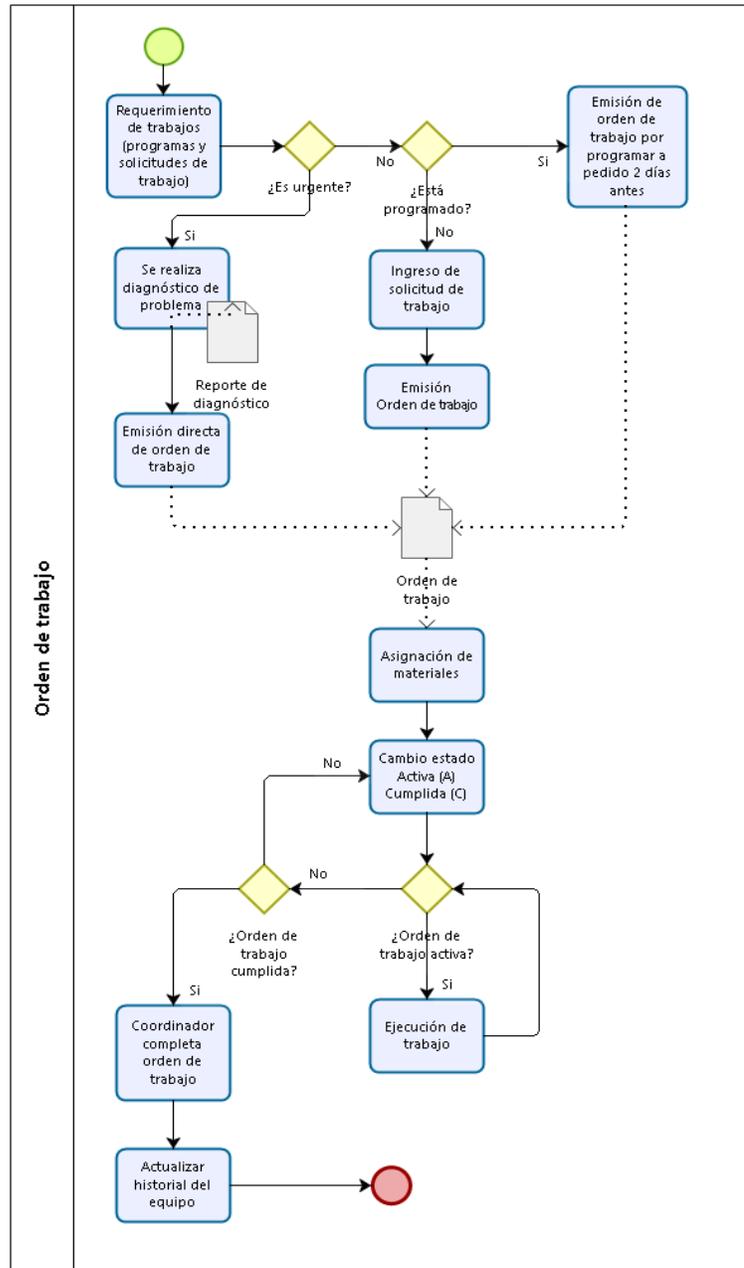


Propuesta de diagrama de flujo en mantenimiento correctivo

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento de información de la orden de trabajo

El propósito de un diagrama de flujo para el procesamiento de información de la orden de trabajo como el que se muestra en seguida, es la de guiar a los jefes de áreas y los coordinadores que camino deben tomar la orden de trabajo según la necesidad que se presente en el departamento de Mantenimiento.



Propuesta de diagrama de flujo para la orden de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Planes de acción para Unidad IV

Por lo planteado anteriormente en el análisis de falla (Capítulo VI), cada causa vital, es abordada de manera específica dando como resultado en planes concretos para el actuar rápido de cualquiera de estas contingencias. De la misma manera se recurrió al organigrama de la empresa para tener una idea de la jerarquía que maneja ENEL planta Managua y saber qué responsabilidad se debe de otorgar a cada quien.

Es necesario aclarar que los procedimientos que involucran el cambio de una pieza siempre son los mismos debido a que no se pueden tomar atajos, ya que son elementos que deben ser desmontados y armados nuevamente según como lo presenta el manual, al igual que se revela las herramientas adecuadas para el trabajo. Sin embargo la supervisión de la secuencia en los pasos tomados es factor clave en el éxito del mantenimiento.

Los recursos que se utilizaran en los planes de contingencia serán los mismos que tiene a disposición actualmente la empresa (mano de obra, repuestos y herramientas), ya que lo mostrado a continuación es simplemente la organización de pasos secuenciales que documente por escrito lo necesario a hacer en cualquiera de las fallas mostradas.

Sistema de inyección de combustible y conexiones

Nombre del plan
Atención al sistema de inyección de combustible y conexiones
Recursos humanos que integran el plan
Responsable: Jefe de área mecánica; Coordinador: Coordinadores de área mecánica; Técnicos: Técnicos bajo el cargo de ambos coordinadores
Análisis de la situación
El sistema de inyección y sus conexiones constituyen según en el análisis de fallas las bombas inyectoras con sus inyectores y la manguera de entrada de combustible al motor. La fuga de combustible es la causa más producida en los tres elementos, ya sea por rotura de una manguera en bomba inyectora, o por

<p>una manguera inservible en la conexión a la entrada del motor, este es el foco de atención. Posterior las altas temperaturas encontrada en los gases de escape, es la segunda razón por la que se procedió a un mantenimiento correctivo.</p>
<p>Objetivo inmediato</p>
<p>Rehabilitar cualquier elemento del sistema dañado, y agilizar el proceso una vez que se haya dado el daño.</p>
<p>Procedimiento general de acción</p>
<p>Para la manguera de entrada de combustible</p>
<p>1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.</p>
<p>2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordinador debe supervisar el diagnóstico al igual que la intervención.</p>
<p>3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.</p>
<p>4. Los técnicos desmontan la manguera de combustible según procedimiento del manual. Luego realizan el cambio de manguera siguiendo los procesos establecidos, y de ser posible cambiar la entrada de la conexión (o-ring, empaques, etc.) para mejorar la hermeticidad de las conexiones</p>
<p>5. En caso de no tener el repuesto de la manguera, buscar un repuesto que pueda asegurar la restauración del equipo, esto mientras se espera al repuesto original, para luego planificar y programar el mantenimiento preventivo.</p>
<p>6. Se procede a realizar venteo en las 18 bombas inyectoras como procedimiento de verificación. Al igual siempre se corrobora el funcionamiento del elemento con el encendido del motor.</p>

<p>7. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.</p>
<p style="text-align: center;">Para la bomba inyectora e inyectores.</p>
<p>1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.</p>
<p>2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordinador debe supervisar el diagnóstico al igual que la intervención.</p>
<p>3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.</p>
<p>4. Los técnicos desmontan bombas inyectoras donde se produzca la alta temperatura según procedimiento del manual, igual en el caso de que se produzca una fuga. Se cambia la bomba inyectora, junto con los inyectores por unas refaccionadas, también se hace el cambio del tubo de inyección, siguiendo los procesos establecidos.</p>
<p>5. Se repara la bomba inyectora e inyectores desmontados en el área mecánica para posterior ser usados en cualquier emergencia.</p>
<p>6. Se procede a realizar ajuste de cremalleras como procedimiento de verificación. Al igual siempre se corrobora el funcionamiento del elemento con el encendido del motor.</p>
<p>7. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.</p>

Culatas

Nombre del plan
Atención a la culata
Recursos humanos que integran el plan
Responsable: Jefe de área mecánica; Coordinador: Coordinadores de área mecánica; Técnicos: Técnicos bajo el cargo de ambos coordinadores
Análisis de la situación
La culata es un elemento que constantemente es sustituido, por sufrir distintos tipos de fallas, siendo observadas las fallas de presencia de agua en un cilindro del motor, mostrar altas temperaturas, igualmente fuga de aceite en varillas empujadoras y por último la presencia de compresión irregular. Por tanto la culata tiene distintos causales que puede afectar su funcionamiento, por eso depende de un extremo cuidado.
Objetivo inmediato
Reestablecer la unidad lo más rápido cuando se dé un desperfecto en la culata, y evitar que la culata sufra deformaciones o sufra un daño permanente.
Procedimiento general de acción
1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.
2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordinador debe supervisar el diagnóstico al igual que la intervención.
3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.
4. Los técnicos desmontan la culata según procedimiento del manual, en cambio si es necesario cambiar la varilla empujadora se hace sin desmontar la culata. Luego realizan el cambio de las mismas siguiendo los procesos establecidos. Asimismo reemplazar elementos que en el

diagnostico hayan mostrado desgaste, para de este modo asegurar la vida útil del mismo.
5. Se repara la culata y demás elementos que puedan ser restaurados, que fueron desmontados, en el área mecánica para posteriormente ser usados en cualquier emergencia.
6. Se procede a realizar venteo en las 18 bombas inyectoras como procedimiento de verificación. Al igual siempre se corrobora el funcionamiento del elemento con el encendido del motor.
7. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.

Planes de acción para Unidad V

Por lo planteado anteriormente en el análisis de falla (Capítulo VI), cada causa vital, es abordada de manera específica dando como resultado en planes concretos para el actuar rápido de cualquiera de estas contingencias. De la misma manera se recurrió al organigrama de la empresa para tener una idea de la jerarquía que maneja ENEL planta Managua y saber qué responsabilidad se debe de otorgar a cada quien.

Es necesario aclarar que los procedimientos que involucran el cambio de una pieza siempre son los mismos debido a que no se pueden tomar atajos, ya que son elementos que deben ser desmontados y armados nuevamente según como lo presenta el manual, al igual que se revela las herramientas adecuadas para el trabajo. Sin embargo la supervisión a la secuencia de los pasos tomados es factor clave en el éxito del mantenimiento.

Los recursos que se utilizaran en los planes de contingencia serán los mismos que tiene a disposición actualmente la empresa (mano de obra, repuestos y herramientas), ya que lo mostrado a continuación es simplemente la organización de pasos secuenciales que documente por escrito lo necesario a hacer en cualquiera de las fallas mostradas.

Culatas

Nombre del plan
Atención a la culata
Recursos humanos que integran el plan
Responsable: Jefe de área mecánica; Coordinador: Coordinadores de área mecánica; Técnicos: Técnicos bajo el cargo de ambos coordinadores
Análisis de la situación
La culata es un elemento que constantemente es sustituido, por sufrir distintos tipos de fallas, siendo la más predominante el cambio de O-ring de casquillo de válvulas de escape, por la cristalización de estas, razón la cual puede significar que eran de mala calidad, asimismo percances como presencia de agua debido a la falla de un O-ring en el asiento de válvulas, en cambio una culata sufrió dos desperfectos en menos de 1 mes siendo el primero un balancín mal estado y luego un desgaste en el árbol de levas. Por tanto la culata tiene distintos causales que puede afectar su funcionamiento, por eso depende de un extremo cuidado.
Objetivo inmediato
Reestablecer la unidad lo más rápido cuando se dé un desperfecto en la culata, y evitar que la culata sufra deformaciones o sufra un daño permanente.
Procedimiento general de acción
1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.
2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordinador debe supervisar el diagnóstico al igual que la intervención.
3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.

<p>4. Los técnicos desmontan la culata según procedimiento del manual, en los casos presentados. Luego realizan el cambio de la misma siguiendo los procesos establecidos. Asimismo reemplazar elementos que en el diagnóstico hayan mostrado desgaste, para de este modo asegurar la vida útil del mismo.</p>
<p>5. Se repara la culata y demás elementos que puedan ser restaurados, que fueron desmontados, en el área mecánica para posteriormente ser usados en cualquier emergencia. En caso de O-ring dañado se reemplaza por uno nuevo</p>
<p>6. Se procede a realizar venteo en las 18 bombas inyectoras como procedimiento de verificación, sin embargo en caso del balancín dañado se realiza recalibración de válvulas. Al igual siempre se corrobora el funcionamiento del elemento con el encendido del motor.</p>
<p>7. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.</p>

Turbocompresor A y B

Nombre del plan
Atención a turbocompresores A y B
Recursos humanos que integran el plan
Responsable: Jefe de área mecánica; Coordinador: Coordinadores de área mecánica; Técnicos: Técnicos bajo el cargo de ambos coordinadores
Análisis de la situación
El turbocompresor o turbosoplante lado A sufrió en primer lugar presencia de agua por fisura de carcasa, posterior hubo un deficiencia en la tapa de enfriamiento del turbocompresor por salida de gases, y luego más tarde se detectó una desviación de eje. En cambio el turbo compresor del lado B solo

sufrió vibraciones y altas revoluciones. Por lo que el turbocompresor lado A fue el más afectado por una consecuencia de fallas consecutivas.
Objetivo inmediato
Crear un plan contingente que ayude a la agilización del mantenimiento correctivo en dado caso que suceda un imprevisto como los mencionados, así como también realizar diagnósticos más profundos, para evitar daños consecutivos los cuales pueden traer como consecuencias altos costos en mantenimiento
Procedimiento general de acción
Turbocompresor lado A
1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.
2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordinador debe supervisar el diagnóstico al igual que la intervención.
3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.
4. Los técnicos desmontan la parte del turbocompresor dañada según procedimiento del manual. Al ser el turbosoplante un elemento muy grande, se debe realizar un diagnóstico posterior para saber si existe una avería a consecuencia de la anterior. Se realiza el cambio de las partes siguiendo los procesos establecidos. Luego realizan el cambio de manguera siguiendo los procesos establecidos, y de ser posible cambiar la entrada de la conexión (O-ring, empaques, etc.) para mejorar la hermeticidad de las conexiones.
5. Si no hay en existencia la parte a ser sustituida, se repara la desmontada con el coordinador supervisando las actividades, para mayor certeza que lo que se está restaurando se hace de forma correcta.

6. Corroborar el funcionamiento del elemento con el encendido del motor.
7. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.
Turbocompresor lado B
1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.
2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordina debe supervisar el diagnostico al igual que la intervención.
3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.
4. En caso que el diagnostico arroje información sobre daño en alguna parte del turbosoplante, desmontar según el procedimiento del manual, y cambiar conforme a lo que se disponga en bodega sino reparar. Luego montar según procesos establecidos. En caso de que ninguna parte resulte dañada, realizar labores de limpieza y lubricación de piezas.
5. Corroborar el funcionamiento del turbosoplante con el encendido del motor.
6. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.

Línea de combustible

Nombre del plan
Atención a la línea de combustible

Recursos humanos que integran el plan
Responsable: Jefe de área mecánica; Coordinador: Coordinadores de área mecánica; Técnicos: Técnicos bajo el cargo de ambos coordinadores
Análisis de la situación
La línea de combustible está compuesta por tuberías las cuales al pasar del tiempo pueden presentar fisura, como paso en el caso de la tubería conectada a la caja de distribución, otro caso ocurrido fue por reemplazos mal planeados o erróneos que acontecieron por no tener en existencia el repuesto solicitado.
Objetivo inmediato
Evitar una gran pérdida de combustible, del mismo modo impedir algún accidente debido a que la presión a la que entra el combustible es de entre 7 a 9 bar. De igual modo rehabilitar la línea de combustible en periodos más cortos.
Procedimiento general de acción
1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.
2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordinador debe supervisar el diagnóstico al igual que la intervención.
3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV.
4. Los técnicos desmontan la manguera con fisura según procedimiento del manual. Luego realizan el cambio de manguera siguiendo los procesos establecidos, y de ser posible cambiar la entrada de la conexión (O-ring, empaques, etc.) para mejorar la hermeticidad de las conexiones
5. En caso de no tener el repuesto de la manguera, buscar un repuesto que pueda asegurar la restauración del equipo, esto mientras se espera al repuesto original, para luego planificar y programar el mantenimiento preventivo.

<p>6. Se procede a realizar venteo en las 18 bombas inyectoras como procedimiento de verificación. Al igual siempre se corrobora el funcionamiento del elemento con el encendido del motor.</p>
<p>7. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.</p>

Sistema de agua (Bomba HT y LT)

<p>Nombre del plan</p>
<p>Atención a la bomba de agua del sistema HT y LT</p>
<p>Recursos humanos que integran el plan</p>
<p>Responsable: Jefe de área mecánica; Coordinador: Coordinadores de área mecánica; Técnicos: Técnicos bajo el cargo de ambos coordinadores</p>
<p>Análisis de la situación</p>
<p>En ambos sistemas hubo fuga de agua en lo que respecta al sistema HT la brida de conexión se dañó, y en cuanto en el sistema LT se dio un fallo en el sello mecánico, la fuga de agua es un factor constante en estas bombas, de igual forma lo es la baja presión con que entra el agua al motor, sin embargo no se da tan a menudo como la fuga de agua.</p>
<p>Objetivo inmediato</p>
<p>Rehabilitar la bomba de agua</p>
<p>Procedimiento general de acción</p>
<p>1. Seguir el proceso planteado en diagrama de flujo de mantenimiento correctivo lo más rápido que se pueda, cuando el departamento de mantenimiento ha sido notificado de la falla, el responsable del plan ordena al coordinador al personal propicio para diagnóstico.</p>
<p>2. El responsable del plan y el coordinador determina las acciones que se han de tomar y, en caso necesario, se dividen el trabajo y los recursos. El coordina debe supervisar el diagnostico al igual que la intervención.</p>

3. Cuando el operario coordine las actividades previas debe poner inhabilitada la Unidad IV. Además se drena el agua del sistema para poder trabajar en la bomba.
4. Según el diagnóstico de la fuga:
a. Los técnicos desmontan de la brida según procedimiento del manual para después deshacerse de ella, y se monta una brida nueva siguiendo los procesos establecidos.
b. Los técnicos desmontan la bomba del sistema que tenga la fuga correspondiente según procedimiento del manual, de igual forma se procede para falla por baja presión en el sistema. Para luego montar una bomba refaccionada y de ser posible cambiar las entradas de conexión para asegurar hermeticidad y evitar fugas en un corto tiempo.
5. La bomba desmontada se repara para tener en caso de emergencia, bomba lista para ser puesta en su lugar.
6. Al quedar rehabilitado el servicio dentro de su calidad, el responsable del plan auxiliado por el coordinador, redacta la orden de trabajo específica correspondiente, acompañada de un informe pormenorizado que mencione lo que a su juicio fue la causa de la falla.

Indicadores clave de rendimiento de mantenimiento

Los indicadores permiten llevar un control de cómo se maneja el mantenimiento en la empresa, de forma tal que los números ayuden a plasmar el progreso del equipo y saber que se está haciendo bien y en que se puede mejorar. Estos indicadores serán de utilidad al momento de medir los planes anteriores.

“Cuando el rendimiento real o esperado no es satisfactorio, se fomenta la gestión de definir objetivos y estrategias para mejorar desde el punto de vista económico, técnico o de organización” (Comité Europeo de Normalización (CEN), 2007) mediante la utilización de este sistema estandarizado europeo de indicadores.

Los indicadores según el Comité Europeo de Normalización (CEN), están divididos en 3 grupos: económicos, técnicos, organizativos. En este caso como

los análisis anteriormente hechos y demás tópicos administrativos de mantenimiento que se abordaron en este documento, se toma solamente la parte técnica, por estar más asociada a los efectos del mantenimiento y a la máquina.

Antes de seleccionar que indicadores son los idóneos para ENEL es necesario tener conocimiento de cuáles son los objetivos a alcanzar a nivel técnico en el departamento de operaciones y mantenimiento, siendo definido a continuación:

1. Reducir la cantidad de fallas que se presentan en las unidades de generación de energía IV y V.
2. Mejorar la disponibilidad de las dos unidades disponibles en la planta Managua.
3. Llevar control del mantenimiento preventivo y correctivo más rigurosamente.

Los parámetros, son datos que resultan imprescindibles para evaluar cualquier situación, con esto en mente podemos concluir que para cumplir los objetivos anteriores, es necesario tener parámetros para tomar medidas en base a este, es decir, si tomamos como parámetro el tiempo, entonces se miden las horas que se ocupan para hacer un mantenimiento o se miden las horas en las que pasa en funcionamiento la máquina. Por tanto los parámetros para la realización de los objetivos anteriores son:

- Tiempo
- Disponibilidad
- Cantidad de fallas
- Cantidad de órdenes de trabajo

“Una vez definidos los objetivos, y se han identificado los parámetros de rendimiento a ser medidos, el siguiente paso es encontrar los indicadores que permiten medir estos parámetros”. (Comité Europeo de Normalización (CEN), 2007). Por consiguiente los indicadores correspondientes seleccionados son: T1, T6, T8, T15, T16, T17 y T21 ya que satisfacen la necesidad de cumplir con los objetivos.

Indicadores para medir rendimiento del mantenimiento en ENEL**T1**

$$\text{Disponibilidad relacionada con el mantenimiento} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento total}}{\left(\frac{\text{El tiempo total}}{\text{de funcionamiento}}\right) + \left(\frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{debido a mantenimiento}}\right)} * 100$$

T6

$$\text{Disponibilidad relacionada con el mantenimiento} = \frac{\text{Tiempo de funcionamiento total}}{\left(\frac{\text{El tiempo total}}{\text{de funcionamiento}}\right) + \left(\frac{\text{Tiempo de inactividad}}{\text{relacionado con fallas}}\right)} * 100$$

T8

$$\frac{\text{El tiempo preventivo causando el tiempo de inactividad}}{\text{El tiempo de inactividad total relacionado con el mantenimiento}} * 100$$

T15

$$\frac{\text{Tiempo de funcionamiento total}}{\text{Numero de ordenes de trabajo de mantenimiento que causan el tiempo de inactividad}}$$

T16

$$\frac{\text{Tiempo de funcionamiento total}}{\text{Numero de ordenes de trabajo de mantenimiento}}$$

T17

$$\text{Tiempo medio entre fallas} = \frac{\text{tiempo total de funcionamiento}}{\text{Numero de fallas}}$$

T21

$$\text{Tiempo medio de reparacion} = \frac{\text{El tiempo total para la restauracion}}{\text{Numero de fallas}}$$



Capítulo VIII: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones generales

- La situación actual observada es controlable, pero necesita un pronto actuar, para que no traiga consecuencias graves en un futuro, puesto que aun aplicando un sistema de mantenimiento preventivo, ocurren fallas que limitan el actuar de la empresa, asimismo se encontró que la ejecución de los programas no siguen ningún procedimiento (escrito), por ello es desorganizado, afectando la efectividad del mantenimiento brindado.
- Abordando los planes de mantenimiento de ambas unidades, estas basan la planificación en las horas de funcionamiento de la máquina y en actividades rutinarias (diarias, quincenales o mensuales), detalladas en el manual del fabricante, que utilizan para elaborar el propio plan. Cada área tiene su propia forma de crear su programa, y cada uno acomoda la información según su conveniencia. De modo que no se maneja un formato estándar que facilite la ubicación de la información, ni detalle datos específicos (frecuencia, observaciones, urgencia, etc.) necesarios para toda empresa. Incluso al momento de enviar el reporte de las actividades realizadas en el mes a la gerencia correspondiente, se hace sobre el mismo diseño, con una columna extra llamada “OT” (orden de trabajo).
- Los planes de mantenimiento se basan además del manual, en los conocimientos de personas expertas en el campo, que llevan conviviendo con la maquina por muchos años. De manera que la programación del mantenimiento es adecuada y no es el causante de los defectos encontrados, esto conduce a la forma en que se ejecuta el programa y el mantenimiento correctivo, o bien a la calidad de los materiales (La obtención de los materiales no depende del departamento de operaciones y mantenimiento).
- Las fallas encontradas, demuestran el inconveniente que atraviesa ENEL, en el caso de la Unidad IV, el sistema del motor que presenta más fallas es el “sistema para aceite combustible” con 17 fallas en total, luego sigue el “sistema de aire de combustión y escape” con 2 fallas en total, posterior continua el “sistema de aire comprimido”, el “sistema de agua enfriamiento”

y el “sistema eléctrico” con 1 falla cada una. Los desperfectos de gran relevancia, mostrados mediante el diagrama de Pareto, que acumulan el 80% de los problemas, corresponden al “Sistema de inyección de combustible y conexiones” y “Culatas”, las restantes conforman el 20% de la problemática, estas son de poca trascendencia.

- En la Unidad V el sistema del motor que presenta más fallas es el “sistema para aceite combustible” con 12 fallas en total, luego sigue el “sistema eléctrico” con 7 fallas en total, posterior continua el “sistema de agua enfriamiento” y el “sistema de aire de combustión y escape” con 3 fallas cada una en total, por último el “Sistema de aceite de lubricación” así como el “sistema de aire comprimido” muestran 1 falla cada una como resultado. El Diagrama de Pareto para la Unidad V presentado muestra que los pocos vitales corresponde a, según el orden de afectación: Culatas, Turbocompresor A y B, Línea de combustible y Sistema de agua (Bomba HT y LT), las restantes conforman el 20% de la problemática, estas son de poca trascendencia.
- Para solucionar la problemática se propone un plan de acción que contempla desde la creación de diagramas de flujo que se elaboraron en el presente estudio, a fin de que ENEL posea un documento donde se describan las actividades, incentivando y promoviendo en los colaboradores un compromiso a cumplir dichas tareas en orden, ayudando a mejorar la comunicación y el flujo de información en el departamento. Asimismo, respetando los diagramas de flujos propuestos, se proponen planes contingentes en caso de que sucedan fallas como las mencionadas, y así actuar de manera rápida ante estos imprevistos. Igualmente se proponen indicadores que midan el rendimiento del mantenimiento mensualmente, así la gerencia del departamento correspondiente permanece al tanto de cómo va el mantenimiento, y si en algún dado caso el resultado de los indicadores, en cierto periodo, no se ajusta a las intenciones de la compañía, se podrá actuar en tiempo y forma evitando una gran cantidad de fallas posteriores.

Recomendaciones generales

1. Estandarizar todo los formatos, para manejar la misma información y facilitar el trabajo de mantenimiento, dando como consecuencia una mejor atención a los equipos. ENEL planta Managua puede hacer uso de los formatos propuestos en este mismo proyecto: hoja de inspección (**ver Anexo D, pg. xxv**), solicitud de trabajo (**ver Anexo D, pg. xxvi**), y expediente del equipo (**ver Anexo D, pg. xxvii**).
2. Los técnicos que intervienen en el mantenimiento debe seguir el manual al pie de la letra, con respecto a desmontaje de piezas, ya que en este se muestra la forma correcta, para no dañar ninguna pieza, de igual forma agilizar el proceso. Pero si en algún dado caso no es posible, por un motivo entonces, se debe de analizar la pieza y crear un procedimiento alternativo apropiado para la acción a ejecutar.
3. El departamento de operaciones y mantenimiento debe proponerse metas trimestralmente, semestralmente o bien anual (a su conveniencia), para ir innovando y mejorando, ya que con metas concretas establecidas se puede comprobar el avance de los planes propuestos. Estas metas pueden ser “Un aumento de la disponibilidad” o “Una reducción del número de fallas”, o bien puede ser una meta que proponga un numero de fallas permitida.
4. El departamento de operaciones y mantenimiento debe proponerse a desarrollar una reunión entre las 3 áreas existentes para la realización de lluvia de ideas para la mejora del mantenimiento, o igualmente para discutir el avance del mantenimiento durante un periodo de tiempo.
5. La empresa debe de realizar estudios de tiempos para los planes contingentes sugeridos, con el fin de determinar las Horas-Hombres, ya que la propuesta hecha tiene como propósito organizar y plantear procedimientos desorganizados, siendo el interés principal del tema monográfico conocer el estado actual de los planes de mantenimiento y la funcionabilidad de estos, de forma que los estudios de tiempo quedan como recomendación para proceso interno de la empresa.

Bibliografía

- Ariel Rojas, C. E. (2007). Organización y planificación de sistemas de mantenimiento. En C. E. Ariel Rojas, *Organización y planificación de sistemas de mantenimiento* (pág. 135). Caracas: CENTRO DE ALTOS ESTUDIOS GERENCIALES ISID.
- Centro Nacional de Despacho de carga. (2018). *Marco legal - Ley No. 272, Ley de Industria Eléctrica*. Obtenido de Centro Nacional de Despacho de carga: http://www.cndc.org.ni/paginas/marco_legal/leyes/Ley%20272,%20Ley%20de%20Industria%20Electrica.pdf
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (2007). *Indicadores clave de rendimiento Mantenimiento*. Londres, Reino Unido: Comité de Política y estrategias de Normas.
- DISNORTE-DISSUR. (28 de Marzo de 2018). *¿Qué es la electricidad?* Obtenido de Disnorte-Dissur website: <http://www.disnorte-dissur.com.ni/que-es-la-electricidad.html>
- Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). *ENEL Presentación de Galerías de Imágenes*. Obtenido de ENEL: <http://www.enel.gob.ni/album/ENEL/T%C3%A9rmicas/Planta%20Managua/index.html>
- Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). *Plan de Mantenimiento mensual*. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).
- Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). *Reporte de falla técnica*. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).
- Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). *Reportes de fallas 2017*. Managua: Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL).
- Empresa Nicaragüense de Electricidad. (2 de Febrero de 2018). *Historia jurídica*. Obtenido de enel.gob.ni: <http://www.enel.gob.ni/index.php/quienes-somos/historia-juridica-enel>

- García Soutullo, R. (21 de Marzo de 2017). *MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS (MCIA) (1ºPARTE)*. Obtenido de ingenieromarino.com: <http://ingenieromarino.com/30omotores-de-combustion-interna-alternativos-mcia-1oparte/>
- Glez, A. (Noviembre de 2011). *Motores termicos*. Obtenido de Wordpress.com: <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/11/motores-termicos.pdf>
- Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salaza, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (Tercera ed.). México, D.F., México: McGRAW-HILL.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGrawhill Education.
- Ministerio de Energia y Minas (MEM). (2017). *ANUARIO ESTADISTICO DEL SECTOR ELECTRICO NACIONAL 2016*. Managua: Ministerio de Energia y Minas (MEM). Obtenido de <http://www.mem.gob.ni/wp-content/uploads/2017/09/Anuario-Estadistico-Elctrico-2016.pdf>
- Nieto, S. (29 de Mayo de 2009). *Mantenimiento Industrial*. Obtenido de mantenimientosindustriales2009.blogspot: <http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com/2009/05/historia-del-mantenimiento.html>
- Prando, R. R. (1996). *Manual gestion de mantenimiento*. Guatemala, Guatemala: Piedra Santa S.A. de C.V.
- Real Academia Española. (2017). *Diccionario de la Lengua Española*. Madrid: Asociación de Academias de la Lengua Española (ASALE).
- Ruiz, R. (19 de Diciembre de 2015). *Cómo funciona un motor de 4 tiempos*. Obtenido de AboutEspañol: <https://www.aboutspanol.com/como-funciona-un-motor-de-4-tiempos-2401085>

- Sánchez, J. (1 de Febrero de 2013). *Inducción electromagnética*. Obtenido de El fisico loco: <http://elfisicoloco.blogspot.com/2013/02/induccion-electromagnetica.html>
- Venta generadores electrico. (4 de Enero de 2011). *¿Como funciona un generador eléctrico?* Obtenido de ventageneradores.net: <https://www.youtube.com/watch?v=vdzpxgVn6N0>
- Villanueva, E. D. (2007). *La Productividad en el Mantenimiento Industrial*. México, D.F.: Grupo Editorial Patria.
- Wartsila NSD Finland oy. (1997). *Manual del operador* (Vol. 1A). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.
- Wartsila NSD Finland oy. (1997). *Motor diesel - Catálogo de repuestos* (Vol. 2C libro 2/2). (K. tallgen, Trad.) Vassa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.
- Wartsila NSD Finland oy. (1997). *Motor diesel - Manual de instrucciones* (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Anexo A

Unidades Wartsila

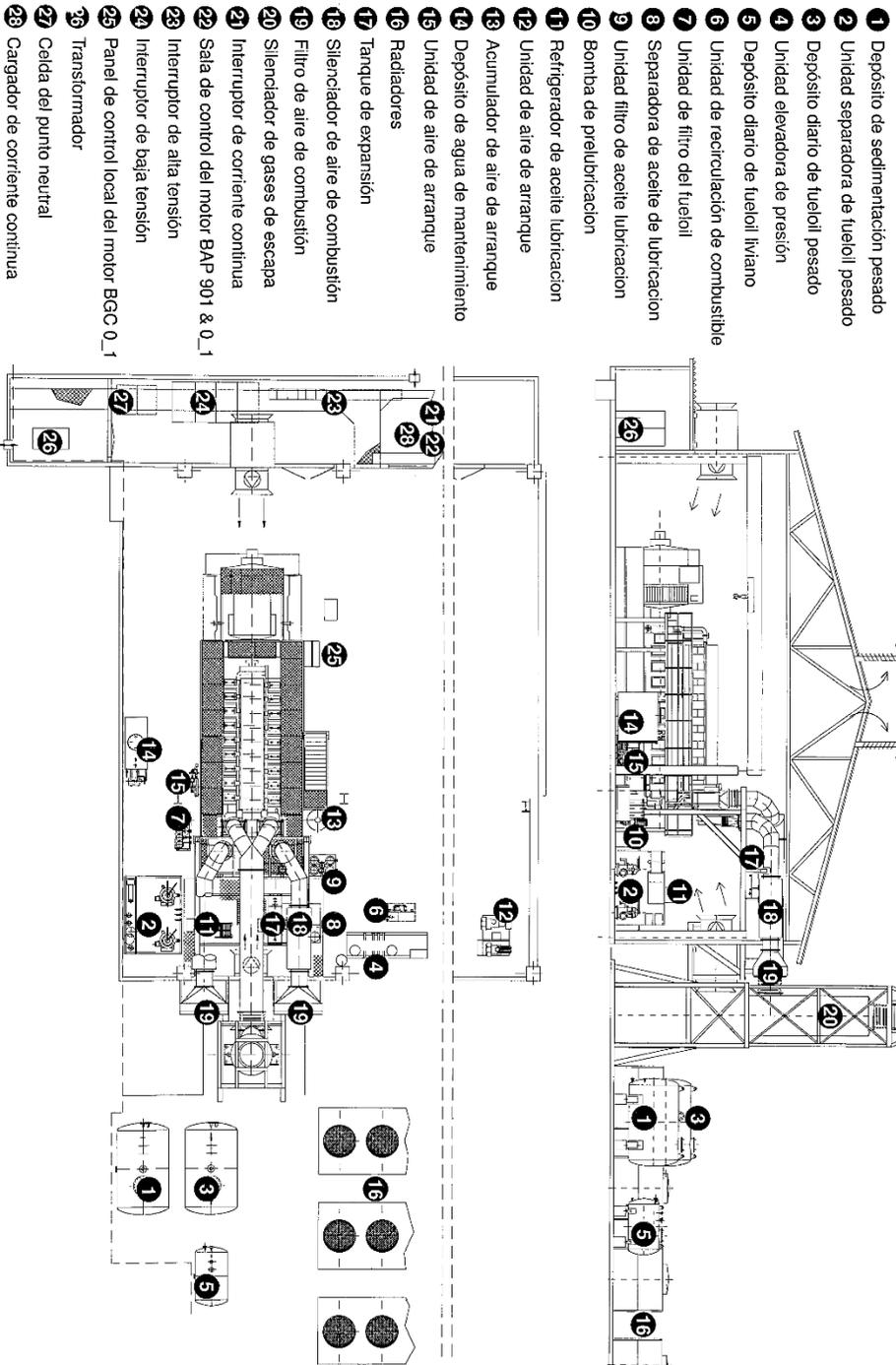


Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). ENEL Presentación de Galerías de Imágenes. Obtenido de ENEL: <http://www.enel.gob.ni/album/ENEL/T%C3%A9rmicas/Planta%20Managua/index.html>



Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). ENEL Presentación de Galerías de Imágenes. Obtenido de ENEL: <http://www.enel.gob.ni/album/ENEL/T%C3%A9rmicas/Planta%20Managua/index.html>

DIAGRAMA DE PLANTA GENERADORA ENEL



Diseño general de las Unidades Wartsila

Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (1997). Manual del operador (Vol. 1A). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Anexo B

Formato de requisición y devolución de materiales

**EMPRESA NICARAGUENSE DE ELECTRICIDAD (ENEL)
SISTEMA DE ADMINISTRACION DE INVENTARIOS (SAI-ENEL)**

REQUISA No: 00000000

Fecha: _____
 Almacén: _____
 Área Usuaría: _____

CODIGO DEL ARTICULO	DESCRIPCION DEL ARTICULO	UNIDAD DE MEDIDA	UBICACION	CANTIDAD		COSTO CS UNITARIO	COSTO CS TOTAL
				SOLICITADA	ENTREGADA		
Total: _____							
Observaciones:							
Retirada por:	Vo.Bo. Area	Control interno	Recibido por:	Entregado por:	Revisado por:		
Firma y Sello:		Firma y Sello:		Nombre Emp#:		Firma y Sello:	

Impresión: dd de mm de aa Hora:min:s

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

Formato de parámetro operativo del motor Wartsila

PARAMETRO OPERATIVO MOTOR WARTSILA											
FECHA:	UNIDAD:			Carga:		Ejecutado				H/Operación:	
PARAMETROS		°C	mm	bar	°C	mm	bar	°C	mm	bar	Observación
A	A1										
	A2										
	A3										
	A4										
	A5										
	A6										
	A7										
	A8										
	A9										
	A										
Turb	°C										
	R/s										
B	B1										
	B2										
	B3										
	B4										
	B5										
	B6										
	B7										
	B8										
	B9										
	B										
Turb	°C										
	R/s										

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

Formato de Hoja inspección semanal Unidad V

HOJA DE INSPECCION SEMANAL DE EQUIPO MECANICO

UNIDAD No. 4 PLANTA MANAGUA SEMANA DEL ____ AL ____

EJECUTOR : _____ REVISADO POR : _____

No.	CODIGO	EQUIPO	EST. OPER.		EST. TECNICO		
			E/S	F/S	B	R	M
SISTEMA DE COMBUSTIBLE							
1		Tanque buffer					
2	PBC901	Tanque diario bunker					
3	PAC901B01	Filtro de unidad de transf combustible no. 1					
4	PAC901B02	Filtro de unidad de transf combustible no. 2					
5	PAC901D01	Bomba de transferencia de combustible No. 1					
6	PAC901D02	Bomba de transferencia de combustible No. 2					
7	-	Calentadores eléctricos unidad transf. Bunker					
8	PBB901D02	Separadora de bunker 1					
9	PBB901D05	Separadora de bunker 2					
10	PBB901D01	Bomba separadora de bunker 1					
11	PBB901D04	Bomba separadora de bunker 2					
12	-	Calentadores eléctricos separadora de bunker					
13	QBB011D03	Bomba de lodos de separadora					
14	-	Tubería y val. de stma. de separadora bunker					
15	PCA011D01	Bomba alimentadora No. 1 de Unidad Booster					
16	PCA011D02	Bomba alimentadora No. 2 de Unidad Booster					
17	PCA011D03	Bomba elevadora presión No. 1 Unidad Booster					
18	PCA011D04	Bomba elevadora presión No. 2 Unidad Booster					
19	PCA011B14	Filtros automáticos					
20	PCA011B15	Filtro manual					
21	-	Tuberías y valv. de la unidad booster					
22	PCC011B01	Filtros de combustibles					
23	PDA901D01	Bomba de retorno de combustible					
24	-	Aislamiento térmico					
25	-	Filtro de unidad de retorno					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE REFRIGERACION							
26	-	Radiador No. 1					
27	-	Radiador No. 2					
28	-	Radiador No. 3					
29	-	Radiador No. 4					
30	-	Abanicos de los radiadores					
31	VDA11D01	Bomba de la Unidad precalentadora					
32	-	Calentador de la Unidad Precalentadora					
33	-	Bomba de Refrigeración de alta temp.					
34	-	Bomba de Refrigeración de baja temp.					
35	VBA901	Tanque de Agua de Mantenimiento					
36	VEA011	Tanque de expansión					
37		Flanges pernería uniones					
38	-	Tubería y válvulas del sit. de refrig.					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE AIRE DE CARGA Y GASES DE ESCAPE							
39	-	Turbocargadores					

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

HOJA DE INSPECCION SEMANAL DE EQUIPO MECANICO

UNIDAD No. 4 PLANTA MANAGUA SEMANA DEL ____ AL ____

No.	CODIGO	EQUIPO	EST. OPER.		EST. TECNICO		
			E/S	F/S	B	R	M
40	QEB019B04	Enfriadores de aire					
41	NGA019B05	Filtro de aire de admisión A					
42	NGA019B06	Filtro de aire de admisión B					
43	NHA019B05	Silenciador					
44	-	Chimenea					
45	-	Juntas de expansión lado gases					
46	-	Juntas de expansión lado aire					
47	-	Tubería de aire carga y gases					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO							
48	TAA901D01	Compresor principal Sperre					
49	TAA901D02	Compresor de emergencia Sperre					
50	TBA011	Botella de aire					
51	-	Filtro separador de humedad					
52	-	Tubería y válvulas del sist. De aire					
OBSERVACIONES:							
MOTOR WARTSILA							
53	-	Ventilador No. 1 sala de maquinas					
54	-	Ventilador No. 2 sala de maquinas					
55	-	Virador					
56	-	Carter					
57	-	Tapas de compresión					
58	-	Culatas					
59	-	Bombas de inyección					
60	-	Bombas de inyección comb.					
61	-	Tubería de aire					
62	-	Filtro centrífugo					
63	-	Gobernador					
64	-	Tubería de agua de refrigeración					
65	-	Pernería de todo el motor					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE LUBRICACION							
66	QBB011D02	Separadora de aceite					
67	QBB011D01	Bomba separadora de aceite					
68	QAA019D01	Bomba prelubricadora					
69	QEB11B01	Filtros de aceite					
70	QAE901D01	Bomba de transf. de aceite (de Carreta)					
71		Enfriador de aceite					
72	QBB011D03	Bomba de lodos de sep. aceite					
OBSERVACIONES:							

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

Formato de Hoja inspección semanal Unidad V

HOJA DE INSPECCION SEMANAL DE EQUIPO MECANICO

UNIDAD No. 5 PLANTA MANAGUA SEMANA DEL ____ AL ____

EJECUTOR : _____ REVISADO POR : _____

No.	CODIGO	EQUIPO	EST. OPER.		EST. TECNICO		
			E/S	F/S	B	R	M
SISTEMA DE COMBUSTIBLE							
1		Tanque buffer					
2	PBC901	Tanque diario de bunker					
3	PCA011D01	Bomba alimentadora No. 1 de Unidad Booster					
4	PCA011D02	Bomba alimentadora No. 2 de Unidad Booster					
5	PCA011D03	Bomba elevadora presión No. 1 Unidad Booster					
6	PCA011D04	Bomba elevadora presión No. 2 Unidad Booster					
7	PCA011B14	Filtros automáticos					
8	PCA011B15	Filtro manual					
9	-	Tuberías y val. De la unidad booster					
10	PCC011B1	Filtros de combustible					
11	-	Aislamiento térmico					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE REFRIGERACION							
12	-	Radiador No. 1					
13	-	Radiador No. 2					
14	-	Radiador No. 3					
15	-	Radiador No. 4					
16	-	Abanicos de los radiadores					
17	VDA11D01	Bomba de la Unidad precalentadora					
18	-	Calentador de la Unidad Precalentadora					
19	-	Bomba de Refrigeración de alta temp.					
20	-	Bomba de Refrigeración de baja temp.					
21	VEA011	Tanque de expansión					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE AIRE DE CARA Y GASES DE ESCAPE							
22	-	Turbocargador A					
23	-	Turbocargador B					
24	QEB019B04	Enfriadores de aire					
25	NGA019B05	Filtro de aire de admisión A					
26	NGA019B06	Filtro de aire de admisión B					
27	NHA019B05	Silenciador					
28	-	Chimenea					
29	-	Junta de expansión lado gases					
30	-	Junta de expansión lado aire					
31	-	Tubería de aire de carga y gases					
OBSERVACIONES:							
EQUIPOS VARIOS							
32	-	Grúa carro principal					
33	-	Grúa puente engranaje norte					
34	-	Grúa engranaje levantamiento					
35	-	Ventilador No. 1 de sala de maquinas					
36	-	Ventilador No. 1 de sala de maquinas					
OBSERVACIONES:							
MOTOR WARTSILA							
37	-	Virador					
38	-	Carter					
39	-	Tapas de compresión					
40	-	Culatas					

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

HOJA DE INSPECCION SEMANAL DE EQUIPO MECANICO

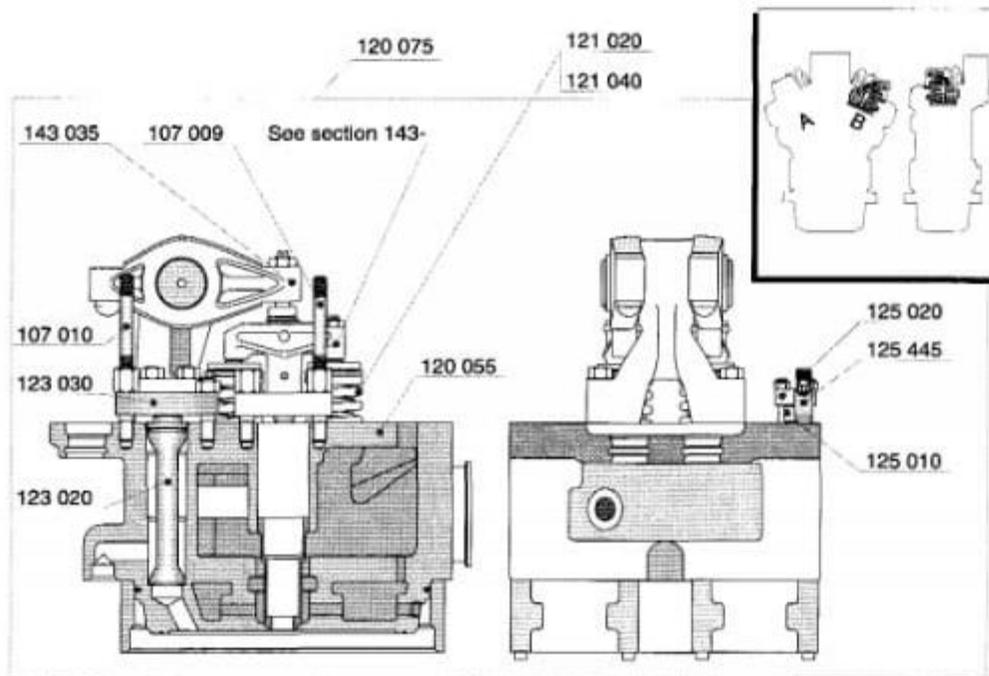
UNIDAD No. 5 PLANTA MANAGUA SEMANA DEL ____ AL ____

No.	CODIGO	EQUIPO	EST. OPER.		EST. TECNICO		
			E/S	F/S	B	R	M
SISTEMA DE COMBUSTIBLE							
41	-	Bombas de inyección					
42	-	Tuberías de inyección comb.					
43	-	Tuberías de aire					
44	-	Gobernador					
45	-	Filtro centrífugo					
OBSERVACIONES:							
SISTEMA DE LUBRICACION							
46	QBB011D02	Separadora de aceite					
47	QBB011D01	Bomba separadora de aceite					
48	QAA019D01	Bomba prelubricadora					
49	QEB11B01	Filtros de aceite					
50	QAE901D01	Bomba de transf. De aceite (de carreta)					
51	QBB011D03	Bomba de lodos de sep. aceite					
OBSERVACIONES:							

Fuente: Recuperado de Empresa Nicaragüense de Electricidad (ENEL). (2017). Managua

Anexo C

Diseño y partes de culata

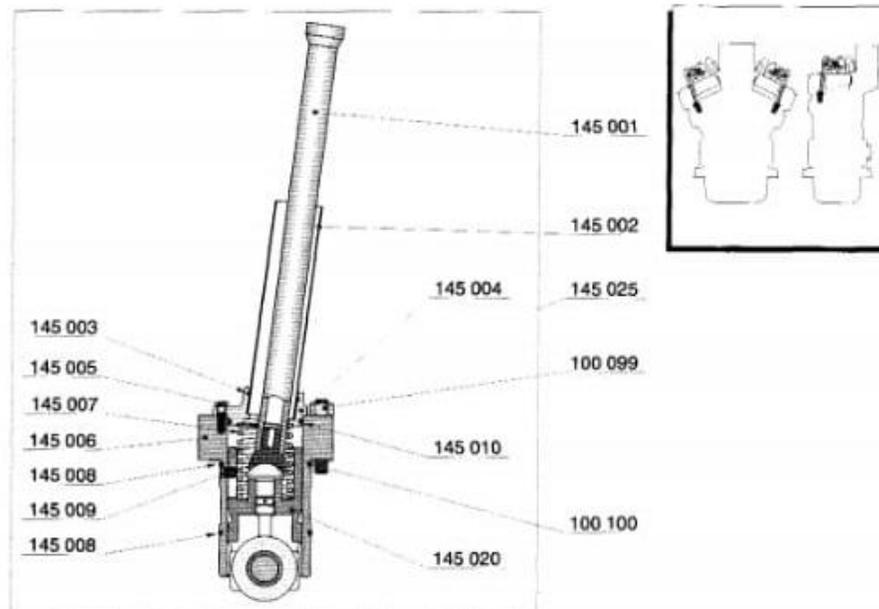


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- 143 035 – Balancín
- 120 075 – Culata

Diseño y partes de empujador de válvula con bloque guía

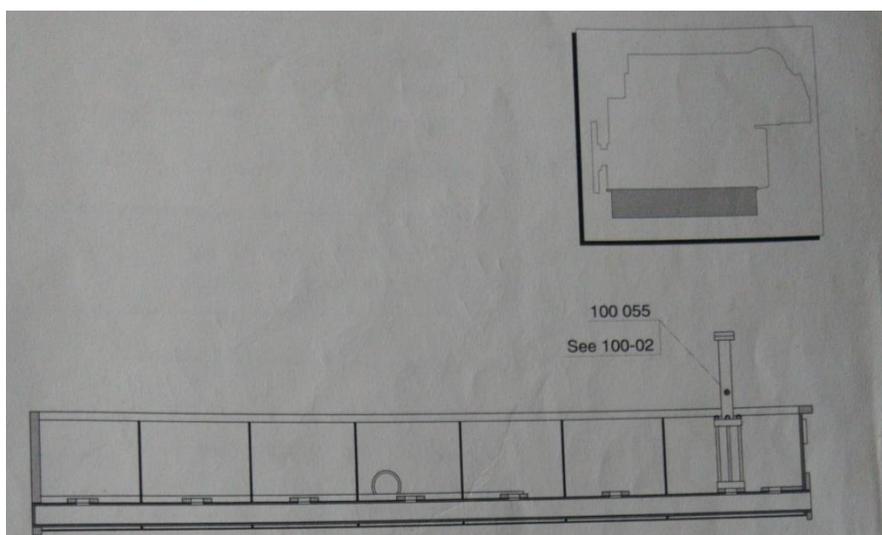


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

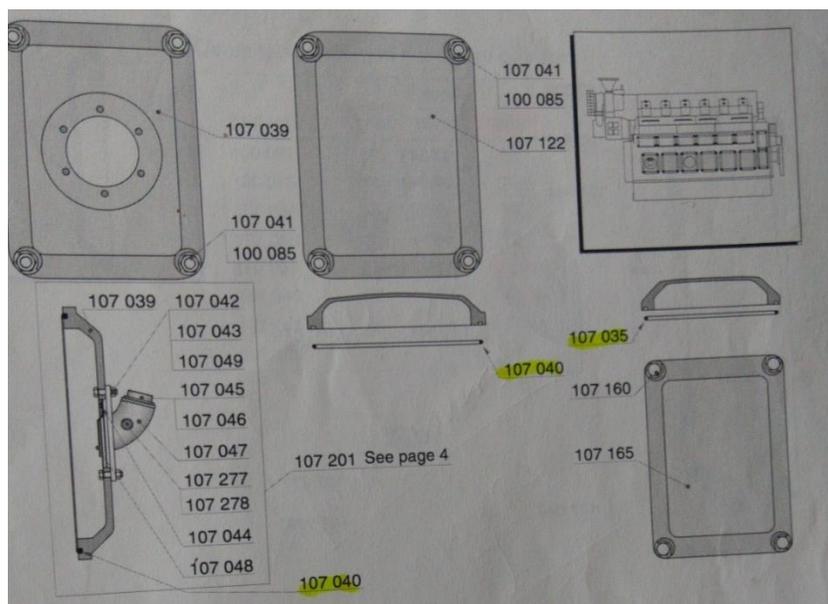
- 145 001 – Varilla empujadora
- 145 010 – O-ring botador

Diseño y partes de carter



Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Diseño y partes de tapas del carter

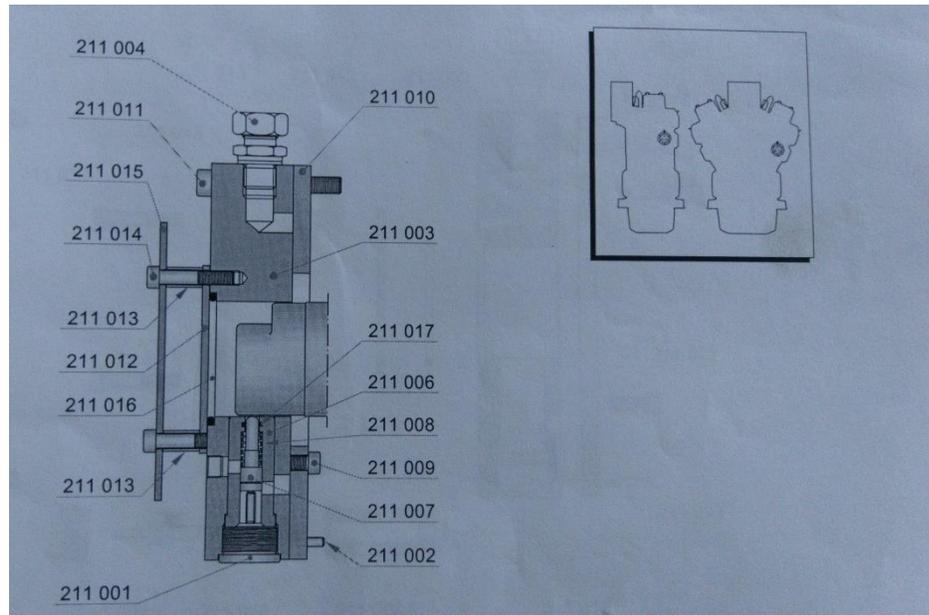


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

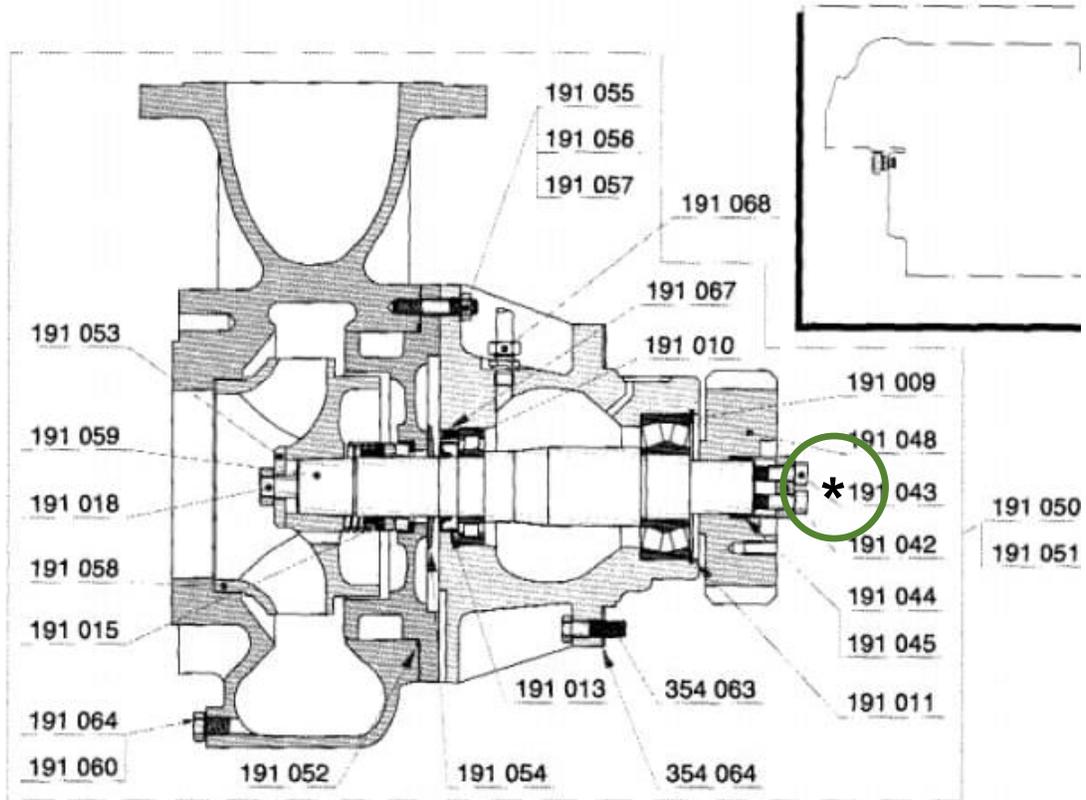
- 107 039 – Tapa del Carter
- 107 122 – Tapa del Carter

Diseño y partes de válvula principal de aire de arranque



Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Diseño y partes de bomba principal del sistema LT y HT

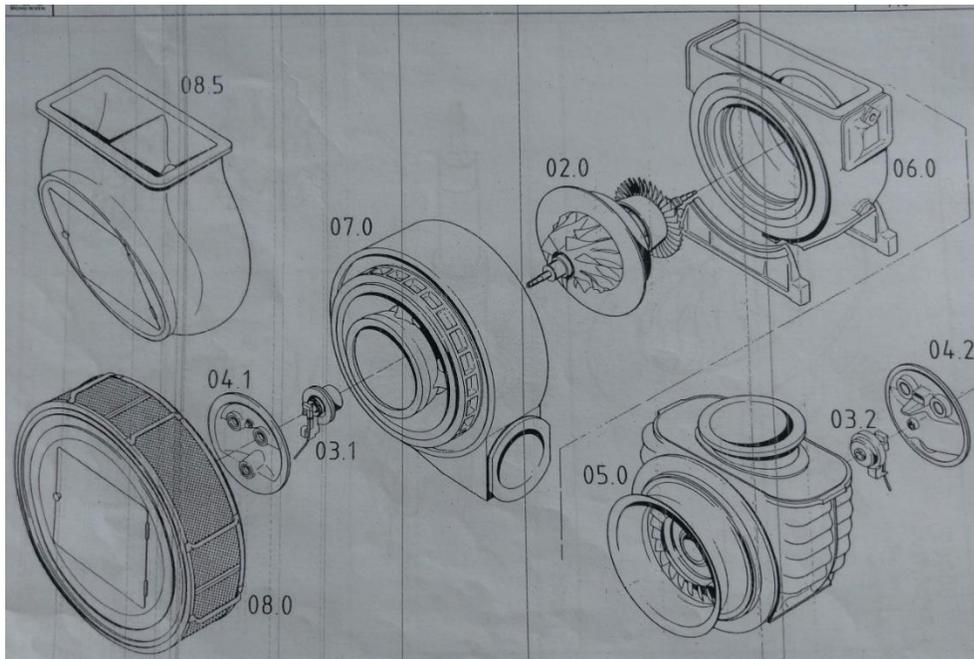


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

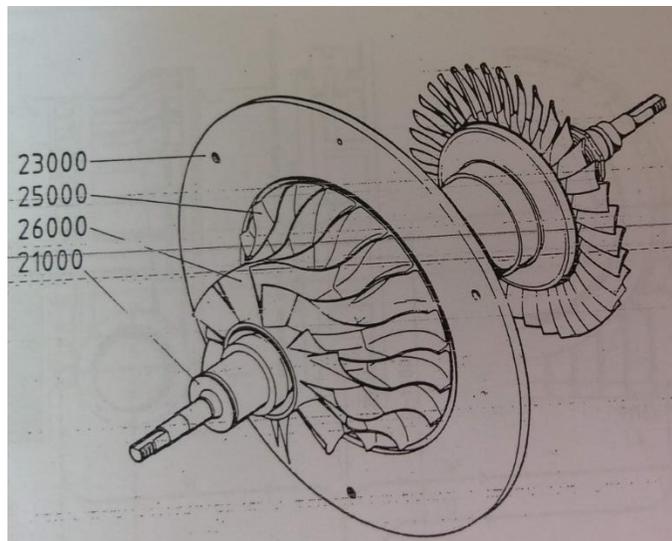
Numero de parte y descripción

- 191 011 – Sellos mecánicos
- *Brida – Esta se encuentra en tubería línea de entrada de Bomba

Diseño y partes de turbocompresor



Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

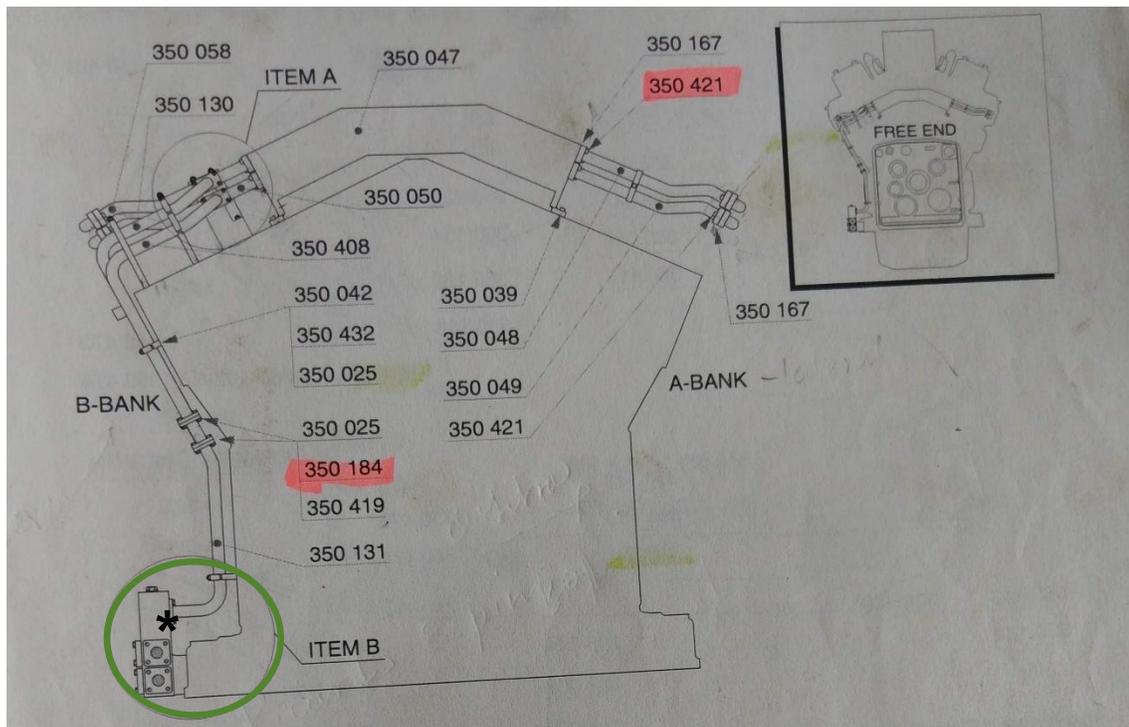


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- Parte 06.0 – Carcasa Turbocompresor
- Parte 02.0 / 2100 – Eje de Turbocompresor

Diseño y partes de tuberías de combustible

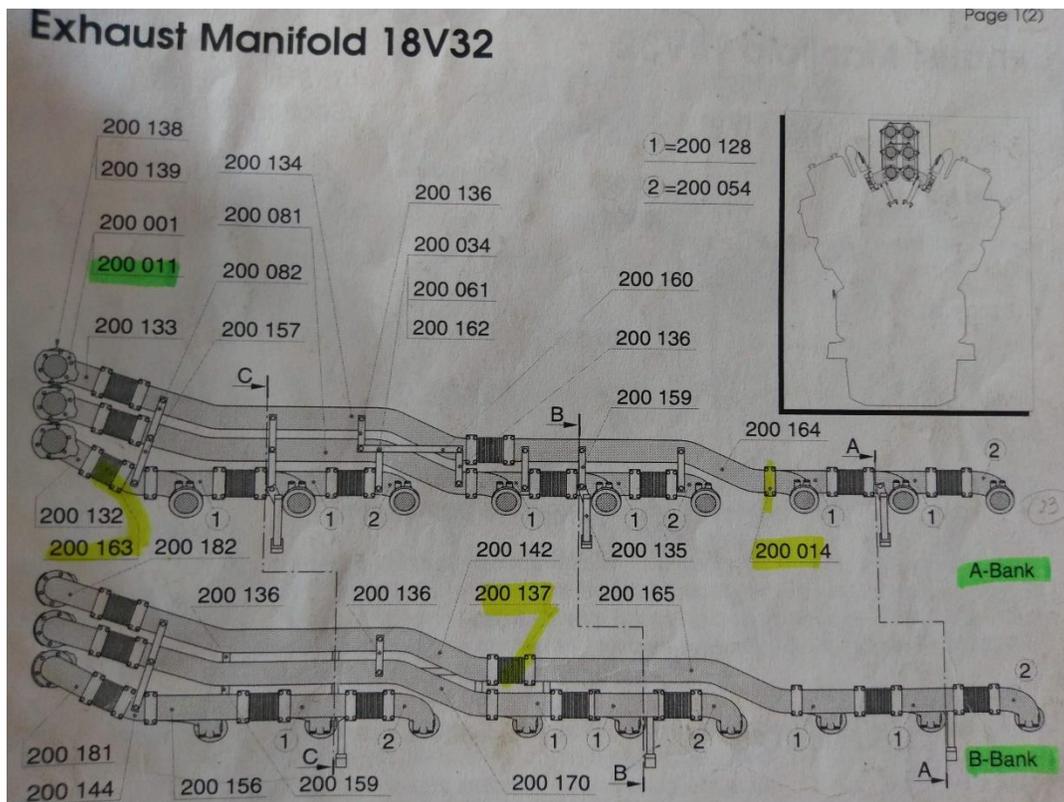


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- *Manguera de entrada de combustible – Esta se encuentra en la entrada de las tuberías principales del motor.

Diseño y partes de tuberías escape de gases

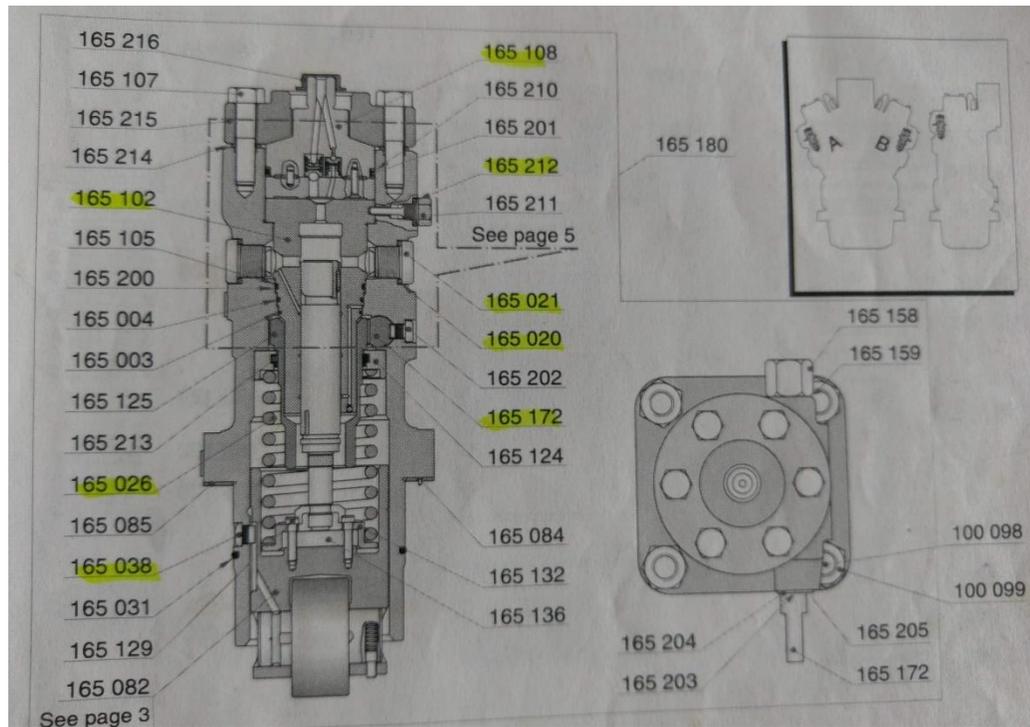


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- 200 137 – Junta de expansión de salida de gases de carter

Diseño y partes de bombas de inyección

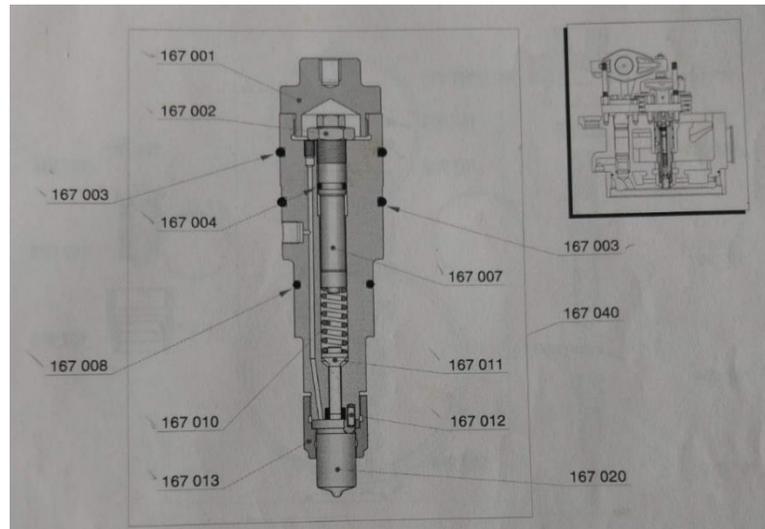


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- 165 180 – Bomba inyectora

Diseño y partes de inyector

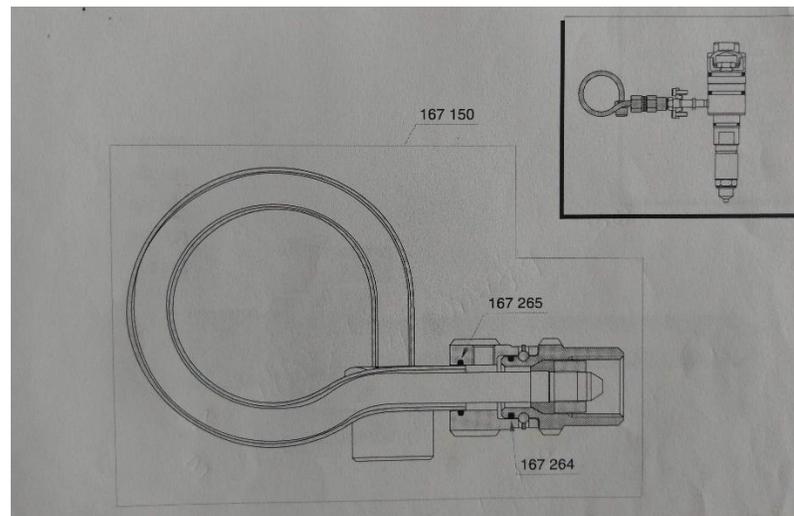


Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- 165 180 – Inyector

Diseño y partes de bombas de inyección



Fuente: Recuperado de Wartsila NSD Finland oy. (2018). Motor diesel - Manual de instrucciones (Vol. 2B libro 1/2). (K. tallgen, Trad.) Vaasa, Finlandia: Wartsila manuales de operación y mantenimiento.

Numero de parte y descripción

- 167 150 – Tubo de inyección de combustible

Anexo D

Ficha técnica para Unidad IV

EMPRESA NICARAGUENSE DE ELECTRICIDAD					
FICHA TECNICA					
EQUIPO		GRUPO ELECTROGENO WARTSILA			
FABRICANTE		SERIE No.	CODIGO	PAIS DE FABRICACION	
WARTSILA		2662974	UNIDAD IV	FINLANDIA	
SERVICIOS NECESARIOS PARA FUNCIONAMIENTO		RPM	CAPACIDAD	AREA TOTAL	
COMBUSTIBLE, AGUA, ACEITE, AIRE		720	6.25 MW	42.89237 m ²	
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR					
FABRICANTE		MODELO	MOTOR TIPO	AREA	
WARTSILA		VASA 18V32	18V32	35.14112 m ²	
CILINDRADA POR CADA CILINDRO	POTENCIA	COMBUSTIBLE	ACEITE		
28.1 l	78.30 KVA	HFO380	SAE40		
ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR					
FABRICANTE		MODELO	TIPO DE GENERADOR	AREA	
ABB INDUSTRY OY		ASA 900XU10	HSG900XU10	7.75125 m ²	
FRECUENCIA	POTENCIA	PESO	INTENSIDAD		
60 HZ	7850 KVA	25500 KG	328 A		
EQUIPOS AUXILIARES DE 24 HORAS					
UNIDAD BOOSTER					
CALENTADOR DE AGUA					
CALEFACCION DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE					
EQUIPOS AUXILIARES DE FUNCIONAMIENTO					
SEPARADORA DE ACEITE					
SEPARADORA DE BUNKER					
PRECALENTADORA DE ACEITE					
REPUESTOS EN STOCK					
<p>NOTA: La empresa ENEL mantiene un stock amplio de piezas refraccionadas o nuevas que pueden ser utilizadas por el departamento de operaciones y mantenimiento en caso de cualquier falla, sin embargo, al tener gran cantidad de repuestos se debe verificar con el departamento a cargo de bodega para cualquier necesidad.</p>					

Fuente: Elaboración propia

Ficha técnica para Unidad V

EMPRESA NICARAGUENSE DE ELECTRICIDAD				
FICHA TECNICA				
EQUIPO		GRUPO ELECTROGENO WARTSILA		
FABRICANTE		SERIE No.	CODIGO	PAIS DE FABRICACION
WARTSILA		2662974	UNIDAD IV	FINLANDIA
SERVICIOS NECESARIOS PARA FUNCIONAMIENTO		RPM	CAPACIDAD	AREA TOTAL
COMBUSTIBLE, AGUA, ACEITE, AIRE		720	6.25 MW	42.89237 m ²
ESPECIFICACIONES DEL MOTOR				
FABRICANTE		MODELO	MOTOR TIPO	AREA
WARTSILA		VASA 18V32	18V32	
CILINDRADA POR CADA CILINDRO	POTENCIA	COMBUSTIBLE	ACEITE	35.14112 m ²
28.1 l	78.30 KVA	HFO380	SAE40	
ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR				
FABRICANTE		MODELO	TIPO DE GENERADOR	AREA
ABB INDUSTRY OY		ASA 900XU10	HSG900XU10	
FRECUENCIA	POTENCIA	PESO	INTENSIDAD	7.75125 m ²
60 HZ	7850 KVA	25500 KG	328 A	
EQUIPOS AUXILIARES DE 24 HORAS				
UNIDAD BOOSTER				
CALENTADOR DE AGUA				
CALEFACCION DEL TANQUE DE COMBUSTIBLE				
EQUIPOS AUXILIARES DE FUNCIONAMIENTO				
SEPARADORA DE ACEITE				
SEPARADORA DE BUNKER				
PRECALENTADORA DE ACEITE				
REPUESTOS EN STOCK				
<p>NOTA: La empresa ENEL mantiene un stock amplio de piezas refraccionadas o nuevas que pueden ser utilizadas por el departamento de operaciones y mantenimiento en caso de cualquier falla, sin embargo, al tener gran cantidad de repuestos se debe verificar con el departamento a cargo de bodega para cualquier necesidad.</p>				

Fuente: Elaboración propia

Formato propuesta de solicitud de trabajo



PLANTA MANAGUA

ORDEN DE TRABAJO DEPTO. OPERAC. Y MANT.	EMISOR <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> TIPO DE MANT, <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> <input style="width: 20px; height: 15px; border: 1px solid black;" type="text"/> ORDEN <input style="width: 100px; height: 20px; border: 1px solid black;" type="text"/>
---	--

EQUIPO: _____ _____	P L A N T A	C O D I G O

CARACTER DE LA REPARACION <input type="checkbox"/> NORMAL <input type="checkbox"/> URGENTE	DEPARTAMENTO QUE SOLICITA EL TRABAJO _____ _____
---	--

DEFECTO OBSERVADO: _____

FECHA DE LA DESCOMPOSTURA _____	NOTA ESTE FORMATO NO DEBE SER USADO COMO SI FUERA UNA ORDEN DE TRABAJO.
------------------------------------	--

Elaborado por: _____	Fecha: _____
Recibido por: _____	Fecha: _____

Ejecutado por

Aprobado por

Recibido por

Fuente: Elaboración propia

