



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN DE CONONACO 19 DEL BLOQUE 61, PETROAMAZONAS EP”

ING. ROBERTO FABRICIO CHAQUINGA CORTES

Trabajo de Titulación modalidad Proyecto de Investigación y Desarrollo presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de Magister en “GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL”

RIOBAMBA – ECUADOR

Enero, 2018

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo titulado “ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD Y MANTENIBILIDAD DE LA CENTRAL DE GENERACIÓN DE CONONACO 19 DEL BLOQUE 61, PETROAMAZONAS EP” de responsabilidad del Ing. Roberto Fabricio Chaquinga Cortés, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación

TRIBUNAL

Ing. PhD. Freddy Proaño

PRESIDENTE

FIRMA

Ing. Mg. Mauricio Carrillo

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Mg. Raúl Cabrera F.

MIEMBRO

FIRMA

Ing. Mg. Ángel Alberto Orozco.

MIEMBRO

FIRMA

Riobamba, enero 2018

DERECHOS DE RESPONSABILIDAD

La tesis de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

En tal virtud, los fundamentos teóricos científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del Autor. El patrimonio intelectual le pertenece a Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ing. Roberto Fabricio Chaquina Cortés

CI. 1803274321

DEDICATORIA

Dedico este trabajo primero a Dios que es la luz que ilumina el camino que he llevado hasta ahora, a mi amada esposa Silvia que siempre me apoyado y ha estado a mi lado y hemos salido adelante juntos, a mis dos hijos Elyan y Emilio por llenar nuestra vida de alegría cada día que pasa, a mis padres quienes son el apoyo que siempre está presente y por traerme a este mundo, a mis hermanos ya nuestros familiares que han aportado con su granito de arena para cumplir esta meta.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento muy especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, al personal que labora en el Instituto de Posgrado y Educación Continua tanto a sus Docentes como personal Administrativo que han brindado lo mejor de cada uno de ellos para realizar este trabajo.

A los compañeros de la maestría y compañeros de trabajo que han aportado para que paso a paso cumplir este sueño anhelado y que han compartido mas que aulas una amistad.

Roberto

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
TÉRMINOS ABREVIADOS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
SUMMARY.....	xv

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del problema	1
1.1.1. Formulación del problema.....	3
1.1.2. Sistematización del problema	3
1.2 Objetivos de la investigación.....	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3 Justificación	4
1.4 Hipótesis	6
1.5 Diseño de investigación.....	6

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA.....	8
-----------------------------	---

2.1	Marco teórico.....	8
2.2	Marco conceptual	11
2.2.1.	Fiabilidad.....	11
2.2.2.	Disponibilidad	12
2.2.3.	Mantenibilidad.....	16
2.2.4.	Confiabilidad	17
2.2.5.	Principales distribuciones estadísticas.....	22
2.2.6.	Modo de fallo.....	24
2.2.7.	Falla funcional	25
2.2.8.	Tiempo hasta fallar	25
2.2.9.	Tiempo para reparar.....	25
2.2.10.	Tiempo entre fallos.....	26
2.2.11.	Tiempo medio entre fallos	26
2.2.12.	Análisis RAM (Reliability – Availability – Maintainability).....	29
2.2.13.	Etapas de un análisis RAM.....	30
2.2.14.	Grupos electrógenos	31
2.2.15.	Centrales de generación.....	35
2.2.16.	Tipos de centrales eléctricas	35
2.3	Software “Máximo para Oil&Gas”.....	36
2.4	Software “Relex 2009 versión evaluación” RBD.....	37

CAPÍTULO III

3.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
3.1	Tipo de investigación.....	39
3.2	Método de investigación.....	40
3.3	Técnicas e instrumentos de recolección de información	40

3.3.1.	Cuantitativas.....	41
3.3.2.	Cualitativas.....	42
3.4	Diseño de investigación.....	43
3.4.1.	Análisis de datos existentes:.....	43
3.4.2.	Cálculo RAM inicial:.....	44
3.4.3.	Cálculo RAM teórico:.....	46

CAPÍTULO IV

4.	DESARROLLO DEL ANÁLISIS RAM.....	47
4.1	Jerarquización de equipos y matriz de criticidad.....	48
4.2	Matriz de criticidad 2014.....	51
4.3	Matriz de criticidad 2015.....	52
4.4	Cálculo de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad.....	54
4.4.1.	Generador #1.....	54
4.4.2.	Generador #2.....	58
4.4.3.	Generador #3.....	59
4.4.4.	Generador #4.....	61
4.4.5.	Generador #5.....	61
4.4.6.	Generador #6.....	63
4.4.7.	Generador #7.....	65
4.4.8.	Generador #8.....	66
4.4.9.	Resumen de cálculos.....	68
4.5	Sistemas, Subsistemas, modos y efectos de falla.....	69
4.6	Análisis de Pareto de modos de falla y Criticidad de fallas.....	74
4.7	Confiabilidad del sistema Año 2014.....	80
4.8	Confiabilidad del sistema Año 2015.....	81

4.9	Demostración de la hipótesis	81
4.10	CONCLUSIONES:.....	85
4.11	RECOMENDACIONES	85

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1.	Matriz Criticidad 2014	51
Tabla 4-2.	Matriz Criticidad 2015	52
Tabla 4-3.	Cálculos Generador #1	57
Tabla 4-4.	Cálculos Generador #2	59
Tabla 4-5.	Cálculos Generador #3	60
Tabla 4-6.	Cálculos Generador #5	62
Tabla 4-7.	Cálculos Generador #6	64
Tabla 4-8.	Cálculos Generador #7	65
Tabla 4-9.	Cálculos Generador #8	67
Tabla 4-10.	Resumen de índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad .	68
Tabla 4-11.	Modos y efectos de fallas	70
Tabla 4-12.	Análisis de Pareto de modos de fallas 2014-2015.....	74
Tabla 4-13.	Criticidad de Fallas y Acciones recomendadas	76
Tabla 4-14.	Sistema de generación 2014.....	80
Tabla 4-15.	Sistema de generación 2015	81
Tabla 4-16.	Valores de confiabilidad actuales y esperados	82
Tabla 4-17.	Tareas de mantenimiento recomendadas para los generadores.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1.	Flujograma para el cálculo de disponibilidad	14
Figura 4-1.	Matriz de jerarquización	48
Figura 4-2.	Categorización de la Criticidad.....	49
Figura 4-3.	Parámetros de evaluación de criticidad de Equipos.....	50
Figura 4-4.	Generador #1 Total horas fallo por sección años 2014-2015	55
Figura 4-5.	Generador #2 Total horas fallo por sección años 2014-2015	58
Figura 4-6.	Generador #3 Total horas fallo por sección años 2014-2015	60
Figura 4-7.	Generador #5 Total horas fallo por sección años 2014-2015	62
Figura 4-8.	Generador #6 Total horas fallo por sección años 2014-2015	63
Figura 4-9.	Generador #7 Total horas fallo por sección años 2014-2015	65
Figura 4-10.	Generador #8 Total horas fallo por sección años 2014-2015	67
Figura 4-11.	Fallas por sistemas de los generadores	69
Figura 4-12.	Diagrama de Pareto años 2014-2015	75
Figura 4-13.	Npr Inicial y Final de criticidad de componentes	79
Figura 4-14.	Sistema de generación año 2014.....	80
Figura 4-15.	Sistema de generación año 2015.....	81

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1	11
Ecuación 2-2	12
Ecuación 2-3	12
Ecuación 2-4	13
Ecuación 2-5	15
Ecuación 2-6	15
Ecuación 2-7	16
Ecuación 2-8	17
Ecuación 2-9	17
Ecuación 2-10	19
Ecuación 2-11	19
Ecuación 2-12	19
Ecuación 2-13	19
Ecuación 2-14	20
Ecuación 2-15	22
Ecuación 2-16	23
Ecuación 2-17	23
Ecuación 2-18	26
Ecuación 2-19	26

TÉRMINOS ABREVIADOS

A	Disponibilidad	MW	Megavatio
BBPD	Barriles de petróleo por día	kV	Kilovoltio
PM	Mantenimiento preventivo.	V	Voltio
RAM	Confiabilidad, disponibilidad, Mantenibilidad	psi	pound-force per square inch
RCM	Mantenimiento centrado en confiabilidad	h	hora
FMECA	Análisis de modo de falla, efecto y criticidad.	RA	Confiabilidad y disponibilidad.
R	Confiabilidad	RS	Fiabilidad del sistema
RM	Confiabilidad y mantenimiento	TTF	Tiempo al fallo
M	Mantenibilidad	TTR	Tiempo para reparar
MI	Elemento mantenible	λ	Tasa de Fallos
MTBF	Tiempo medio entre fallos	γ	(Gamma) factor de desplazamiento
MTTF	Tiempo hasta el fallo	μ	Tasa de reparación
MTTR	Tiempo medio para reparar	β	Parámetro de forma Weibull
MTTM	Tiempo medio para mantener	η	Parámetro de escala Weibull

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Datos de placa de generadores

Anexo B. Registro de fallas diarios

Anexo C. Fallas por año de cada generador

Anexo D. Diagramas de Pareto de cada periodo

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad analizar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la Central de Generación Cononaco 19 del bloque 61, Petroamazonas EP, cantón Orellana provincia de Francisco de Orellana, para determinar especificaciones técnicas y requerimientos de la empresa con la finalidad de desarrollar un sistema de mantenimiento que responda a las necesidades. La metodología utilizada fue la investigación de campo y registros históricos disponibles desde el año 2014 a ocho generadores, cuando se empiezan a registrar las fallas y Mantenimientos Correctivos en el software de gestión de mantenimiento “Máximo para Oil&Gas”, y además de los registros diarios de la bitácora de los operadores de la planta, además de la revisión de datos, reportes diarios de operación, diagramas de proceso, matriz de criticidad, jerarquización de equipos, análisis de modos de falla, métodos estadísticos como la distribución de probabilidad Exponencial. Mediante el análisis Confiabilidad, Disponibilidad y mantenibilidad (RAM) se determinó altos índices de disponibilidad sobre el 99%, índices de mantenibilidad están entre el 69% y el 90% para una jornada de trabajo de 12 horas, la confiabilidad a las 500 horas de los 8 Generadores de marca MTU y Caterpillar esta entre el 53% y el 94%, la confiabilidad del sistema trabajando 6 de los 7 generadores está en un 33% para las 500 horas, con estos resultados se logra predecir un valor de probabilidad de fallo en un tiempo estimado para cada sistema, por lo que se demuestra que la estimación de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad permiten tener un control a la gestión de mantenimiento. Se recomienda la aplicación de este análisis en los equipos existentes en la Central de Generación de Cononaco 19.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO>, <CONFIABILIDAD>, <DISPONIBILIDAD>, <MANTENIBILIDAD>, <JERARQUIZACIÓN DE EQUIPOS>, <CRITICIDAD DE EQUIPOS>. <BLOQUE 61 AUCA>

SUMMARY

This research was aimed to analyze the reliability, maintainability and availability of 19 Cononaco of the Generation Plant of 61 block, Petroamazonas EP, Orellana canton, Francisco of Orellana province, to determine technical specifications and requirements of the company in order to develop a Maintenance System which meets the needs. The methodology used was field research and historical records available since 2014 to eight generators, when faults and corrective maintenance began to be recorded in "Maximum for Oil & Gas" maintenance management software as well as the daily log records of plant operators, review data, the daily operation reports, process diagrams, criticality matrix, prioritization of equipment, failure modes analysis, statistical methods such as Exponential probability distribution. Through reliability, availability and maintainability analysis (RAM), high availability rates over 99%, maintainability rates are between 69% and 90% for a 12-hour working day, the reliability at 500 hours of 8 MTU and Caterpillar brand generators is between 53% and 94%, system reliability working 6 of the 7 generators is 33% for 500 hours were determined. With these results is achieved predicting a value of failure probability in an estimated time for each system, so it is shown that the reliability, maintainability and availability allow to have a control to the maintenance management. It is recommended to apply this analysis on existing equipment in the 19 Cononaco of the Generation Plant.

KEYWORDS: ENGINEERING SCIENCE AND TECHNOLOGY, MAINTENANCE ENGINEERING, RELIABILITY, AVAILABILITY, MAINTAINABILITY, PRIORITIZATION OF EQUIPMENT, CRITICALITY OF THE EQUIPMENT, AUCA 61 BLOCK.

CAPÍTULO I

1. EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad, son conceptos importantes dentro de los departamentos de mantenimiento de empresas petroleras de clase mundial, en nuestro país Petroamazonas Ecuador S.A., que es una empresa pública dedicada a la exploración y producción de hidrocarburos. Opera 20 bloques, 17 ubicados en la Cuenca Oriente del Ecuador y 3 en la zona del Litoral. Se interesa no solamente en la integridad de los equipos para garantizar su operación, sino también en la seguridad y el medio ambiente.

La operación de Petroamazonas EP es tan importante para la economía del país que es fundamental contar con una herramienta que permita cuantificar el riesgo de los equipos críticos; y, poder minimizar el riesgo de la operación, medir los impactos que tiene la falla de un equipo en lo relacionado a la seguridad, salud y medio ambiente; para alcanzar esta meta, es el análisis RAM que estudia tres parámetros esenciales para el desempeño de un proceso como es; la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad de los distintos equipos que forman parte de un sistema, con el fin de optimizar el rendimiento del mismo, minimizar la pérdida de producción debida a fallos y requerimientos de mantenimiento e inspección, e identificar los equipos más críticos para el funcionamiento óptimo del proceso. Para la presente investigación es necesario conocer las operaciones de Petroamazonas EP, por lo que se describe aspectos principales de su funcionamiento. Cabe indicar que varios puntos de la operación de Petroamazonas EP cuentan con certificaciones que avalan sus buenas prácticas y procedimientos del más alto estándar, marcando una metodología de trabajo amigable con el ecosistema, responsable con las comunidades y vinculada estrechamente con el desarrollo del país. Entre los 20 bloques

ubicados en la zona oriental de Petroamazonas, se encuentra el bloque 61 (Campo Auca), localizado en la parroquia Dayuma, cantón Francisco de Orellana, provincia de Francisco de Orellana, el cual actualmente produce aproximadamente, (74030) barriles por día (Bbbls/día) de petróleo, (61871) Bbbls/día de agua. (Petroamazonas, 2015)

Dicha producción se logra mediante una combinación de sistemas de levantamiento natural y artificial, de acuerdo a los requerimientos de cada pozo. El fluido extraído es una mezcla de crudo, gas y agua, el cual mediante procesos de separación trifásicos es separado para la obtención del producto final, el petróleo. Este petróleo es bombeado, a través del oleoducto, mientras que sus efluentes son tratados en la central de facilidades de producción de los diferentes Campos (Auca, Yuca, Cononaco). El agua de formación es reinyectada nuevamente al subsuelo, mientras que el gas es incinerado.

En el Campo Cononaco que produce aproximadamente 7500 Bbbls diarios de crudo, y reinyectando al subsuelo 3350 Bbbls. de agua de formación mediante 2 pozos de reinyección de agua. Con un total de pozos 47 y el consumo de carga de las bombas horizontales de casi los 880 kW por las dos bombas. En la estación de generación Cononaco 19 Bloque 61, se tienen 4 generadores de marca MTU cada generador tiene potencia nominal de 1.248 MW, 4 generadores de marca CATERPILLAR cada generador con potencia nominal de 1.230 MW, el total 8 generadores, ésta central tiene una demanda de 3.4 MW aproximadamente y se dispone de 8 unidades motor generador de diferentes capacidades (Ver Anexo A).

Cada una de las unidades dispone de tres modos de operación droop (decremento de la velocidad cuando la carga aumenta), carga base e isócrona repartición de carga. La central de generación Cononaco 19 provee la energía necesaria para mantener la operación en el campo Cononaco, en el cual producen 7500 Bbbls. de crudo por día, en sus 47 pozos de Producción y reinyectando al subsuelo 3350 Bbbls. de agua de formación mediante 2 pozos de Reinyección de agua. Desde enero del 2013, el sistema de generación de la central Cononaco 19, ha presentado un total de setenta y cuatro (74) fallas, en los 8 generadores que contempla, atribuidos a fallas por generación, sistema de distribución, eléctricas y mecánicas. En este contexto, la presente investigación, busca medir la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la Central de Generación Cononaco 19, fundamentada en modelos matemáticos estadísticos y establecer estrategias de mantenimiento que permita su optimización.

Para poder cuantificar el riesgo y costo de cada uno de los equipos es importante determinar qué tan críticos son éstos y que impactos pueden causar a la persona, medio ambiente y a la producción con las fallas ya identificadas, esto se lo puede realizar por medio del análisis RAM de la central de generación de Cononaco 19 del bloque 61, Petroamazonas EP con este estudio cuantitativo, se pretende delinear planes más puntuales, minimizar al máximo el riesgo a los trabajadores, medio ambiente y a los equipos en sí, generar una herramienta para justificar el menor riesgo de la planta para poder mejorar la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad optimizando así la productividad operativa.

1.1.1. Formulación del problema

¿La confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, permitirá mejorar la capacidad de la Central de Generación Cononaco 19 debido a la optimización de la gestión de mantenimiento?

1.1.2. Sistematización del problema

¿La confiabilidad del equipo, incentiva la implantación de estrategias de mantenimiento que faciliten el logro de la optimización industrial en base a los tiempos operativos?

¿Los tiempos de reparación de un equipo determinan la mantenibilidad y conservación del mismo?

¿La disponibilidad del equipo, se determina en base de los tiempos de operación y los tiempos de reparación?

¿La probabilidad de que un equipo esté disponible para su uso durante un período de tiempo dado define la disponibilidad del sistema?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Analizar la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de la Central de Generación Cononaco 19 del bloque 61, Petroamazonas EP, cantón Orellana provincia de Francisco de Orellana, para determinar especificaciones técnicas y requerimientos de la empresa con la finalidad de desarrollar un sistema de mantenimiento que responda a las necesidades.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Determinar los índices de confiabilidad el sistema en base a los tiempos operativos registrados en el historial de mantenimiento.
2. Establecer los índices de mantenibilidad del sistema en base a los tiempos de reparación registrados en el historial de mantenimiento.
3. Definir los índices de disponibilidad del sistema en base al tiempo medio entre fallas y el tiempo medio entre reparaciones.
4. Elaborar un plan de mantenimiento preventivo acorde a la Central de Generación

1.3 Justificación

Las operaciones hidrocarburíferas de Petroamazonas EP., necesitan de una herramienta cuantitativa para determinar el riesgo que existe en una operación y como pueden estos afectar sobre todo a la seguridad, salud, medio ambiente y a la productividad. Con el análisis RAM que se propone se puede determinar la disponibilidad total que incluye el número de horas durante las que se espera que el proceso o sistema funcionará correctamente, además; se identificó la jerarquización de los equipos o sistemas críticos: permitiendo conocer la proporción con la cual los equipos o sistemas estudiados afectan la disponibilidad de la instalación. De esta manera, se puede saber qué equipo o sistema de la central de Generación Cononaco 19 del bloque 61, es más importante al momento de estudiar la disponibilidad, y se puede optimizar la estrategia de mantenimiento para los distintos equipos o sistemas. La información de confiabilidad se utilizó para definir

una estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad de los equipos, que permite maximizar el tiempo de uso entre fallos de los equipos.

Debido a la alta criticidad que representa la central de Generación Cononaco 19 del bloque 61, el número de fallas recurrentes tanto eléctricas, mecánicas y generación, así como los altos costos de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo, es necesario establecer una correcta gestión de mantenimiento a fin de garantizar una adecuada disponibilidad operacional del sistema debido a que estas están ligadas a la producción del Campo Cononaco. Durante los últimos años, se ha realizado una serie de técnicas preventivas y predictivas como ultrasonido, termografía, y análisis de vibraciones, con el fin de garantizar la mejor disponibilidad de los grupos electrógenos de la central de generación, en algunos se ha mejorado las condiciones de trabajo de los equipos y en otros no se ha logrado el objetivo deseado. Pese a las técnicas aplicadas, la central de generación sigue teniendo fallas recurrentes de distinta índole.

La presente investigación da a conocer el estado actual de la Central de Generación Cononaco 19 bloque 61, en base a un análisis de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (RAM), así se podrá determinar parámetros reales de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema.

El beneficio es obtener un listado de equipos críticos de manera cuantitativa, con el objetivo de priorizar recursos y que permita obtener planes de acción eficientes para minimizar al máximo los riesgos asociados a fallos potenciales de los equipos en cuestión.

Los resultados del análisis permiten mejorar la gestión de mantenimiento, contribuyendo a la optimización de recursos necesarios para el sistema. De igual manera, el estudio corrobora la etapa de vida operativa del sistema, a fin de establecer adecuadas estrategias de mantenimiento a aplicarse.

El aporte científico se evidencia mediante el establecimiento de un modelo matemático estadístico del análisis RAM, para el sistema en estudio y la predicción de su comportamiento a lo largo de su vida operativa.

1.4 Hipótesis

La estimación de la Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad de Central de Generación Cononaco 19, permite plantear mejoras en la gestión de mantenimiento.

1.5 Diseño de investigación

La presente investigación se enmarca en un enfoque cuantitativo; con un estudio exploratorio, descriptivo, explicativo y diseño experimental dentro de un tipo de investigación básica, debido a que no se ha realizado un estudio específico sobre el sistema en cuanto a sus parámetros de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, solo se han corregido las fallas a medida que han aparecido.

Se considera también como un estudio descriptivo puesto que su primera etapa de la investigación consistirá en describir el contexto operacional de la Central de Generación Cononaco 19 del bloque 61, Petroamazonas EP., observando detenidamente su funcionamiento y componentes donde el investigador recaba datos sin introducir tratamientos o trato alguno. Se estudian los fenómenos en el sistema tal y como ocurren para luego ser analizados, y se espera que los resultados arrojados por la investigación, sirvan como base para la generación de nueva hipótesis.

Según el método de investigación, el estudio se enmarca dentro del método de análisis, que es un proceso del conocimiento que inicia por la identificación de cada una de las partes que caracterizan una realidad. De esa manera se establece la relación causa-efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación. Posteriormente, se realizará una revisión e investigación de los conceptos de RAM, confiabilidad, disponibilidad y

mantenibilidad y a continuación, se desarrollará el cálculo y análisis RAM de la Central de Generación Cononaco 19 del bloque 61, Petroamazonas EP.

Según las fuentes, se clasifica como investigación con fuentes primarias y secundarias, por lo que es necesario la consulta de documentación bibliográfica como: libros, archivos, reportes, informes, artículos, oficios, memos, base de datos de la empresa, bases de datos genéricas, etc. Además, es necesaria la realización de entrevistas y la observación de parámetros, propiedades y datos en general del caso estudiado. La técnica utilizada para esta investigación es la observación directa, pues con ella se puede obtener información intencionada y selectiva, para un fenómeno determinado. Además, se recurre a entrevistas, debido a que es necesario recolectar y documentar experiencias de los operadores y personal de mantenimiento que interactúan directamente con el sistema, con el fin de completar y validar la información documental. Finalmente, se elaboró unas recomendaciones de acuerdo al resultado del análisis RAM junto con acciones correctivas para la mejora de la Gestión del Mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Marco teórico

A continuación, se muestran una serie de trabajos especiales de grado, postgrado y publicaciones, que sirvieron de guía para el presente trabajo de investigación.

Según Agüero M. (2014) en su artículo científico “*Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de Sistemas*”, define la confiabilidad como un proceso que persigue la mejora continua de sistemas y/o procesos, que incorpora en forma sistemática herramientas para el manejo probabilístico de la información, así como también avanzadas herramientas de diagnóstico; metodologías basadas en confiabilidad y el uso de nuevas tecnologías, en la búsqueda de optimizar el costo del ciclo de vida de los activos (Aguero, 2014). El estudio de confiabilidad se puede basar en un modelo de simulación teniendo en cuenta las particularidades de los equipos, los mantenimientos correctivos, las fallas y paradas ocurridas y el mantenimiento planificado. Entre los elementos a tener en cuenta para el análisis se encuentran el Tiempo Promedio Para Fallar (TPPF) y los Tiempos Promedio Para Reparar (TPPR), para aquellos equipos que integran el sistema de producción. El enfoque de Confiabilidad Integral tiene como objetivo general desarrollar estrategia que garanticen niveles de riesgo adecuados y ofrezca confiabilidad en los procesos de producción. Esta estrategia debe permitir: identificar acciones concretas para minimizar su ocurrencia, predecir la ocurrencia de eventos no deseados y los escenarios de producción factibles, modelando las incertidumbres asociadas a las variables técnicas y a los procesos de deterioro que rigen su proceso particular de producción y explorar las implicaciones económicas de cada escenario posible y diseñar planes y estrategias para optimizar el ciclo de vida de los activos.

Además, el propio autor plantea que con la ayuda del análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CDM o RAM por sus siglas en inglés) se puede pronosticar en un lapso determinado de tiempo la disponibilidad y el factor de producción diferida de un proceso de producción, basado en la configuración del sistema de producción, la confiabilidad de sus componentes y en la filosofía de operación y mantenimiento (Aguero, 2014).

Por tanto, se puede plantear que esta herramienta permite realizar pronósticos de la capacidad de un sistema o componente para funcionar bajo las condiciones establecidas por un período determinado de tiempo. La fiabilidad también puede describir la capacidad de funcionar en un momento determinado o intervalo de tiempo (disponibilidad).

Según Arreaza, A. (2008) en su obra "*Estudio de factibilidad para la instalación de generación distribuida en la electricidad de caracas. Venezuela*", en su proyecto de investigación manifiesta que el uso integrado o individual de generadores de potencia de pequeña escala, ubicados cerca de los centros de consumo; pueden conectarse directamente a las redes de distribución, o situarse en lugares aislados que se encuentren fuera del alcance de las mismas. La potencia de estos grupos de generación no debe superar los 20 MVA, aunque no hay un rango específico definido y además que la Generación Distribuida (GD) constituye una valiosa alternativa para las fuentes de energía eléctrica tradicionales utilizadas a nivel residencial, comercial e industrial es por esto que la tecnología moderna sugiere que estos pequeños generadores pueden ser suficientemente eficientes, confiables y de fácil operación para competir con el sistema de potencia tradicional (Arreaza, 2016).

En la actualidad las principales tecnologías utilizadas en esquemas de Generación Distribuida son los aerogeneradores, estaciones mini-hidroeléctricas, biomasa, celdas fotovoltaicas, motores de combustión interna, microturbinas y celdas de combustible.

El propio autor realiza un estudio con el propósito de analizar las mejoras al poseer un sistema de generación distribuida, en el cual demuestra la optimización de los recursos, y analiza las diferentes alternativas que permiten el suministro de energía a la Ciudad de

Caracas. La metodología que emplea el autor para analizar dichas alternativas, es el análisis de CDM, basándose en un estudio probabilístico de los TPPF y TPPR.

El autor Morales, L. (2011) en su obra “*Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de compresión de gas de levantamiento de PDVSA, Petroregional de Lago SA. Maracaibo*” realiza este tipo de análisis para disminuir la producción diferida y aumentar la confiabilidad y la disponibilidad del sistema.

Este trabajo tuvo como propósito “el análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de compresión de gas de levantamiento de PDVSA Petroregional del Lago S. A.,” (Morales & Lopez, 2016). En dicha investigación se efectuó una simulación de los escenarios futuros con valores bajos de mantenibilidad y altos valores de confiabilidad, obteniéndose los valores de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, del sistema (Morales & Lopez, 2016).

Otro de los referentes tomados en cuenta, es el estudio realizado por Caña, A. (2006) con el título “*Análisis RAM de la planta de inyección de agua Resor de petróleos de Venezuela S.A.*” (Caña, 2016), con la finalidad de incrementar la capacidad de inyección en esta planta y cumplir los requerimientos actuales y futuros de inyección de agua. En tal sentido, el propio autor recomienda la instalación de un tren adicional de bombas, lo que le permite satisfacer el requerimiento de reinyección de agua y la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema, cumpliendo con ello los objetivos trazados en la investigación.

Kristjanpoller, F., Arata Andreani, A., Gonzalez Dias, V., & Crespo Marquez, A. (2010), analizan la fiabilidad, el comportamiento de aquellos procesos de triturado y molienda de mineral que se llevan a cabo en una mina de cobre ubicada en el norte de Chile. (Kristjanpoller, Arata, Gonzalez, & Crespo, 2016). En la investigación se identifican los equipos críticos y se analiza la efectividad global de los procesos existentes en la mina de cobre y se proponen futuras mejoras, así como otras aplicaciones en términos de gestión del mantenimiento y garantía de grandes plantas industriales.

2.2 Marco conceptual

2.2.1. *Fiabilidad*

La fiabilidad es la capacidad de un elemento de desarrollar una función requerida bajo unas condiciones dadas durante un intervalo de tiempo determinado. (AENOR, 2002).

Por tanto, es necesario para su estudio el uso de la probabilidad, la estadística y de las matemáticas en general, basándose en la observación de los tiempos de fallo de los productos (tiempos de vida) tomados como patrón.

Antes de estudiar los tiempos de vida conviene distinguir entre productos reparables y no reparables:

Productos no reparables: solamente pueden tener un fallo, como por ejemplo las bombillas de luz, motores a propulsión, transistores, entre otros. (Nogales, 2008)

Productos reparables: pueden tener más de un fallo con la ayuda de reparaciones realizadas como por ejemplo automóviles, lavadoras, etc. En tal caso es de gran importancia tener en cuenta la disponibilidad de tiempo del producto reparado.

En Estadística, habitualmente, se usa la función de densidad y la función de distribución para modelar una población de interés (Nogales, 2008). En el análisis de la variable fiabilidad, la tasa de fallos y la tasa de fallos acumulada, complementan las funciones mencionadas anteriormente.

2.2.1.1. *Funciones usadas en fiabilidad*

Sea T , que denota el tiempo de duración de un producto hasta que se produce un fallo. Suponiendo que dicha variable es continua, $f(t)$ denotará su función de densidad y su función de distribución será: SOLÉ, (2005, pág.76)

Ecuación 2-1

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t)dt.$$

La Función de Fiabilidad o Supervivencia se define como:

Ecuación 2-2

$$R(t) = P(t \geq t) = \int_t^{\infty} f(t)dt = 1 - F(t)$$

Denota la probabilidad de que un componente funcione más allá de un instante t (es la definición formal de fiabilidad).

La tasa de fallos se define como:

Ecuación 2-3

$$h(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t \leq T < t + \Delta t | T \geq t)}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)}$$

Denota la probabilidad de fallo instantánea dado que el componente funciona en el momento actual t.

La tasa de fallos es de especial interés en fiabilidad. A través de la observación de la tasa de fallos se puede aprender acerca de las causas del fallo y sobre la fiabilidad del producto. (Nogales, 2008)

El comportamiento del patrón de fallos puede presentar tres formas básicas:

Tasa de fallos creciente (IFR),

Tasa de fallos decreciente (DFR),

Tasa de fallos constante (CFR).

2.2.2. Disponibilidad

Para la toma de decisiones referentes a la adquisición de nuevos equipos, es preciso analizar toda información que los caracterice, como por ejemplo la disponibilidad, que es una medida que analiza el perfil de funcionalidad.

La disponibilidad es la capacidad de un elemento de encontrarse en un estado para desarrollar una función requerida bajo unas condiciones determinadas en un instante dado o bien durante un intervalo de tiempo determinado, asumiendo que se proveen los recursos externos (Knezevic Jezdimic, 1996).

La disponibilidad se relaciona con la confiabilidad de los elementos que la componen y con su mantenibilidad, puesto que la confiabilidad puede ser definida desde el punto de vista de generación de energía como la probabilidad de que el sistema opere en conformidad con un desempeño específico, por un periodo de tiempo previamente especificado.

El desempeño específico se puede definir como la capacidad “firme” para producir la energía contratada por el operador del sistema o por los clientes libres (Knezevic Jezdimic, 1996).

De esta forma se define el tiempo t , como una variable aleatoria y su función de probabilidad acumulada se puede expresar como muestra la ecuación. (2-4).

Ecuación 2-4

$$F(t) = P\{T < t\}$$

2.2.2.1. Método para el cálculo de disponibilidad

Para el cálculo de disponibilidad se propone el método propuesto por Guevara (2007) que se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 2-1, iniciándose con los registros de operación.

Los registros de operación se acumulan cronológicamente y podrán ser más complejos en dependencia de los instrumentos que disponen. La complejidad del sistema de control posibilitará la identificación de la ocurrencia de fallas de diferentes sistemas con mayor facilidad.

- La primera etapa consiste en identificar de acuerdo con el sistema en análisis, los tiempos de operación hasta las fallas y el tiempo requerido para la reparación producto de la falla (Guevara Carazas F.J., 2007).

Se deben seleccionar cuidadosamente los tiempos en esta etapa puesto que, en la operación de sistemas complejos, la pérdida de desempeño, las plantas de generación de energía eléctrica, o estado de falla puede ser provocada por otro componente.

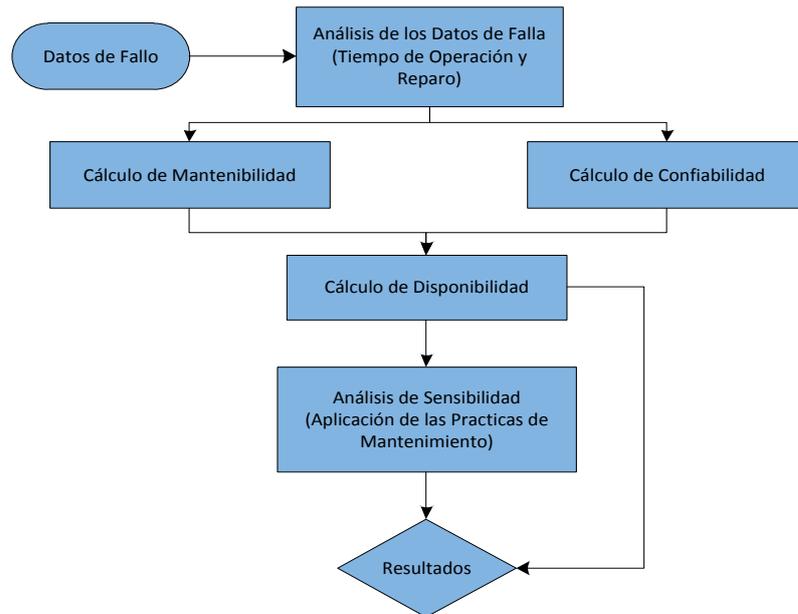


Figura 2-1. Flujograma para el cálculo de disponibilidad

Fuente: Guevara Carazas F.J., K. N, 2007

- La segunda etapa supone tanto el cálculo de la mantenibilidad como de la confiabilidad del sistema. En sistemas de generación de energía eléctrica que son sistemas con capacidad de ser reparados, la mantenibilidad es modelada por una distribución logarítmica normal, debido a que los tiempos de reparación dependen de diferentes factores, como las destrezas adquiridas a lo largo de la operación por los encargados de mantenimiento (tiempos cortos), o de la disponibilidad de piezas de reposición (tiempos largos), lo cual torna estos tiempos altamente variables a lo largo de su operación (Guevara Carazas F.J., 2007).

Es por ello que la mantenibilidad se determina a partir la expresión 2-5.

Ecuación 2-5

$$M(t) = \phi \left[\frac{\ln t - \mu}{\sigma} \right]$$

• Posteriormente en la siguiente etapa se determina la disponibilidad operacional del sistema, la cual depende por la relación entre la media de los tiempos medios entre fallas y el ciclo de operación del sistema destacando que, como el tiempo medio de reparación posee variación en el tiempo por lo que se distribuye a partir de una distribución exponencial.

La ecuación 2-6 muestra la expresión de cálculo de la disponibilidad operacional, la cual depende del tiempo real y del ciclo de operación.

Ecuación 2-6

$$A_o = \frac{\text{Tiempo - real - de - Operación}}{\text{Ciclo - de - Operación}}$$

• La etapa sugerida como análisis de sensibilidad no es obligatoria y se refiere a la repetición del procedimiento, con ayuda de programas computacionales que permitirán aumentar el volumen de repeticiones para ajustar los datos de forma más adecuada (simulación). (Guevara Carazas F.J., 2007)

El tiempo correspondiente al mantenimiento, con la implementación del RCM, se debe reducir y pueden simularse hasta obtener valores adecuados, para con ello reprogramar las actividades de mantenimiento.

• Por último, los resultados de los cálculos son presentados como indicadores de desempeño operacional, que pueden ser utilizados como respaldo para la negociación de contratos de comercialización de energía eléctrica “firme” del sistema (Guevara Carazas F.J., 2007).

Teniendo en cuenta la habilidad de representar el comportamiento operacional de un sistema de generación de energía eléctrica, éstos permitirán la comparación entre sistema de generación de igual naturaleza.

Según Ebeling C.E, (1997), la disponibilidad es la probabilidad de que un sistema o componente ejecute una función requerida en un instante de tiempo o sobre un periodo de tiempo específico cuando son operados y mantenidos de una manera preestablecida (Ebeling C.E, 1997).

En tal sentido la disponibilidad es la razón entre el tiempo medio entre fallas y el sumando de este con el tiempo promedio para reparar, como se puede apreciar en la fórmula 2-7:

Ecuación 2-7

$$A = \text{TPEF}/(\text{TPEF}+\text{TPPR})$$

Donde,

A= Disponibilidad

TPEF= Tiempo medio entre fallas

TPPR= Tiempo promedio para reparar

2.2.3. *Mantenibilidad*

La mantenibilidad es la capacidad de un elemento bajo unas condiciones de uso dadas para mantenerse en, o ser devuelto a un estado en el cual pueda desarrollar una función requerida, cuando el mantenimiento se ejecuta bajo condiciones determinadas y utilizando procedimientos y recursos preestablecidos. (UNE-EN 13306, 2002)

En tal sentido se puede plantear que la mantenibilidad de un equipo representa la probabilidad en un tiempo dado, de que un equipo sea devuelto a un estado en el que pueda cumplir el objetivo por el que fue creado. Cuando ocurre una falla, se realiza el mantenimiento en un período de tiempo determinado, con el personal especificado que posee las habilidades necesarias, al nivel deseado de confianza, con el equipo indicado y bajo las condiciones ambientales específicas.

La ingeniería de mantenibilidad es una disciplina científica que estudia los factores y los recursos relacionados con las actividades a desarrollar para lograr la mantenibilidad de un equipo, para lo cual aplica métodos que permiten su cuantificación, evaluación y mejora continua.

2.2.3.1. Medidas de mantenibilidad

La función de mantenibilidad indica la probabilidad de que la funcionalidad del equipo sea recuperada en el momento especificado de mantenimiento, o antes (tiempo t empleado) (Navarro Luis, 1997).

Es por ello que la mantenibilidad solamente depende de la funcionalidad del equipo en el tiempo, como se puede apreciar en la ecuación 2-8:

Ecuación 2-8

$$M(t) = \int_0^t m(t)dt$$

2.2.3.2. Tiempo medio de recuperación, MTTR:

El tiempo medio de recuperación es la esperanza de la variable aleatoria TTR, que representa el área bajo la función complementaria de la mantenibilidad (Knezevic, 2006).

En tal sentido se muestra la expresión de cálculo 2-9, el tiempo medio de recuperación de determina a partir de la función de mantenibilidad.

Ecuación 2-9

$$E(TTR) = MTTR = \int_0^{\infty} [1 - M(t)]dt$$

2.2.4. Confiabilidad

Según el nstitute American National Standards (2007), una planta de generación de energía eléctrica es un sistema complejo, compuesto por diferentes procesos, los cuales necesitan operar de forma sincronizada y normalmente a altos niveles de desempeño, (Institute American National Standards, 2007).

Es preciso que, para garantizar un desempeño de operación elevado, se realice una selección de las actividades de mantenimiento de forma adecuada. Es por ello, que la RCM brinda una metodología bien estructurada con el propósito de establecer las

funciones de los componentes de los diferentes sistemas, los modos de falla y las consecuencias sobre los subsistemas y sobre la planta de producción.

Los componentes críticos son aquellos elementos que al presentar una falla provoca la parada de todo el sistema productivo. Teniendo en cuenta esto y la factibilidad económica y técnica de la empresa se establecen las actividades de mantenimiento específicas para estos elementos críticos. El RCM se basa en una metodología para el análisis de las funciones principales de un sistema, identificándose la forma en que pueden fallar, para así planificar tareas de mantenimiento eficientes en función de la economía de la empresa.

Para la aplicación del RCM en una planta termoeléctrica a ciclo combinado se pueden plantear varias etapas que se componen por las actividades siguientes:

- **Análisis del Sistema:** En esta actividad se define de forma clara los sistemas, equipos y componentes que forman parte del estudio, así como también se obtiene de las actividades de mantenimiento, datos de placa, registros de intervenciones de mantenimiento correctivo, preventivo, piezas cambiadas, etc. (Instituto de Investigación de Generación de Energía,, 2008)

En esta etapa se realiza un análisis del sistema obteniéndose la información necesaria para la aplicación del RCM.

- **Descripción Funcional y Elaboración del Árbol Funcional:** En esta actividad se establecen las funciones de los elementos en análisis y se elabora un árbol funcional, también llamado diagrama funcional de elementos o diagrama funcional de bloques. (Guevara F.J, 2006).

En esta etapa se puede plantear por tanto que es posible establecer las funciones de los elementos de análisis a través de varias herramientas como el diagrama funcional de bloques o a través de un árbol funcional.

2.2.4.1. Medidas de confiabilidad

La función de confiabilidad representa la probabilidad de que un elemento no falle ni antes de t , ni siquiera en el instante t . Por tanto, según García (2006), la expresión de cálculo que plantea para esta función es la siguiente:

Ecuación 2-10

$$R(t) = Pr\{\tau \geq t\}$$

La función de distribución de fallas acumuladas constituye la probabilidad de que un elemento no falle en el instante t o antes de t como plantea el autor García (1996) que se muestra en la ecuación 2-11.

Ecuación 2-11

$$F(t) = 1 - R(t) = Pr\{\tau \leq t\}$$

La función de densidad de probabilidad de fallas representa la probabilidad de fallo de un elemento por unidad de tiempo, en cada instante t , siendo el cociente entre la probabilidad de que un elemento falle en el intervalo $(t, t+dt)$ y dt (García Luís, 2006, pág. 189). En la ecuación 2-12 se muestra la expresión de cálculo de esta función de densidad de fallos, dada por la derivada de la Función acumulada de fallos.

Ecuación 2-12

$$f(t) = \frac{d F(t)}{dt} = - \frac{d R(t)}{dt}$$

La función de tasa de falla representa la probabilidad de que un elemento que funcione en buenas condiciones en el instante t deje de funcionar en el intervalo $(t, t+dt)$ (García, 2006, p.189). Esta función de tasa de fallo se puede determinar a través de la expresión 2-13.

Ecuación 2-13

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)}$$

La función de tasa de falla por su característica, se conoce como curva de la bañera, la cual expresa los tres períodos típicos por los que recorre un equipo: la mortalidad infantil, la vida útil y el desgaste, como se muestra en la figura 2-1.

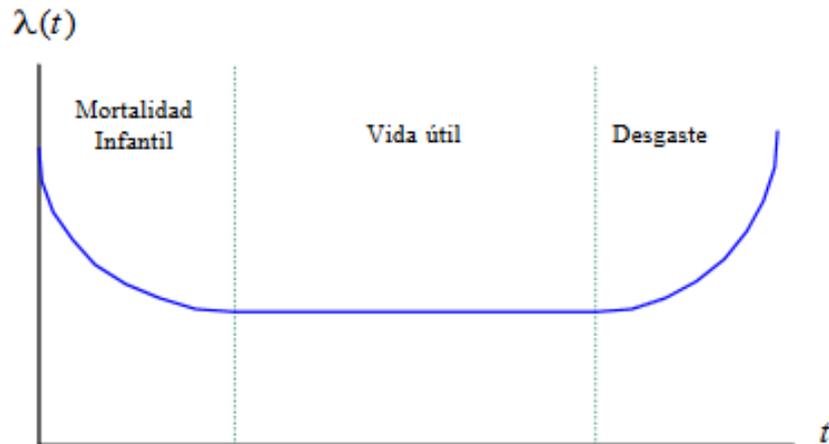


Figura 2-1. Curva de la Bañera

Fuente: (Antonio, 1991, pág. 15)

El tiempo medio entre fallas (MTBF) representa la vida media del elemento y constituye la esperanza matemática del tiempo de funcionamiento hasta el fallo de un elemento (Melo, Lara-Hernández, & Jacobo-Gordillo, 2016).

En tal sentido se puede plantear que el MTBF depende del tiempo de funcionamiento, por lo que se determina según la expresión de cálculo 2-14.

Ecuación 2-14

$$E(TBF) = MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt$$

2.2.4.2. Confiabilidad sistemas y componentes.

Si se desea conocer la confiabilidad de los equipos es de gran importancia la confiabilidad de un sistema y sus componentes. Los indicadores de confiabilidad arrojan como resultados datos que permiten determinar la distribución de fallo.

Uno de los factores a considerar para predecir la confiabilidad de componentes es la tasa de fallo, nivel operativo del equipo, número de ciclos conectados, desconectados, número de horas de funcionamiento, naturaleza y distribución del fallo (PDVSA, 1998, pág. 112). Estos aspectos inciden directamente en la predicción de la confiabilidad de los equipos,

sin embargo, existen otros que se deben tener en cuenta como la naturaleza y frecuencia del mantenimiento, el tipo y grado de redundancia, así como los modos de fallos de los componentes en los sistemas.

Existen diferentes procedimientos para obtener una predicción del sistema y componentes, como modelos matemáticos, técnicas de simulación y determinación de valores límites. La tecnología de monitoreo por condiciones realiza un análisis lógico que relaciona los fallos de los componentes con los fallos del sistema. Se utilizan modelos de un conjunto de bloques en el que cada bloque representa un componente o combinación de componentes que realiza una función, cada bloque solo tiene posibles estados mutuamente excluyentes. (Smith David, 2001, pág. 76)

La función de cualquier bloque es necesaria para el buen funcionamiento del sistema, sin embargo, el fallo de uno de ellos no representa el fallo del sistema. Para disminuir la probabilidad de fallo de un sistema y la de los bloques se dispone de estrategias gracias a la tecnología.

El Tiempo Promedio entre Fallos (TMEF) o Mean Time Between Failures (MTBF) por sus siglas en inglés, es el tiempo medio transcurrido hasta la llegada del evento “fallo” (Díaz Ángel, 2012, pág. 110). Es decir, es el intervalo de tiempo más probable desde que se prende el equipo hasta la aparición de un fallo. A medida que aumente su valor, mayor será la confiabilidad del equipo.

El MTBF constituye uno de los parámetros más importantes que se emplean en un estudio de confiabilidad, por lo que se debe tomar como un indicador que caracterice el comportamiento de un equipo específicamente, empleando para su cálculo, los datos históricos guardados en los sistemas de información.

El análisis de fallos es el paso más importante en la determinación de un programa de mantenimiento óptimo y éste depende del conocimiento del índice de fallos de un equipo en cualquier momento de su vida útil. (Valdes José, 2008, pág. 89)

El comportamiento de los equipos en operación es necesario conocerlo con el propósito de:

- Diseñar o establecer políticas más empleadas en el mantenimiento.

- Optimizar y planificar la necesidad de recursos humanos y materiales que se emplearán en el mantenimiento.
- Determinar momentos óptimos para la sustitución equipos o componentes en cuanto a las pérdidas que pueden ocasionar desde el punto de vista económico para la empresa.
- Establecer para el mantenimiento preventivo frecuencias de ejecución óptimas.

Debido a que la Central de Generación se encuentra en la etapa de vida útil, se puede considerar constante la tasa de fallos para un análisis inicial, es así que las obtenciones de los índices RAM se basan en una Distribución Exponencial.

2.2.5. Principales distribuciones estadísticas

A continuación, se presenta un resumen de las distribuciones estadísticas más utilizadas en confiabilidad:

Distribución normal

Se emplea cuando se describe fenómenos de envejecimiento de equipos y fenómenos naturales cuando los componentes son afectados desde un comienzo por el desgaste. (Díaz Ángel, 2012, pág. 20)

En el mantenimiento, la distribución normal se aplica a las tareas de mantenimiento relativamente sencillas y acciones de reparación (por ejemplo, eliminación simple y tareas de reemplazo) que requieren constantemente una cantidad fija de tiempo para completar tiempos de trabajo de mantenimiento de esta naturaleza por lo general se distribuyen normalmente, la producción de una función de densidad de probabilidad dada por la ecuación 2-15 que se muestra a continuación:

Ecuación 2-15

$$R(t) = \int_t^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt$$

Distribución exponencial:

Se utiliza cuando las reparaciones constituyen un intercambio de piezas estándar, las fallas son aleatorias y no dependen del tiempo que lleve el funcionando, para modelar

componentes electrónicos, cuando el componente usado que aún no ha fallado, es estadísticamente tan bueno como un componente nuevo y cuando describe situaciones de función de tasa de falla constante (Rojas, 2006, p.46)

En el análisis de mantenimiento, la distribución exponencial se aplica a las tareas de mantenimiento y acciones de mantenimiento cuyos tiempos de terminación son independientes de la experiencia de mantenimiento anterior (por ejemplo, los métodos de sustitución de aislamiento de fallos donde varias alternativas igualmente probables están disponibles y cada alternativa se ejerce, de uno en uno, hasta la que causó se aísla el fallo), la producción de una función de densidad de probabilidad dada por la expresión 2-16 que se muestra a continuación:

Ecuación 2-16

$$R(t) = \exp(-\lambda \cdot t)$$

Distribución de Weibull:

Es la única función de probabilidad que puede utilizarse para representar cualquier tipo de distribución, representar la vida de los componentes y la vida de servicio de tubos y equipos electrónicos. (Kelly A. y Harris M, 2008)

La distribución de Weibull se puede emplear para modelar una amplia gama de aplicaciones en la ingeniería, el control de calidad, las investigaciones médicas, las finanzas y climatología. Esta distribución se emplea en análisis de fiabilidad para modelar los datos de tiempos de fallos, y obtener probabilidad de fallo de un componente luego de uno, dos o más años de utilización. En la ecuación 2-17 se muestra la expresión de cálculo de esta distribución

Ecuación 2-17

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t - \gamma}{n} \right)^\beta \right]$$

“La distribución de Weibull se describe según los parámetros de forma, escala y valor umbral” (Minitab 17, 2016). Cuando el parámetro de valor umbral es cero se conoce como

la distribución de Weibull de 2 parámetros como se muestra en la figura 2-2. En dependencia de los valores de los parámetros de la distribución de Weibull adopta varias formas.

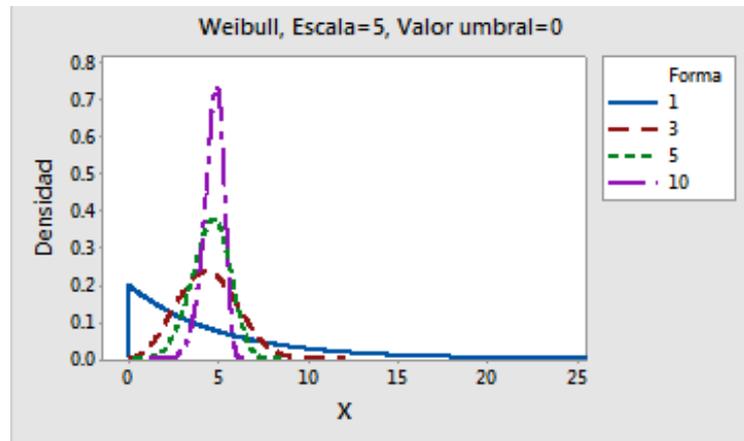


Figura 2-2. Distribución Weibull

Fuente: (Minitab 17, 2016)

Debido a que la distribución de Weibull puede asumir las características de otros tipos de distribución, es extremadamente flexible para ajustar diferentes tipos de datos.

2.2.6. *Modo de fallo*

Un modo de falla es una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar. Cuando un sistema tiene muchas maneras posibles de fallar, tiene múltiples modos de falla o riesgos que compiten. Mientras más complejo es un sistema, más modos de falla presentará.

Entender los modos de falla es muy importante para mejorar la fiabilidad del producto. En los sistemas de alarma de incendio para residencias, las baterías descargadas o faltantes es el modo de falla más común. Las alarmas de fuego cableadas han reducido el problema de baterías descargadas o faltantes. (SOLÉ, 2005, pág. 56)

El análisis de modos de falla y efectos (FMEA) es la metodología utilizada para analizar las causas de las fallas y para entender su frecuencia e impacto. Al identificar los posibles modos de falla y sus efectos, podrá implementar los planes y medidas correctivas que sean adecuados.

2.2.7. *Falla funcional*

Un estado en el que un activo físico o sistema no se encuentra disponible para ejercer una función específica a un nivel de desempeño deseado. (SAE, 1999). Sucede cuando el sistema opera por fuera de parámetros “normales o deseados”; entonces, se considera que tiene una falla. Las fallas funcionales, o la forma en la cual el activo puede fallar para satisfacer las expectativas del usuario.

En el estudio titulado Reliability Centered Maintenance (RCM), Nowlan y Heap se describe lo que es una falla, presentando dos definiciones: falla potencial y falla funcional.

Una falla potencial es una condición física identificable que indica una falla funcional es inminente.

Una falla funcional es la incapacidad de un elemento (o el equipo que lo contiene) para cumplir con un estándar de rendimiento especificado.

Una falla potencial es cuando se detecta un defecto o anomalía en un sistema y si no se corrige se convertirá en una falla funcional (Asset Management, 2014). En la mayoría de los casos, las fallas potenciales son detectadas por un técnico predictivo a través de empleo de tecnología como la termografía infrarroja, el análisis de vibración y análisis de aceite entre otros. En cambio, una falla funcional en la mayoría de los casos se detecta por el operador en rutina diaria.

2.2.8. *Tiempo hasta fallar*

Duración total del tiempo de operación de un elemento, desde el instante en que se encuentra por primera vez en un estado de disponibilidad hasta la aparición del fallo, o desde el instante de restablecimiento hasta la aparición del próximo fallo (AENOR, 2002). Es decir que, el tiempo hasta fallar constituye el tiempo desde que un componente comienza a funcionar hasta que ocurre una avería del propio elemento.

2.2.9. *Tiempo para reparar*

Parte del tiempo de mantenimiento correctivo activo durante el cual la reparación se ejecuta sobre un elemento. (AENOR, 2002). Es decir, constituye el tiempo de duración empleado en la reparación de un componente o equipo.

2.2.10. Tiempo entre fallos

Duración entre dos fallas consecutivas de un elemento (AENOR, 2002). Es el tiempo que media entre los fallos ocurridos de un componente elemento o equipo.

2.2.11. Tiempo medio entre fallos

Es el Mean Time Between Failures por sus siglas en inglés y constituye el tiempo medio entre fallas y refleja con qué frecuencia ocurre una detención (AENOR, 2002).

Estadísticamente, es literalmente el promedio de tiempo transcurrido entre una falla y la siguiente. Usualmente la gente lo considera como el tiempo promedio que algo funciona hasta que falla y necesita ser reparado.

Ecuación 2-18

$$TMEF = \frac{NOIT.HROP}{\sum NTMC}$$

El "Tiempo Medio Para Reparar" (MTTR) es el tiempo promedio que toma reparar algo después de una falla.

Para algo que no puede ser reparado, el término correcto es "Tiempo Medio Para Falla" (MTTF). Algunos definirían el MTBF –para aparatos capaces de reparación- como la suma de MTTF más MTTR. (MTBF = MTTF + MTTR). En otras palabras, el tiempo medio entre fallas es el tiempo de una falla a otra. Esta distinción es importante si el tiempo de reparación (MTTR) es una fracción significativa del MTTF.

Ecuación 2-19

$$MTBF = \frac{(T5 - T1) + (T6 - T2) + (T7 - T3)}{n}$$

Tiempo de funcionamiento

Tiempo útil en el que el equipo funciona correctamente (AENOR, 2002). Es el tiempo correspondiente al funcionamiento adecuado de un componente, elemento o equipo.

Tiempo medio de funcionamiento

Es el tiempo medio de buen funcionamiento, refleja la frecuencia de correcto funcionamiento del equipo (Mora, 2007). Es decir que, este tiempo corresponde al promedio de funcionamiento adecuado de un componente, elemento o equipo, para un periodo de tiempo determinado.

Tiempo no operativo

Intervalo de tiempo durante el cual un elemento se encuentra en un estado de indisponibilidad (AENOR, 2002). Es decir, representa el tiempo en que un equipo no está en funcionamiento.

Tiempo medio de indisponibilidad

Es el tiempo medio de indisponibilidad o de no funcionamiento entre fallas (Mora, 2007). Es decir, corresponde al promedio de tiempo, en un periodo determinado, en el que el elemento, componente o equipo no está en funcionamiento.

Tiempo por retrasos administrativos

Tiempo acumulado durante el cual el mantenimiento no puede ejecutarse debido a retrasos administrativos, exógenos a la actividad propia de reparación, diferente al tiempo activo neto de reparación (Mora, 2007). Por tanto, se puede plantear que constituye el tiempo de interrupciones en el mantenimiento ocurrido por funciones administrativas, como, por ejemplo: la revisión de manuales de mantenimiento, gestión del personal especializado, entre otros.

Tiempo por retrasos logísticos

Tiempo acumulado durante el cual el mantenimiento no puede ejecutarse debido a la necesidad de adquirir recursos de mantenimiento, excluyendo cualquier retraso administrativo (AENOR, 2002). Es decir, este tiempo está dado por las demoras ocasionadas por dificultades con los recursos logísticos como materiales, insumos entre otros.

Tiempo medio por retrasos logísticos

Tiempo acumulado durante el cual el mantenimiento no puede ejecutarse debido a la necesidad de adquirir recursos de mantenimiento, excluyendo cualquier retraso administrativo (AENOR, 2002). Es decir, corresponde al promedio de tiempo en un periodo determinado de las demoras ocasionadas por dificultades con los recursos logísticos.

Estado de falla

Es el estado en el cual un elemento no desarrolla la función para la cual fue requerida (AENOR, 2002). Es decir, el estado de falla de un componente equipo, u elemento está dado por la no funcionabilidad debido a aspectos técnicos.

Estado de funcionamiento

Es el estado en el cual un elemento está desarrollando una función requerida (AENOR, 2002). Es el estado en el que el elemento, componente o equipo se encuentra en disposición de funcionamiento adecuado para desempeñar la función para la que fue creado.

Mantenimientos planeados

Mantenimiento preventivo ejecutado de acuerdo a un cronograma de tiempo establecido, o un número de unidades de uso definido (AENOR, 2002). Incluye el mantenimiento predictivo y constituyen los mantenimientos realizados en correspondencia a una previa planificación aprobada por los máximos líderes de las organizaciones.

Tiempo de alistamiento

Es el tiempo en el cual el equipo o sistema está disponible, pero sin producir, es decir opera, pero no produce o no esta en carga operativa (Mora, 2007). Es decir, es el tiempo en el que no está en funcionamiento sin embargo se encuentra disponible para desempeñar la labor para la que fue creado.

Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (CMD o RAM)

Este modelo arroja como resultados una distribución de probabilidades de la disponibilidad y producción diferida del sistema para todos y cada uno de los escenarios analizados.

Permite desarrollar un análisis de sensibilidad para identificar los equipos y sistemas de alto impacto en la disponibilidad del proceso, a fin de proponer acciones de mitigación basados en un análisis costo-riesgo, que permite a la gerencia del proceso productivo analizado, tener el conocimiento sobre el riesgo asociado y los costos de los planes de intervención debido a mantenimiento planificado y no planificado (SOLÉ, 2005).

Es por ello que el propósito de su análisis es la evaluación de la propensión a comportamientos “anormales” de un sistema tecnológico complejo en dependencia de las diversas fases del ciclo de vida.

La confiabilidad puede ser analizada de varias maneras como por ejemplo análisis de predicción de confiabilidad, análisis de confiabilidad en diagramas de bloque que puede ayudar a determinar la confiabilidad de un sistema complejo hasta un sistema simple esto lo realiza mediante simulaciones de Montecarlo y puede ser muy exacto para decidir sobre cambios en diseño de un sistema o para analizar puntos vulnerables de una instalación.

Análisis de Weibull. Este ayuda a determinar el comportamiento de fallas de los equipos y puede determinar si un equipo está en su vida random, mortalidad infantil o en la vejez, esto ayuda a ajustar los planes de mantenimiento preventivo, aparte de planificar eventos en base a comportamientos esperados de los sistemas y equipos y prever la reposición de los mismos. Con este análisis se puede determinar si el equipo está cubierto por garantías y sustentar controversias en caso de que no se haya cumplido con las expectativas de vida del equipo.

2.2.12. Análisis RAM (Reliability – Availability – Maintainability)

El análisis RAM es una herramienta de análisis para conocer y maximizar el rendimiento y beneficio de su proceso (Yañez M, 2004, pág. 121). Como indican sus siglas, el análisis RAM estudia tres parámetros esenciales para el desempeño de un proceso: la confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad de los distintos equipos que forman parte del sistema, con el propósito de maximizar su rendimiento, minimizar la pérdida de producción dada a los fallos que pueden ocurrir, determinar los requerimientos de mantenimiento, e identificar los equipos críticos para así brindar un funcionamiento óptimo del proceso.

2.2.13. Etapas de un análisis RAM

Entre las etapas a desarrollar en un análisis RAM, teniendo en cuenta lo expuesto por Chilworth se encuentra las siguientes:

1. Definición de los requerimientos de confiabilidad: inicialmente se define el porcentaje de tiempo durante el que el sistema debe operar correctamente
2. Identificación de los sistemas o equipos críticos: se seleccionan aquellos sistemas o equipos que tienen, o pueden tener, una importancia crítica sobre el desempeño del proceso.
3. Recopilación de datos de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad: se investiga, en bases de datos o a través de expertos, información acerca de las tasas de fallo, los tiempos promedio entre fallas (TPEF) y los tiempos promedio para reparar (TPPR) de los distintos equipos. También es necesario conocer la filosofía operacional y la política de mantenimiento e inspección del establecimiento.
4. Desarrollo de los diagramas de bloques de disponibilidad (DBD): se crean diagramas lógicos de bloques para cada sistema del proceso, tomando en cuenta los elementos críticos.
5. Desarrollo de árboles de fallos: se definen árboles de fallo para los distintos sistemas, con el fin de determinar las causas de los posibles fallos y sus probabilidades de ocurrencia.
6. Cálculo de indisponibilidad y jerarquización de equipos: se calcula el tiempo durante el cual se espera que el proceso se encuentre no disponible, y se jerarquizan los distintos equipos.
7. Al realizar un análisis RAM de una instalación se podrá optimizar la productividad. (Chilworth, 2015).

Es por ello que entre las ventajas que se obtiene con la implementación de este tipo de análisis en una organización se encuentran las siguientes:

- Minimizar Costes
- Minimizar las pérdidas de contratos debido a fallos en la producción.
- Disminuir los excesos de atención a áreas que no son críticas.
- Permitir la optimización de los inventarios y de los recursos de mantenimiento

- Identificar las áreas en las que se pueden aplicar cambios a equipos, procedimientos, operaciones, etc. para disminuir la probabilidad de pérdida de producción.
- Identificar los “cuellos de botella” de su proceso.
- Facilitar la realización de análisis de sensibilidad para comparar los impactos de las posibles modificaciones al proceso.
- Determinar el impacto de los inventarios y los servicios en la producción.
- Explorar estrategias de mantenimiento diversas para minimizar tiempos de baja.

2.2.14. Grupos electrógenos

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna. Son comúnmente utilizados cuando hay déficit en la generación de energía eléctrica de algún lugar, o cuando son frecuentes los cortes en el suministro eléctrico. Así mismo, la legislación de los diferentes países puede obligar a instalar un grupo electrógeno en lugares en los que haya grandes densidades de personas, como centros comerciales, restaurantes, cárceles, edificios administrativos, etc. (Billinton Roy, 1995)

Los grupos electrógenos son empleados generalmente cuando existe déficit de energía eléctrica en un lugar específico, o en caso de ocurrir cortes en el suministro eléctrico.

En tal sentido, algunos países pueden decidir por la instalación de un grupo como en centros comerciales, centros de Salud, cárceles, etc.

Una de las utilidades más comunes es la de generar electricidad en aquellos lugares donde no hay suministro eléctrico. Generalmente son zonas apartadas con pocas infraestructuras y muy poco habitadas. Otro caso sería en locales de pública concurrencia: hospitales, fábricas, etc., lugares en los que la energía eléctrica de red es insuficiente y es necesaria otra fuente de energía alterna para abastecerse. (Billinton Roy, 1995)

Los grupos electrógenos están destinados a una gran variedad de empleos, desempeñando la función de proveedor de energía de reserva, suplementaria o de emergencia para diversas instalaciones de servicios auxiliares (esenciales y no esenciales), alumbrado de

emergencia (de seguridad, de escape o de reserva), bancos, estadios deportivos, plantas industriales, hospitales, etc.; como así también en viviendas rurales aisladas de la red pública de suministro eléctrico. Son especialmente utilizados en los países del tercer mundo como complemento a la red eléctrica, la cual es a menudo poco fiables.

Un grupo electrógeno consta de las siguientes partes:

Motor. El motor representa la fuente de energía mecánica para que el alternador gire y genere electricidad. Existe tres tipos de motores: motores de gasolina, a gas natural y de gas-oil (diésel), siendo estos últimos los más utilizados en los grupos electrógenos por sus prestaciones mecánicas, ecológicas y económicas. Sin embargo, los motores a gas natural han venido ganando terreno por ser menos contaminantes y más silenciosos. (Somagen S.A.S, 2015)

Regulación del motor. El regulador del motor es un dispositivo mecánico diseñado para mantener una velocidad constante del motor con relación a los requisitos de carga. La velocidad del motor es directamente proporcional con la frecuencia de salida del alternador, por lo que cualquier variación de la velocidad del motor afectará a la frecuencia de la tensión de salida. El motor produce energía mecánica que se transforma en energía eléctrica por el generador. Dependiendo del tamaño de los componentes, un generador diésel puede producir en cualquier lugar de 8 kW para una aplicación el hogar hasta 2.000 kW en centros industriales. (Somagen S.A.S, 2015)

Sistema eléctrico del motor. El sistema eléctrico del motor puede ser 12 V o 24 V, negativo a masa. El sistema incluye un motor de arranque eléctrico, una batería, y los sensores y dispositivos de alarmas de los que disponga el motor. Y el generador para ser protegidos de eventos accidentales como baja presión de aceite, alta temperatura, falta de agua, sobre-velocidad (para el caso del motor), sobre o sub-tensión y sobrecarga para el alternador, entre otros. El motor cuenta con un termocontacto de temperatura, un manocontacto de presión de aceite, además de un contacto en el alternador de carga del motor, permitiendo detectar las fallas de carga en la batería. (Somagen S.A.S, 2015)

Sistema de refrigeración. El sistema de refrigeración del motor puede ser por medio de agua, aceite o aire. El sistema de refrigeración por aire consiste en un ventilador de gran capacidad que hace pasar aire frío a lo largo del motor para enfriarlo. El sistema de

refrigeración por agua/aceite consta de un radiador, un ventilador interior para enfriar sus propios componentes. Se puede plantear que el enfriamiento por agua es el mayoritariamente empleado. (Somagen S.A.S, 2015)

Alternador. La energía eléctrica de salida se produce por medio de un alternador, protegido contra salpicaduras, auto excitado, autorregulado, autoventilado y por lo general de acuerdo a las últimas tecnologías, sin escobillas. La potencia del mismo en Kva. o Kw., se ajusta a la potencia máxima que puede brindarnos el motor de accionamiento, es decir, hay una relación directa con los HP que el motor puede entregarnos a la velocidad de rotación nominal (generalmente 1500 rpm para 50 Hz. y 1800 rpm para 60 Hz.), los mismos pueden ser monofásicos, trifásicos, o ambos. El alternador va acoplado con precisión al motor, generalmente en forma monoblock. (Somagen S.A.S, 2015) Por tanto el alternador es el generador de la salida de la energía eléctrica.

Depósito de combustible y base. El motor y el alternador están acoplados y montados sobre una base de acero plegado La base normalmente incluye un depósito de combustible con una capacidad mínima de 8 horas de funcionamiento a plena carga. Se debe aclarar que se pueden colocar depósitos de reservas, en caso del uso continuo del grupo electrógeno. (Somagen S.A.S, 2015)

Aislamiento de la vibración. El grupo electrógeno está dotado de tacos antivibratorios diseñados para reducir las vibraciones transmitidas por el grupo motor-alternador. Los aisladores se colocan entre las patas del motor, la base, y las del alternador del cuadro de comando. (Somagen S.A.S, 2015)

Silenciador y sistema de escape. El tubo de escape y silenciador va instalado al motor para reducir la emisión de ruido. La eficiencia del silenciador y sistema de escape está en dependencia de los requerimientos del lugar y puede ser de mayor o menor atenuación de acuerdo a las normas requeridas. (Somagen S.A.S, 2015)

Sistema de control. Se puede instalar uno de los diferentes tipos de paneles y sistemas de control para controlar parámetros de funcionamiento del grupo y para protegerlo contra posibles fallos. Son digitales y pueden tener puertos de comunicación que les permite conectarse a ordenadores locales o distantes ofreciendo una amplia gama de posibilidades

de monitoreo y control. Por ello se puede plantear que el sistema de control posibilita el seguimiento y control del grupo, para prevenir la ocurrencia de averías o fallas. (Somagen S.A.S, 2015)

Interruptor automático termo magnético de salida. Para proteger al alternador, se suministra un interruptor automático termo magnético (conocido por sus siglas en inglés como MCCB) de salida adecuado para potencia del grupo eléctrico. El mismo puede ser de accionamiento manual o motorizado para accionarlo a distancia o local mente a través de un PLC, (controlador lógico programable) que puede ser no más ni menos que la propia central de control de comando del grupo mismo. Por tanto se puede plantear que el interruptor automático de salida tiene como función resguardar al grupo eléctrico con control manual y contactores. (Somagen S.A.S, 2015)

Otros accesorios instalables en un grupo eléctrico.

Existen otros accesorios que permiten controlar y mantener automáticamente, el buen funcionamiento de los grupos eléctricos como la tarjeta electrónica de control, el radiador eléctrico y microprocesadores en grupos moderno. (Somagen S.A.S, 2015)

- La tarjeta electrónica se emplea para la regulación automática de la velocidad del motor a través de la señal de entrada "pickup" y salida del "actuador".
- El radiador eléctrico se emplea en los grupos eléctricos refrigerados por aire, con el propósito de mantener el aceite a una temperatura adecuada.
- Los microprocesadores se emplean en los grupos eléctricos modernos, para el autodiagnóstico, comunicación de datos, etc. (Somagen S.A.S, 2015)

Generadores controlados por transformador. El estator principal proporciona energía para excitar el campo de excitación por medio del transformador rectificador. El transformador combina elementos de tensión y corriente derivados de la salida del estator principal para formar la base de un sistema de control de circuito abierto, el cual es de naturaleza autorregulador (Somagen S.A.S, 2015).

El propio sistema de los generadores controlados por transformadores mantiene la corriente de cortocircuito, compensa las magnitudes de intensidad y factor de potencia, y además tiene buenas características de arranque de motores eléctricos como características adicionales.

Arranque manual o automático. El arranque manual se produce a voluntad, esto quiere decir que cuando se necesita disponer de la electricidad generada por el grupo electrógeno se lo arranque de forma manual. (Somagen S.A.S, 2015)

Por lo general el arranque se suele efectuar a través de una llave de contacto de centrales electrónica con todas las funciones de vigilancia que protege el equipo de eventos accidentales. Las centrales automáticas o cuadros electrónicos o PLC, funcionan a modo manual o automática, las cuales detectan un fallo en la red de suministro eléctrico y permite que se active el arranque inmediato del grupo electrógeno.

2.2.15. Centrales de generación

Una central eléctrica es una instalación capaz de convertir la energía mecánica en energía eléctrica.

Las principales fuentes de energía son el agua, el gas, el uranio, el viento y la energía solar. Estas fuentes de energía primaria para mover los álabes de una turbina, que a su vez está conectada en un generador eléctrico.

Hay que tener en cuenta que hay instalaciones de generación donde no se realiza la transformación de energía mecánica en electricidad como, por ejemplo: los parques fotovoltaicos, donde la electricidad se obtiene de la transformación directa de la radiación solar; las pilas de combustible o baterías, donde la electricidad se obtiene directamente a partir de la energía química.

2.2.16. Tipos de centrales eléctricas

Una buena forma de clasificar las centrales eléctricas es haciéndolo en función de la fuente de energía primaria que utilizan para producir la energía mecánica necesaria para generar electricidad:

Las centrales hidroeléctricas: el agua de una corriente natural o artificial, por el efecto de un desnivel, actúa sobre las palas de una turbina hidráulica.

Las centrales térmicas convencionales: el combustible fósil (carbón, fueloil o gas) es quemado en una caldera para generar energía calorífica que se aprovecha para generar

vapor de agua. Este vapor (a alta presión) acciona las palas de una turbina de vapor, transformando la energía calorífica en energía mecánica.

Las centrales térmicas de ciclo combinado: combina dos ciclos termodinámicos. En el primero se produce la combustión de gas natural en una turbina de gas, y en el segundo, se aprovecha el calor residual de los gases para generar vapor y expandirlo en una turbina de vapor.

Las centrales nucleares: la fisión de los átomos de uranio libera una gran cantidad de energía que se utiliza para obtener vapor de agua que, a su vez, se utiliza en un grupo turbina-alternador para producir electricidad.

Las centrales eólicas: la energía cinética del viento se transforma directamente en energía mecánica rotatoria mediante un aerogenerador.

Las centrales termoelectricas solares: la energía del Sol calienta un fluido que transforma en vapor otro segundo fluido, que acciona la turbina-alternador que consigue el movimiento rotatorio y así, generar electricidad.

Las centrales de biomasa o de residuos sólidos urbanos (RSU): utilizan el mismo esquema de generación eléctrica que una central térmica convencional. La única diferencia es el combustible utilizado en la caldera, que proviene de nuestros residuos.

2.3 Software “Máximo para Oil&Gas”.

Según la página oficial de “Máximo para Oil and Gas”, se define como una solución completa de gestión de activos de empresa que ayuda a gestionar el equipo de producción, las instalaciones, el transporte y los activos de infraestructura en una única plataforma integrada.

Ayuda a las organizaciones a mejorar la seguridad, la fiabilidad y el rendimiento de conformidad. Todo ello al tiempo que reduce costes mediante la estandarización, la convergencia, la colaboración y la adopción de mejores prácticas operativas.

Dentro de las características más importantes menciona que permite a los gestores:

- Mejorar el análisis de activos.

- Facilitar la mejora continua.
- Estandarizar y compartir datos.
- Mejorar el aprendizaje de la organización.
- Cubrir las necesidades de salud, seguridad y medioambiente

2.4 Software “Relex 2009 versión evaluación” RBD

Incluye potente motor de simulación inteligente como es el método de Monte Carlo, es compatible con el sistema de red simple serie-paralelo. Maneja varias distribuciones de falla y reparación entre ellas incluyen:

- Exponencial
- Normal
- Log normal
- Weibull
- Rayleigh
- Independiente del tiempo
- Uniforme

Soporta 99 niveles de deshacer y rehacer, realiza cálculos de fondo para el uso eficiente del tiempo de proceso, permite la creación de diagramas visualmente agradables e ilustrativos. Soporta selección de imágenes, fuentes, el tamaño y colores.

Realiza la fiabilidad, la disponibilidad, la tasa de fracaso, y los cálculos MTBF y MTTF, Incluye algoritmo de optimización de repuestos. En el núcleo del módulo Relex RBD es la capacidad de simulación Monte Carlo altamente sofisticado. Permite Relex RBD para manejar todo, desde los sistemas básicos serie paralelo a, configuraciones de red aleatorias complejas.

El módulo de cálculo incluye una capacidad de decisión muy inteligente que analiza el diagrama. En realidad, no cuenta con uno, sino varios métodos de análisis de los diagramas de modo que los cálculos se han optimizado basados en la configuración del sistema.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de investigación

Exploratorio: Con la investigación exploratoria se pretende proporcionar una visión general, de tipo aproximativo, respecto a una determinada realidad de la gestión de mantenimiento de 8 generadores de la estación de generación Cononaco 19 Bloque 61. Petroamazonas EP. Este tipo de investigación se realiza especialmente porque el tema elegido ha sido poco explorado y reconocido, y cuando más aún, sobre él, es difícil formular hipótesis precisas o de cierta generalidad.

Las preguntas iniciales en este tipo de investigación son: ¿para qué?, ¿cuál es el problema? ¿Y que se podría investigar?

Los estudios exploratorios en pocas ocasiones constituyen un fin en sí mismos, "por lo general determinan tendencias, identifican relaciones potenciales entre variables y establecen el `tono' de investigaciones posteriores más rigurosas". Se caracterizan por ser más flexibles en su metodología en comparación con los estudios descriptivos o explicativos, y son más amplios y dispersos que estos otros dos tipos. Asimismo, implican un mayor "riesgo" y requieren gran paciencia, serenidad y receptividad por parte del investigador tipo de estudio exploratorio, debido a que nunca se ha realizado un estudio específico sobre el sistema en cuanto a sus parámetros de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad, solo se ha ido corrigiendo fallas a medida que han aparecido.

Descriptivo: El análisis descriptivo permite establecer cuáles son los componentes de una realidad. Se considera también como un estudio descriptivo, pues el investigador recaba datos sin introducir tratamientos o trato alguno. Se estudian los fenómenos en el sistema tal y como ocurren para luego ser analizados, y se espera que los resultados arrojados por la investigación, sirvan como bases para la generación de nuevas hipótesis.

De campo. Es una investigación eminentemente de Campo. El investigador se traslada a la Provincia Francisco de Orellana, cantón Orellana. Se debe establecer visitas periódicas a la Central de Generación Cononaco 19 del Bloque 61, Petroamazonas EP, con el fin de familiarizarse con el contexto actual sin intenciones de manipular o controlar de alguna forma las variables de investigación. La obtención de datos In Situ, es imprescindible para realizar los cálculos, cumplir los objetivos, verificar la hipótesis y desarrollar un sistema de mantenimiento.

Evaluativo. Es una investigación evaluativa porque se verifican los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los 8 generadores existentes en la Central de Generación Cononaco 19 del Bloque 61, Petroamazonas EP.

Aplicado. Debido a que los resultados arrojados por la investigación permitirán desarrollar un sistema de mantenimiento acorde a los requerimientos y necesidades detectadas en el transcurso de la investigación.

3.2 Método de investigación

La presente investigación desarrolla un método cuantitativo y cualitativo. Se utilizarán las más modernas técnicas de Ingeniería de Mantenimiento que son el análisis de mantenimiento basado en confiabilidad. Es un trabajo no experimental y sistemático que indirectamente evalúa el sistema de gestión de mantenimiento actual, sin intervenir en sus procesos. A breves rasgos se prevé:

- Desarrollar un estado de arte y/o marco conceptual sobre la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de generadores aplicados a la industria petrolera.
- Establecer una metodología para obtener los datos necesarios en confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en la Central de Generación Cononaco 19 del Bloque 61, Petroamazonas EP a partir de la información que se tenga disponible.
- Proponer indicadores para el análisis de los datos obtenidos. Se utilizará el análisis RAM
- Plantear una mejora en el plan de mantenimiento

3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información

Uno de los aspectos críticos dentro del análisis RAM es, sin lugar a dudas, la calidad y la cantidad de la información de funcionamiento de máquina gestionada. Es por lo tanto necesario definir qué información debe recopilarse, quién debe hacerlo, cuándo debe hacerlo y quién debe tener acceso a la información recopilada.

Se utilizarán técnicas cuantitativas y cualitativas.

3.3.1. Cuantitativas.

Para la verificación de la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de generadores o cualquier otra máquina es imprescindible obtener datos. Estos datos vienen en cifras y porcentajes, por tanto, la parte cuantitativa será la predominante en esta investigación.

Investigación documental-bibliográfica. Se necesita la consulta de documentación bibliográfica como: libros, reportes, informes, artículos, oficios, memos, base de datos de la empresa, bases de datos genéricas, etc. Esta revisión se realiza antes, durante y después de la investigación.

Entre las principales fuentes de información destacan, por la dificultad a la hora de recopilarlas, la documentación del SAT (Servicio de Asistencia Técnica) y los históricos de funcionamiento. Es sobre estos dos tipos de documentación sobre los que más debe trabajarse

Servicio de Asistencia Técnica (SAT). Dentro o fuera de una empresa, es el departamento encargado del mantenimiento y reparación de la maquinaria, productos, equipos y otros bienes necesarios para el funcionamiento de la empresa. El término se amplía y se utiliza también para indicar reparación en electrodomésticos y artefactos electrónicos. Acceder a la documentación del SAT de la Central de Generación Cononaco 19 del Bloque 61, Petroamazonas EP, proporcionará valiosos datos para la investigación.

Históricos de funcionamiento. Dentro de la documentación histórica del funcionamiento de los generadores se espera encontrar:

- **Histórico de fallas.** Herramienta que permitirá conocer cuáles equipos tienen mayor número de fallas, cada cuánto tiempo y como se solventó la falla. Permite identificar cuáles son las fallas más comunes para tomar medidas correctivas.

Acorde al tipo de equipamiento se pueden observar: fallas por desgaste, ya sea por falta de mantenimiento o por la presencia de materiales de mala calidad; fallas por mal uso, debido a la falta de capacitación, compromiso o responsabilidad de los operarios; fallas por infraestructura, se presente cuando las condiciones de las instalaciones en donde se ubica el equipamiento están en mal estado o no son las adecuadas para ese tipo de maquinaria.

- **Documentación de mantenimiento.** Es importante contar con los datos de un histórico del mantenimiento de los generadores de la Central de Generación Cononaco 19 del Bloque 61, Petroamazonas EP. Estos documentos permiten un acceso rápido a la información, como pautas básicas están:
 - Datos técnicos y especificaciones de fabricación
 - Manual de operación e instrucciones técnicas
 - Manual de mantenimiento que incluye mantenimiento preventivo, reparaciones, ajustes, implementos.
 - Lista de componentes de la máquina indicando los modelos con su descripción.
 - Organización: Fechas de revisión y componentes a reemplazar
 - Detalle: Códigos de identificación de las partes de la máquina
 - Diagrama unifilar: que indica la distribución de los circuitos, ya sean eléctricos, neumáticos o hidráulicos
 - Diagrama de circuitos: indicando la distribución y numeración de cables, terminales, conectores, componentes, entre otros.
 - Diagrama lógico. Sistema funcional lógico de circuitos con sus modelos de operación y símbolo
 - Localización: Zona de instalación de los equipos, sus dimensiones.
 - Programas de prueba: documento de especificaciones, modelos, números de serie, fechas de fabricación, de recepción, de garantías.
 - Certificados que regulan la puesta en servicio, especificaciones de seguridad

Toda esta información está regulada por la normativa EN-13460

3.3.2. *Cualitativas.*

Las expectativas, los comentarios, opiniones y experiencias de las personas que laboran con los generadores son de vital importancia para completar la información obtenida con las técnicas cuantitativas. Las técnicas cualitativas permiten acercarse a las personas e indagar las cuestiones necesarias para la investigación. Las dos modalidades se utilizan a la par, para la verificación de la información.

Entrevistas en profundidad. Se recurrirá a entrevistas, debido a que es necesario recolectar y documentar experiencias de los operadores y personal de mantenimiento que interactúan directamente con el sistema, con el fin de completar y validar la información documental. Este tipo de entrevistas se caracterizan por la oportunidad de hacer repreguntas en donde el investigador crea conveniente. De esta manera se puede llegar al fondo de algún asunto en particular que revista interés para el trabajo de estudio.

Observación directa. Como técnica utilizada para esta investigación será la observación directa, debido a que con ella se podrá obtener información intencionada y selectiva, para un fenómeno determinado. Este tipo de observación permite al investigador instalarse en el lugar de los hechos y verificar lo que acontece, sin que tenga una injerencia en los procesos.

Sea cuál sea el origen de la información, toda ella se gestionará por medio de una base de datos de incidencias. Se trate de partes del SAT o datos de funcionamiento en casa del cliente el tratamiento será el mismo. En el caso de los partes del SAT será el propio técnico del SAT el encargado de introducir los datos en la aplicación. En el caso de seguimiento de máquinas en casa del cliente, cada análisis será tratado de forma particular en función del control numérico con el que se encuentre equipada la máquina objeto de análisis y los puntos críticos que se considere interesante controlar. De esta forma se contará con una única base de datos en la que se plasmarán los fallos más habituales, sus causas más probables, sus efectos, sus MTBF y MTTR, y todo ello asociado al grupo o componente en el que se ha producido el fallo. Toda esta información es de gran ayuda a la hora de realizar los AMFEC's y Árboles de Fallos que se describen en la metodología de cálculo, gestión y mejora de parámetros RAM.

3.4 Diseño de investigación

Se determinan los siguientes elementos:

3.4.1. *Análisis de datos existentes:*

Selección y análisis de los datos de funcionamiento de 8 generadores existentes en la estación de generación Cononaco 19 Bloque 61.

Identificación de la información complementaria y puesta en marcha de los canales de recolección de dicha información.

3.4.2. *Cálculo RAM inicial:*

Identificación inicial de los parámetros RAM de los generadores antes de comenzar el proyecto de mejora. Establecimiento de valores MTTR y MTBF. Es el momento de acudir a las bases de datos, a los registros de producción y a la experiencia acumulada en los operarios de la empresa para poder realizar estimaciones de estos dos valores. Cálculo MTBF y MTTR por grupo funcional. Conocidos los valores de MTBF y MTTR mediante las técnicas estadísticas de cálculo de parámetros RAM, se llegará a establecer los valores MTTR y MTBF de los grupos funcionales.

Se determinan los valores RAM de máquina a partir del diagrama de bloques de fiabilidad y con los valores de MTBF y MTTR calculados en el paso anterior se llegará a los parámetros RAM de la máquina mediante la utilización de fórmulas estadísticas establecidas para los modelos en serie y paralelo.

Luego se realiza la identificación de las funciones básicas y de soporte del producto. Análisis específico de las funciones de soporte. Revisión del pliego de condiciones en el caso de un producto industrializado.

Descomposición de máquina por grupos funcionales. Asignación de grupos de máquina a las funciones principales identificadas en el punto anterior.

AMFE por grupo funcional. Realización del AMFE de los grupos funcionales de máquina. La realización del AMFE se ceñirá a aquellos grupos que se consideren críticos.

Árbol de fallos por grupo funcional (FTA): Realización de los árboles de fallos de todos los grupos funcionales. Cuanto más se profundice en la realización de los AMFE's más fácil resultará el establecimiento de causas y efectos en la elaboración de los árboles de fallos hasta llegar a las causas raíces o sucesos de base.

Identificación de puntos críticos y oportunidades de mejora. Llegados a este punto es el momento de listar todas las oportunidades de mejora que han debido ir surgiendo a lo

largo de todos los pasos anteriores y analizar cuáles de esas oportunidades pueden realmente plasmarse en acciones concretas que posibiliten una mejora de los parámetros RAM del producto.

Definición e implementación de acciones. Aquellas oportunidades de mejora que en el punto anterior se constituyan como viables se plasmarán en acciones concretas y se valorarán desde el punto de vista de mejora de fiabilidad asociada y variación de coste imputable al producto. El cuadro de acciones quedará así pendiente de aprobación en función de estos dos criterios.

La consecución de todas estas acciones constituye el análisis de fiabilidad del producto. Sin embargo, es necesario analizar así mismo el producto desde el punto de vista de mantenibilidad para asegurar así una mejora de los dos parámetros fiabilidad y mantenibilidad y, consecuentemente, una mejora de la Disponibilidad de la máquina, directamente medible por el usuario del medio.

Dentro del análisis de mantenibilidad del producto, las tareas a realizar son:

Análisis prácticas actuales de mantenimiento: mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo especificado en libros de instrucciones y entregado al cliente. Prácticas habituales de mantenimiento en SAT.

Identificación de puntos críticos según MTBF: A partir del análisis de los AMFEC's de los grupos funcionales', 'se deberán identificar aquellos fallos con mayores MTBF's para priorizar el análisis de las operaciones de mantenimiento relacionadas con ellos.

Identificación de puntos críticos según MTTR: Así mismo, dentro de los fallos con mayores niveles de MTBF, será necesario priorizar el análisis en función del tiempo necesario para restablecer el equipo una vez se produzca el fallo. Se prestará especial atención a aspectos de accesibilidad, logística de repuestos críticos, utilización de herramientas estándar, información a facilitar al usuario.

Plan de actuación mejora mantenibilidad: Al igual que en el caso anterior, se deberán listar y analizar la viabilidad de todas las acciones de mejora que hayan surgido a lo largo del estudio de mantenibilidad. Cada una de las acciones deberá ser valorada desde el punto de vista de mejora de mantenibilidad asociada y variación de coste imputable al producto.

3.4.3. Cálculo RAM teórico:

Una vez definidos los planes de actuación de mejora de fiabilidad y mantenibilidad, se realizará el cálculo estadístico de los parámetros RAM del producto supuestas implantadas las acciones descritas. El resultado de ese cálculo y la variación total de coste imputable al producto supondrán los criterios básicos para la validación o rechazo del plan de actuación.

Una vez sea repasado y adecuado el plan de actuación, éste deberá implantarse de cara a contrastar la mejora de parámetros RAM real conseguida en comparación con la teórica calculada por el equipo de trabajo.

Todas estas tareas constituyen la metodología de cálculo, gestión y mejora de parámetros RAM de un producto, pero es necesario establecer un ciclo cerrado de aseguramiento de parámetros RAM de un producto. Para ello será necesario perseguir en todo momento el funcionamiento de la máquina mediante los canales especificados en el apartado anterior y repetir el proceso a partir de la actualización de los árboles de fallos según vayan considerándose nuevas causas, nuevos fallos o varíen los valores del MTBF y MTTR de los sucesos de base.

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS RAM

El desarrollo del Análisis RAM o CDM, requiere de una base de datos de fallos acontecidos en la Central de Generación de Cononaco 19, en un tiempo determinado

El tiempo de recopilación de datos para el análisis RAM es de dos años, debido a que, anterior a esta fecha no se tiene un registro confiable de los datos a ser analizados, además el Sistema Máximo es implantado en el año 2013, con la absorción de la Empresa Petroamazonas EP, los datos de los años a ser analizados también es una recopilación de la bitácora de los operadores de la Central de Generación.

Las fechas a ser contempladas están divididas en dos periodos la primera desde el 01 de Enero al 31 de Diciembre del 2014 y la segunda del 01 de enero al 31 de Diciembre del 2015, con un total de dos años para el análisis de Indicadores de Mantenimiento como son: Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad además para los cálculos correspondientes el tiempo de análisis para Confiabilidad es de 500 horas de funcionamiento, para la mantenibilidad el tiempo de análisis es de 12 horas pues esa es la jornada de un turno de trabajo.

Esta información proporcionada por Petroamazonas Ep y se encuentran en los anexos B y Anexo C

En el Anexo B se pueden encontrar los registros de fallas totales de la Central de Generación de los años anteriormente mencionados

El análisis RAM se desarrollará en base a la Distribución Exponencial, debido a que el motor de combustión interna y los sistemas que lo conforman se encuentran en la etapa de vida útil (el modelo de Weibull es adecuado para las tres zonas del grafico de la bañera).

4.1 Jerarquización de equipos y matriz de criticidad.

Es una metodología que permite establecer jerarquías entre: Instalaciones, Sistemas Equipos, Elementos de un equipo.

De acuerdo con su impacto total en el proceso, obtenido del producto de la frecuencia de fallas por la severidad de su ocurrencia, sumándole sus efectos en la población, daños al personal, impacto ambiental, pérdida de producción y daños en la instalación.

Además, apoya la toma de decisiones para administrar esfuerzos en la gestión de mantenimiento.

En la figura 4-1, se observa la matriz de jerarquización y sus valores para las diferentes filas y columnas.

Oc.	Exp,							
10	10	100	CrI 700	CrI 1500	CrI 2500	CrI 4800	CrI 10000	
8	6	48	CrI 336	CrI 720	CrI 1200	CrI 2304	CrI 4800	
5	3	15	CrI 105	CrI 225	CrI 375	CrI 720	CrI 1500	
3	2	6	CrI 42	CrI 90	CrI 150	CrI 288	CrI 600	
1	1	1	CrI 7	CrI 15	CrI 25	CrI 48	CrI 100	
			7	15	25	48	100	
			2	5	8	15	30	
			2	5	8	15	30	
			1	2	4	8	15	
			2	3	5	10	25	

Figura 4-1. Matriz de jerarquización

Fuente: Petroamazonas Ep.

En la figura 4-2, muestra la categoría de criticidad según su valor de CrI, tendiendo 3 categorías A, B y C siendo la más crítica la A y se define estrategias de mantenimiento para cada categoría.

CRITICIDAD CrI		CATEGORÍA DE CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN	ESTRATEGIAS Y FILOSOFÍAS DE MNT
Intolerable	> 400	A	Activo Crítico	Análisis FMEA, mantenimiento basado en condición y preventivo; con relevamiento de información muy detallada. Se realizará análisis de falla ACR-P/D/I en todos los casos, según procedimiento. Se llevará un seguimiento mediante indicadores KPI específicos.
Alto	200-400	B	Activo Importante	<i>Aplicación de mantenimiento basado en condición y preventivo, con relevamiento de información completa. Se realizará análisis de falla ACR en los casos relevantes de acuerdo a procedimiento. Se llevará un seguimiento mediante indicadores KPI generales únicamente.</i>
Notable	71-200			
Moderado	21-70	C	Activo Normal	Estrategia de mantenimiento preventivo o RTF, con relevamiento de información básica. Se realizará análisis de falla ACR sólo en casos muy específicos. Se llevará un seguimiento mediante indicadores KPI generales únicamente.
Aceptable	< 20			

Figura 4-2. Categorización de la Criticidad

Fuente: PETROAMAZONAS EP.

En los parámetros de evaluación de la figura 4-3, una de las consecuencias más críticas es el relacionado con pérdidas de energía de plantas de generación, debido a si sucede algún evento en los generadores la producción del campo se ve seriamente afectada.

PROBABILIDAD					CONSECUENCIAS												
OCURRENCIA			EXPOSICIÓN		SEGURIDAD Y SALUD		MEDIO AMBIENTE			MNT		PÉRDIDA PROD. TOTAL PLANTA DE PROCESO		PÉRDIDA ENERGÍA PLANTA GENERACIÓN		PÉRDIDAS DE PROD. ISLAS	
Probable	$30 \geq MTBF$ <i>12 o más fpy</i>	10	20 - 24 h	10	Muerte	30	Muy significativo	<i>Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones y en cuerpos de agua</i>	30	> USD\$ 500000,00	15	80% < ProdT ≤ 100%	25	80% < PE ≤ 100%	25	410 < BPD	25
Ocasional	$90 \geq MTBF > 30$ <i>4 a 11 fpy</i>	8	15 - 20 h	6	Accidente con pérdida de tiempo	15	Significativo	<i>Derrame mayor 5 bbls fuera de locaciones con contacto en tierra</i>	15	USD\$ 100000,01 – 500000,00	8	60% < ProdT ≤ 80%	10	60% < PE ≤ 80%	10	340 < BPD ≤ 410	10
Rara	$180 \geq MTBF > 90$ <i>2 a 3 fpy</i>	5	10 - 15 h	3	Lesión sin pérdida de tiempo	8	Importante	<i>Derrame mayor a 5 bbls dentro de las locaciones</i>	8	USD\$ 50000,01 – 100000,00	4	40% < ProdT ≤ 60%	5	40% < PE ≤ 60%	5	270 < BPD ≤ 340	5
Remota	$360 > MTBF \geq 180$ DÍAS <i>1 fpy</i>	3	5 - 10 h	2	Incidente	5	Leve	<i>Derrame menor a 5 barriles dentro de las locaciones</i>	5	USD\$ 10000,01 - 50000,00	2	20% < ProdT ≤ 40%	3	20% < PE ≤ 40%	3	200 < BPD ≤ 270	3
Mínima	$MTBF > 360$ DÍAS (menos de una falla por año fpy)	1	< 5 h	1	Condición subestándar	2	Insignificante	<i>liqueo</i>	2	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	0% ≤ ProdT ≤ 20%	2	0% ≤ PE ≤ 20%	2	BPD ≤ 200	2
							Sin Impacto	No aplica	0			Sin Impacto	0	Sin Impacto	0	Sin Impacto	0

Figura 4-3. Parámetros de evaluación de criticidad de Equipos

Fuente: PetroamazonasEP

4.2 Matriz de criticidad 2014

Para la realización de la Matriz de Criticidad el Valor del MTBF se lo realizo en días.

Tabla 4-1. Matriz Criticidad 2014

FUNCIÓN DEL EQUIPO	# EQUIPOS INSTALADOS SUBSISTEMA	# EQUIPOS OPERACIÓN SUBSISTEMA	HORAS DE OPERACIÓN / DÍA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN / DÍA	No. Fallas	MTBF	FALLAS POR AÑO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA Co								CrI	CrI	CATEGORÍA DE CALIFICACIÓN		
								OCURRENCIA Oc	EXPOSICIÓN Exp		SEGURIDAD Y SALUD	MEDIO AMBIENTE	MANTENIMIENTO		PÉRDIDAS PRODUCCIÓN / ENERGÍA		% PROB. DE FALLA PrF	CONSECUENCIA Co					
GEN MTU #01	8	7	24	21.0	4	91.3	4.00	Rara	5	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	50	13	650	A
GEN MTU #02	8	7	24	21.0	4	91.3	4.00	Rara	5	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	50	13	650	A
GEN MTU #03	8	7	24	21.0	1	365.0	1.00	Mínima	1	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	10	13	130	B
GEN MTU #04	F/S	0	0	(--)	0	365.0	0.00	Mínima	1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	PrF	Co	--	(--)
GEN CAT #05	8	7	24	21.0	4	91.3	4.00	Rara	5	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	50	13	650	A

GEN CAT #06	8	7	24	21.0	9	40.6	9.00	Ocasional	8	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	80	13	1040	A
GEN CAT #07	8	7	24	21.0	7	52.1	7.00	Ocasional	8	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	80	13	1040	A
GEN CAT #08	8	7	24	21.0	4	91.3	4.00	Rara	5	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	50	13	650	A

Fuente: Chaquina, R. 2016

4.3 Matriz de criticidad 2015

Tabla 4-2. Matriz Criticidad 2015

FUNCIÓN DEL EQUIPO	# EQUIPOS INSTALADOS SUBSISTEMA	# EQUIPOS OPERACIÓN SUBSISTEMA	HORAS DE OPERACIÓN / DÍA	TIEMPO DE EXPOSICIÓN / DÍA	No. Fallas	MTBF	FALLAS POR AÑO	PROBABILIDAD			CONSECUENCIA Co						CrI		CRITICITY ÍNDEX CrI	CATEGORÍA DE CRITICIDAD			
								OCURRENCIA Oc	EXPOSICIÓN Exp		SEGURIDAD Y SALUD	MEDIO AMBIENTE	MANTENIMIENTO	PÉRDIDAS PRODUCCIÓN / ENERGÍA	% PROB. DE FALLA PtF	CONSECUENCIA Co							
GEN MTU #01	8	7	24	21.0	5	73.0	5.00	Ocasional	8	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	80	13	1040	A

GEN MTU #02	8	7	24	21.0	1	365.0	1.00	Mínima	1	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	10	13	130	B
GEN MTU #03	8	7	24	21.0	3	121.7	3.00	Rara	5	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	50	13	650	A
GEN MTU #04	F/S	0	0	(--)	0	365.0	0.00	Mínima	1	(--)	(--)	(--)	(- --)	(- --)	(- --)	(--)	--	(--)	--	PrF	Co	(--)	(--)
GEN CAT #05	8	7	24	21.0	1	365.0	1.00	Mínima	1	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	10	13	130	B
GEN CAT # 06	8	7	24	21.0	11	33.2	11.00	Ocasional	8	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	80	13	1040	A
GEN CAT # 07	8	7	24	21.0	11	33.2	11.00	Ocasional	8	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	80	13	1040	A
GEN CAT # 08	8	7	24	21.0	6	60.8	6.00	Ocasional	8	20 - 24 h	10	Condición subestándar	2	Sin Impacto	0	USD\$ 0,00 - 10000,00	1	60% < ProdT ≤ 80%	10	80	13	1040	A

Fuente: Chaquinga, R. 2016

En los análisis de la criticidad del año 2014, se observa que únicamente el generador #3, se encuentra con una criticidad categoría B, los demás generadores están en categoría A, esto se debe al número de sucesos de cada generador en el periodo de tiempo mencionado; en el año 2015 los generadores #2 y #5 están en categoría B y los otros generadores están categoría A, esto debido a que a pesar de las paradas no programadas en los generadores las fallas fueron solventadas de una mejor manera por parte del personal técnico de la empresa, esto aumenta el número de generadores en categoría B, lo cual es un indicador de la gestión de mantenimiento.

4.4 Cálculo de mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad

Para poder realizar los cálculos correspondientes a la mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad por generador se determina el registro de fallas que comprende el componente, área, fecha de inicio y fin de falla, el tiempo de reparación, y la falla específica, sobre la base de los cuales se calcula: número de fallas, horas de fallo, tasa de fallos, horas de operación, MTBF, MTTR, disponibilidad, confiabilidad (día), confiabilidad (semana), confiabilidad (mes), confiabilidad (año).

Además, se realizan los cálculos pasos a paso del generador #1 para el año 2014, para los demás generadores y años se lo realiza en una tabla de Excel siendo el mismo proceso.

4.4.1. Generador #1

En la figura 4-4, se presentan las horas de fallos ocurridos en las diferentes áreas de funcionamiento del generador 1 en las cuales se puede ver la variación que existe entre el área de generación, mecánica y eléctrica.

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4.4, en el 2014 se tuvo 466 horas de fallo en el área de generación frente a las 6 horas que se tuvo en el 2015, siendo la principal causa de fallas. Debido a que los datos se limitan a dos (2) años no se puede afirmar que este comportamiento sea periódico (que ocurra en el 2016), ya que pudieron ser problemas puntuales ocurridos en el 2014. Lo más importante de acotar es el hecho de que las causas mecánica y eléctrica son mínimas, por lo que se debe enfocar en la generación para obtener un mayor beneficio del servicio de mantenimiento.

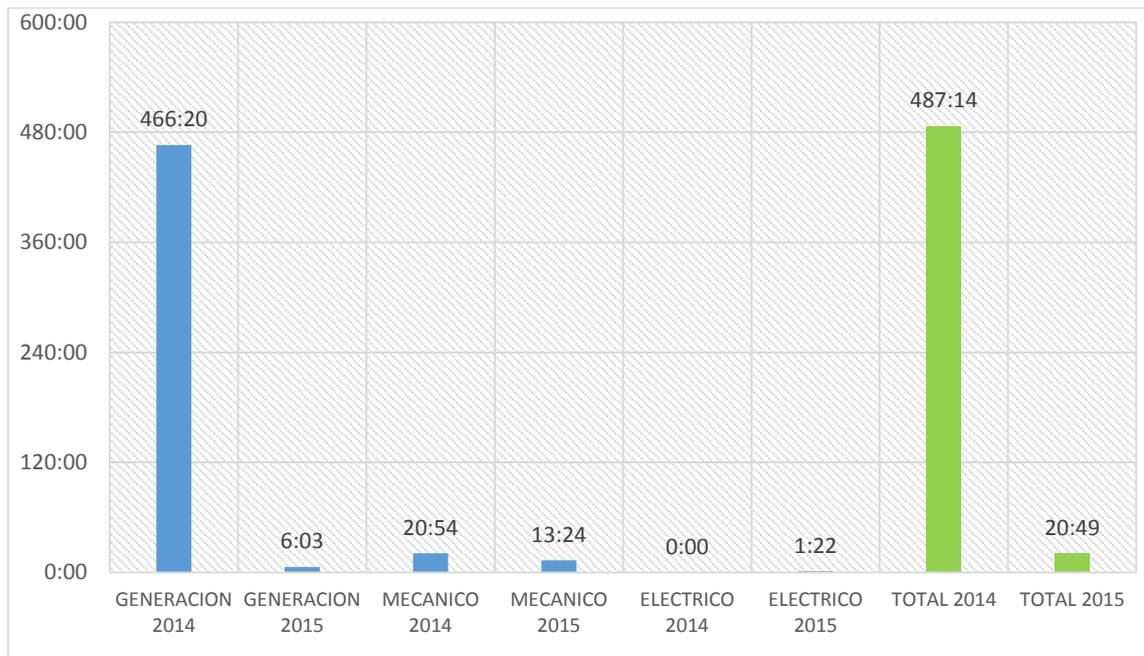


Figura 4-4. Generador #1 Total horas fallo por sección años 2014-2015

Realizad por: Chaquina, R. 2016

Tiempo medio entre fallos (MTBF)

Se lo calcula mediante la relación entre el tiempo total y el número de fallos total para el año 2014

$$\text{MTBF} = (\text{Tiempo total} / \text{Número de fallos})$$

$$\text{MTBF} = 8760 / 4$$

$$\text{MTBF} = 2190 \text{ horas}$$

Tiempo medio entre reparaciones (MTTR)

Se lo calcula mediante la relación entre en número de horas de fallo y el número de fallos.

$$\text{MTTR} = (\text{Horas de fallo} / \text{Número de fallos})$$

$$\text{MTTR} = 487 / 4$$

$$\text{MTTR} = 121.75 \text{ horas}$$

Cálculos de Mantenibilidad

Los cálculos de mantenibilidad se realizan tomando en cuenta una jornada de trabajo de 12 horas (dispuesta por la empresa Petroamazonas debido a las condiciones de situación geográfica en las que se labora y los turnos de 14 días laborables ininterrumpidos por parte de los operarios y departamentos de ingeniería), mediante distribución exponencial, además el número de Euler es de 2.71828.

$$M(t) = 1 - e^{-u \times t} = 1 - e^{-\frac{1}{MTTR} * t}$$

$$M(t) = 1 - 2.71828^{-\frac{12}{121.75}}$$

$$M(t) = 1 - 0.9061$$

$$M(t) = 0.0939$$

$$M(t) = 9.39\%$$

La mantenibilidad representada en porcentaje es del 9.39%

Cálculos de Disponibilidad

Para el cálculo de disponibilidad D se emplearon los valores de MTBF y MTTR

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

$$D = \frac{2190}{2190 + 121.75}$$

$$D = \frac{2190}{2311.75}$$

$$D = 0.9473$$

La disponibilidad representada en porcentaje es del 94.73%

Cálculos de Confiabilidad

Para los cálculos de la confiabilidad se los realiza para un tiempo de operación de 500 horas

$$R(t) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t}$$

$$R(t) = 2.71828^{-\frac{500}{2190}}$$

$$R(t) = 2.71828^{-0.22831}$$

$$R(t) = 0.7959$$

Este valor se expresa en porcentaje siendo este del 79.59%

A continuación, en la tabla 4-3 se muestra los cálculos realizados anteriormente en una recopilación.

Tabla 4-3. Cálculos Generador #1

GENERADOR #1		
TIEMPO TOTAL		8760h
	2014	2015
Número de fallas	4	5
Horas de fallo	487	20
Horas de operación	8760	8760
MTBF (horas)	2190	1752
MTTR (horas)	121.75	4.00
Mantenibilidad (12h)	9.39%	99.75%
Disponibilidad	94.73%	99.77%
Confiabilidad (500h)	79.59%	75.17%
Tasa de fallos (λ)	0.0005	0.0006
Tasa de reparación (μ)	0.0082	0.25

Realizado por: Chaquina, R. 2016

Según la tabla 4-3, los datos obtenidos muestran que el generador 1 presenta una alta disponibilidad en los dos años debido al mantenimiento preventivo ejecutado por la empresa Petroamazonas Ep. Desarrollado cada 6 meses, la mantenibilidad en el año 2014 es baja apenas del 9.39%, debido a un mantenimiento correctivo que se demoró en ejecutar, lo que pudo tener efectos directos en el aumento de las horas de fallo. Un dato que contrasta es la confiabilidad del 2015 que es menor que el 2014; sin embargo, las horas de falla se reducen en un 95,8% lo que evidencia que la cantidad total de horas de falla puede ser un factor más importante cuando la relación de número de fallas es muy similar.

La confiabilidad a las 500 horas en el año 2014 es de 79.59% bajando esta levemente en el año 2015 debido a que tuvo una falla más que el 2014, con lo cual baja la confiabilidad.

4.4.2. Generador #2

En la figura 4-5, se presentan las horas de fallos ocurridos en las diferentes áreas de funcionamiento del generador 2, se puede notar un patrón similar al generador 1, ya que en el 2014 las fallas de generación son mucho más elevadas comparadas con el año 2015, lo que sin duda evidencia problemas ocurridos en el 2014 que deben analizarse para prevenirlos a futuro.

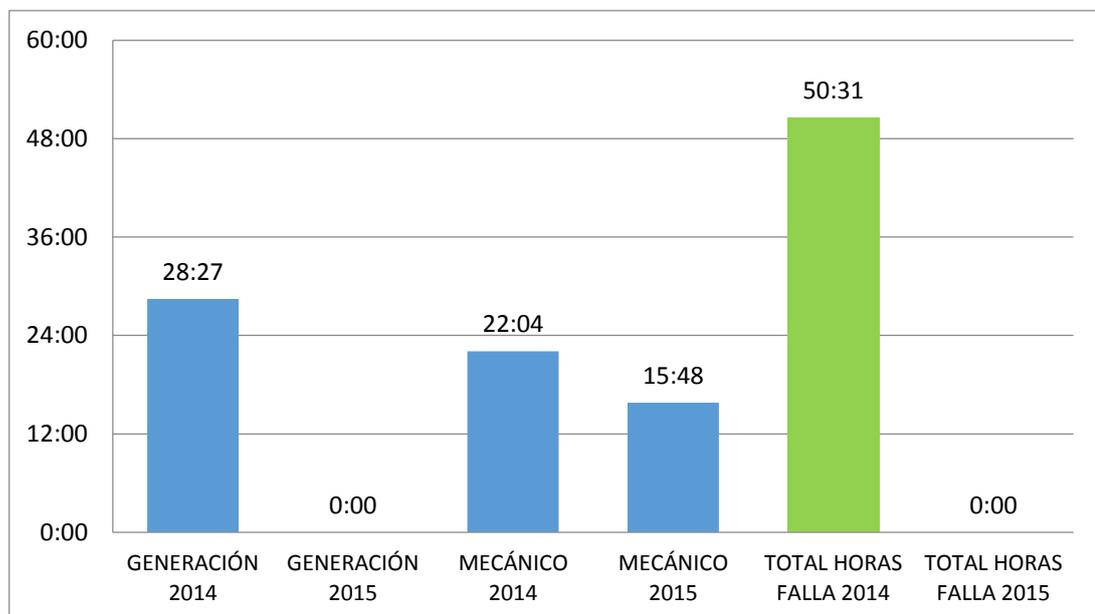


Figura 4-5. Generador #2 Total horas fallo por sección años 2014-2015

Fuente: Chaquinga, R. 2016

Cálculos Año 2014-2015

Tabla 4-4. Cálculos Generador #2

GENERADOR #2		
TIEMPO TOTAL	8760h	
	2014	2015
Número de fallas	4	1
Horas de fallo	50	2
Horas de operación	8760	8760
MTBF (horas)	2190	8760
MTTR (horas)	12.50	2.00
Mantenibilidad (12h)	61.71%	99.75%
Disponibilidad	99.43%	99.98%
Confiabilidad (500h)	79.59%	94.45%
Tasa de fallos (λ)	0.0005	0.0001
Tasa de reparación (μ)	0.0800	0.5000

Fuente: Chaquinga, R. 2016

Según la tabla 4-4, el generador en el año 2014 tiene una baja mantenibilidad de 61.71%, una alta disponibilidad del 99.98% y una confiabilidad de 79.59%, en lo referente al 2015 no tiene mantenimientos correctivos o paradas por fallos, para cálculos se considera una parada de 2 horas de duración, lo que demuestra que este generador al igual que el generador 1 mejora los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad el año 2015 (con excepción de que el generador 1 empeoró su confiabilidad).

4.4.3. Generador #3

En la figura 4-6, se presentan las horas de fallos ocurridos en las diferentes áreas de funcionamiento del generador 3, con resultados totalmente diferentes a los dos primeros generadores, ya que en este caso las fallas aumentan del 2014 al 2015, lo que permite afirmar que el comportamiento de las fallas varía según el generador. Es importante destacar la diferencia en escala de los gráficos, puesto que el máximo tiempo de falla del generador 3 es de 7:50 horas, siendo de 28:27 horas para el generador 2, lo que manifiesta una gran diferencia.

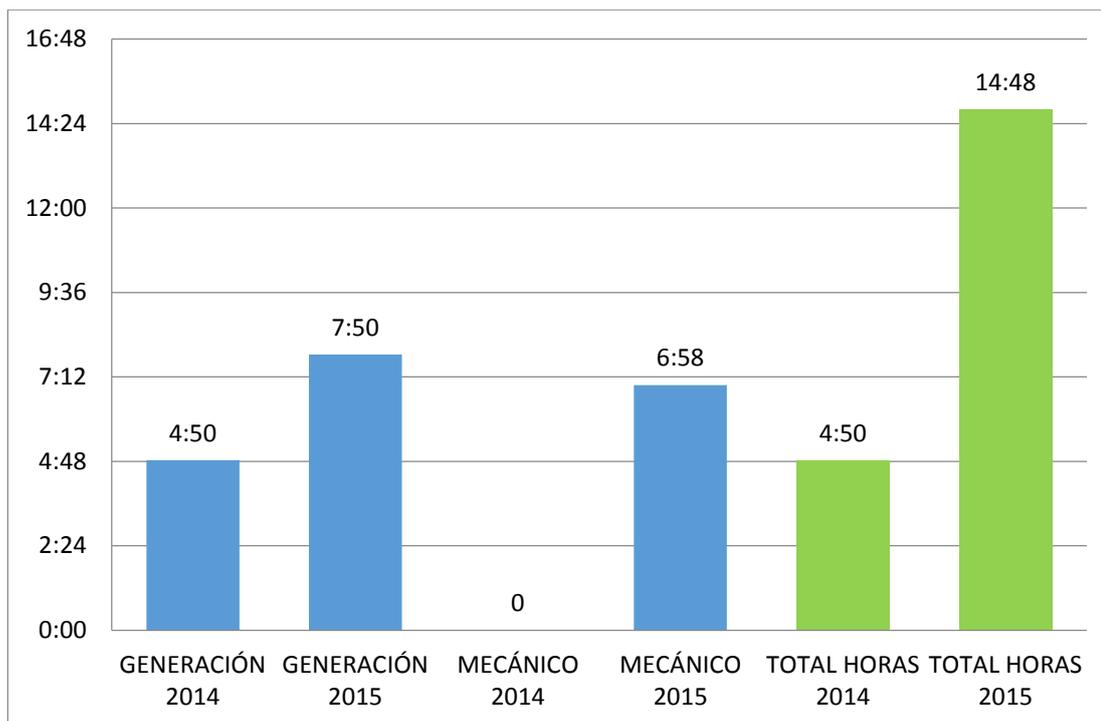


Figura 4-6. Generador #3 Total horas fallo por sección años 2014-2015

Fuente: Chaquina, R. 2016

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4-6, en el 2014 se tuvo 4 horas de fallo en el área de generación frente a las 7 horas que se tuvo en el 2015, así mismo se puede ver que las horas de fallo mecánico en 2014 llegaron a un total de 0 mucho menor que en 2015 donde se tuvo 6 horas, las horas de fallo del área eléctrica no existieron en este periodo, siendo un generador con altos índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

Cálculos Año 2014-2015

Tabla 4-5. Cálculos Generador #3

GENERADOR #3		
TIEMPO TOTAL	8760h	
	2014	2015
Número de fallas	1	3
Horas de fallo	5	14
Horas de operación	8760	8760
MTBF (horas)	8760	2920

MTTR (horas)	4.50	4.67
Mantenibilidad (12h)	93.05%	92.36%
Disponibilidad	99.95%	99.84%
Confiabilidad (500h)	94.45%	84.26%
Tasa de fallos (λ)	0.0001	0.0003
Tasa de reparación (μ)	0.2222	0.2143

Fuente: Chaquinga, R. 2016

Los resultados del año 2014 de la tabla 4-5, muestran que solo ha tenido una parada no programada y que tuvo altos índices de confiabilidad 94.95%, mantenibilidad 93.05% y disponibilidad 99.95%, en cambio en el año 2015, tuvo 3 paradas no programadas, pero estas no afectaron mayormente a la operación normal del generador teniendo una mantenibilidad del 92.36%, disponibilidad de 99.84% y confiabilidad del 84.26%. Los resultados muestran los buenos índices del generador lo que invita a estudiar diferencias en mantenimiento, operación y características con respecto a los anteriores para determinar los motivos de los excelentes índices.

4.4.4. Generador #4

El generador está fuera de servicio desde el año 2013 y no se tomará en cuenta para los análisis.

4.4.5. Generador #5

La figura 4-7, permite establecer una clara diferencia en las áreas de fallas, siendo la mecánica la que más resalta con un 88% del total de horas de fallo, este dato tiende a alertar que se debe dar prioridad al mantenimiento mecánico de este generador.

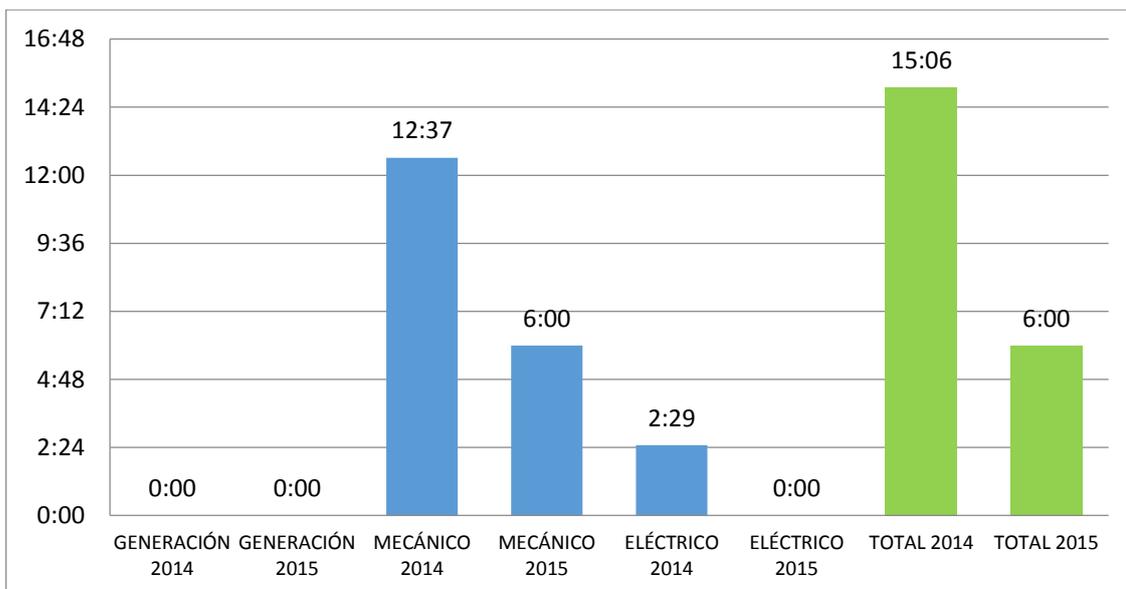


Figura 4-7. Generador #5 Total horas fallo por sección años 2014-2015

Fuente: Chaquinga, R. 2016

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4-7, en el 2014 no se tuvo horas de fallo en el área de generación, así mismo se puede ver que las horas de fallo mecánico en 2014 llegaron a un total de 12 que se vio reducido a 6 horas en 2015, las horas de fallo del área eléctrica solo existieron en 2014 con tan solo dos horas y 29 minutos. Al igual que el generador 3 este generador tuvo un bajo número de horas y cantidad de fallas, lo que evidencia unos índices aceptables. Es importante mencionar que las horas de falla asociadas al área de generación son inexistentes, una gran diferencia con el generador 1, lo que apunta a soportar el hecho que los generadores tienen comportamientos diferentes.

Cálculos Año 2014-2015

Tabla 4-6. Cálculos Generador #5

GENERADOR #5		
TIEMPO TOTAL		8760h
	2014	2015
Número de fallas	4	1
Horas de fallo	14	6
Horas de operación	8760	8760

MTBF (horas)	2190.00	8760.00
MTTR (horas)	3.50	6.00
Mantenibilidad (12h)	96.76%	86.47%
Disponibilidad	99.84%	99.93%
Confiabilidad (500h)	79.59%	94.45%
Tasa de fallos (λ)	0.0005	0.0001
Tasa de reparación (μ)	0.2857	0.1667

Fuente: Chaquina, R. 2016

La tabla 4-6, permite poner de nuevo en evidencia que la interpretación de los índices es de suma importancia, ya que se refleja una confiabilidad del 79.59% para el año 2014 lo que puede verse como un valor muy bajo, sin embargo, si se toma en cuenta las horas de fallos y dependiendo de la criticidad, puede resultar más o menos conveniente pocas horas de fallo, pero un gran número de fallas o viceversa.

4.4.6. Generador #6

En la figura 4-8, se presentan las horas de fallos ocurridos en las diferentes áreas de funcionamiento del generador 6 los cuales se muestran muy parejas, con una tendencia a incrementarse levemente del 2014 al 2015, este es uno de los generadores que muestra una mayor linealidad en cuanto a las horas de fallo. No obstante, si esta tendencia se mantiene, para el 2016 se estarían desmejorando los índices analizados.

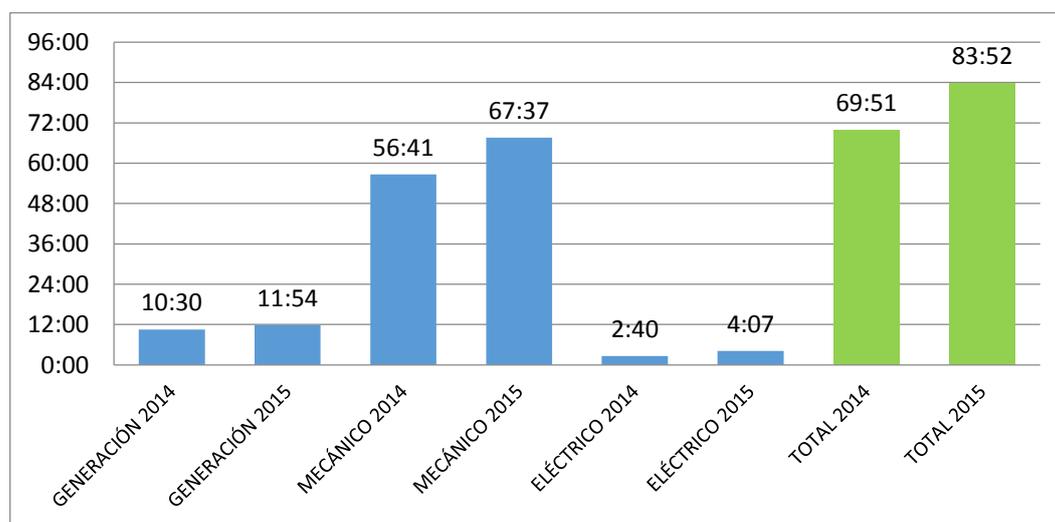


Figura 4-8. Generador #6 Total horas fallo por sección años 2014-2015

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4-8, en el 2014 se tuvo 10 horas de fallo en el área de generación frente a las 11 horas que se tuvo en el 2015, así mismo se puede ver que las horas de fallo mecánico en 2014 llegaron a un total de 56 que se vio en aumento a 67 horas en 2015, las horas de fallo del área eléctrica existieron en 2014 con 2 horas y en 2015 con cuatro horas y minutos.

Cálculos Año 2014-2015

Tabla 4-7. Cálculos Generador #6

GENERADOR #6		
TIEMPO TOTAL	8760h	
	2014	2015
Número de fallas	9	11
Horas de fallo	70	84
Horas de operación	8760	8760
MTBF (horas)	973.33	796.36
MTTR (horas)	7.78	7.64
Mantenibilidad (12h)	78.62%	79.23%
Disponibilidad	99.21%	99.05%
Confiabilidad (500h)	59.83%	53.37%
Tasa de fallos (λ)	0.0010	0.0013
Tasa de reparación (μ)	0.1286	0.1310

Fuente: Chaquinga, R. 2016

Se puede ver en la tabla 4-7, que es este generador comienzan a tener una gran cantidad de paradas no programadas en los dos periodos de análisis, debido a esto sus índices RAM comienzan a verse afectados de manera significativa, sobre todo en la confiabilidad. Se puede discutir la ejecución de mantenimientos más minuciosos, el número de fallas trae como consecuencia que se deban tener repuestos en sitio para solventar en la brevedad posible los daños o fallas del generador. Los fallos en este equipo han producido shutdown de la Central y han afectado seriamente a las actividades de operación del campo Cononaco pues el tiempo de recuperación de los pozos es afectado.

4.4.7. Generador #7

En la figura 4-9, se presentan las horas de fallos ocurridos en las diferentes áreas de funcionamiento del generador 7, instantáneamente se observa similitudes al generador 6, puesto que del año 2014 al 2015 la cantidad de horas de fallo aumenta. Al igual que en el caso del generador 6, se debe garantizar que este incremento no representará una tendencia de crecimiento para el 2016.

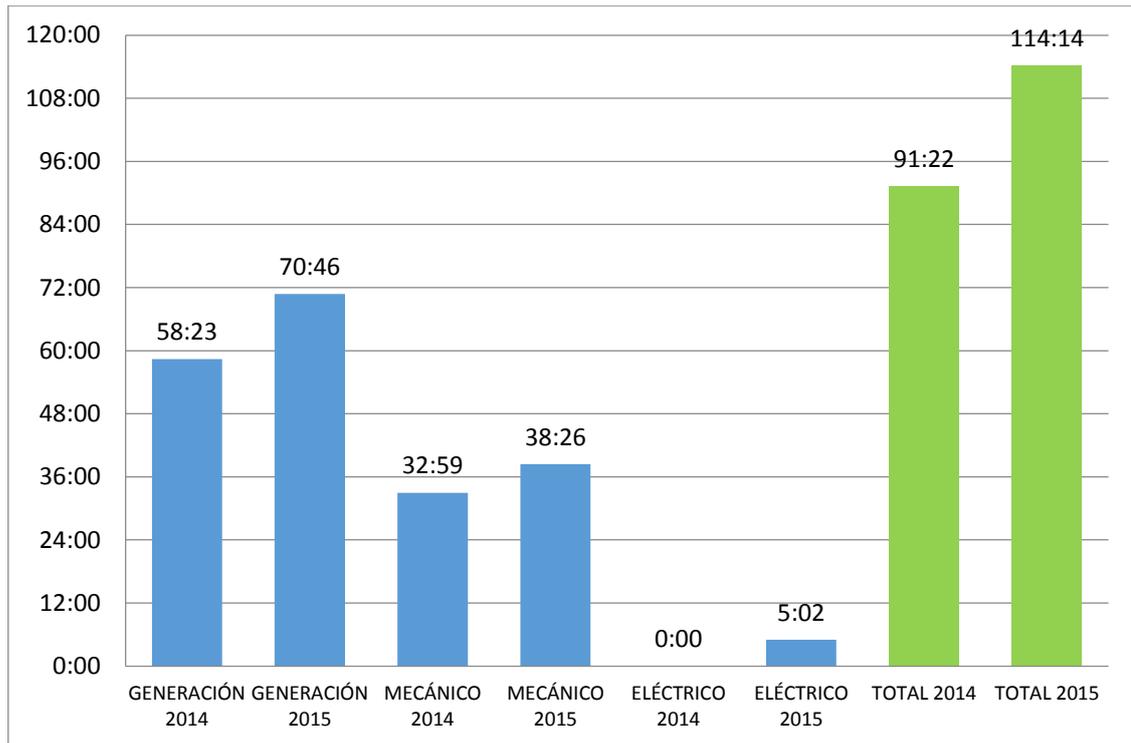


Figura 4-9. Generador #7 Total horas fallo por sección años 2014-2015

Fuente: Chaquina, R. 2016

Es muy importante mencionar de nuevo que tras el análisis de varios generadores siempre el área eléctrica es la que menor incidencia tiene en la cantidad de horas de fallo, lo que sin duda sugiere que el esfuerzo en los mantenimientos debe enfocarse a las áreas de generación y mecánica.

Cálculos Año 2014-2015

Tabla 4-8. Cálculos Generador #7

GENERADOR #7		
TIEMPO TOTAL		8760h
	2014	2015
Número de fallas	7	11
Horas de fallo	91	114
Horas de operación	8760	8760
MTBF (horas)	1251.4	796.3
MTRR (horas)	13	10.36
Mantenibilidad (12h)	60.27%	68.59%
Disponibilidad	98.97%	98.72%
Confiabilidad (500h)	67.06%	53.37%
Tasa de fallos (λ)	0.0008	0.0013
Tasa de reparación (μ)	0.0769	0.0965

Fuente: Chaquina, R. 2016

Se observa en la tabla 4-8, que hubo paradas no programadas y un comportamiento similar al generador 6, se tiene un tiempo medio de reparación de 13 horas; en el año 2014 tenía una mantenibilidad del 60.27%, disponibilidad de 98.9% y confiabilidad de 67.06%, para el año 2015 una mantenibilidad del 68.59%, disponibilidad del 98.7% y confiabilidad del 53.37%, con lo que se manifiesta la necesidad de disminuir el número de fallas para poder mejorar la confiabilidad.

4.4.8. *Generador #8*

En la figura 4-10, se puede observar una diferencia significativa en las áreas de falla, siendo la mecánica muy superior al resto. Lo anterior pone de manifiesto la imperiosa necesidad de mejorar desempeño del área mecánica de este generador con el propósito de incrementar los índices RAM.

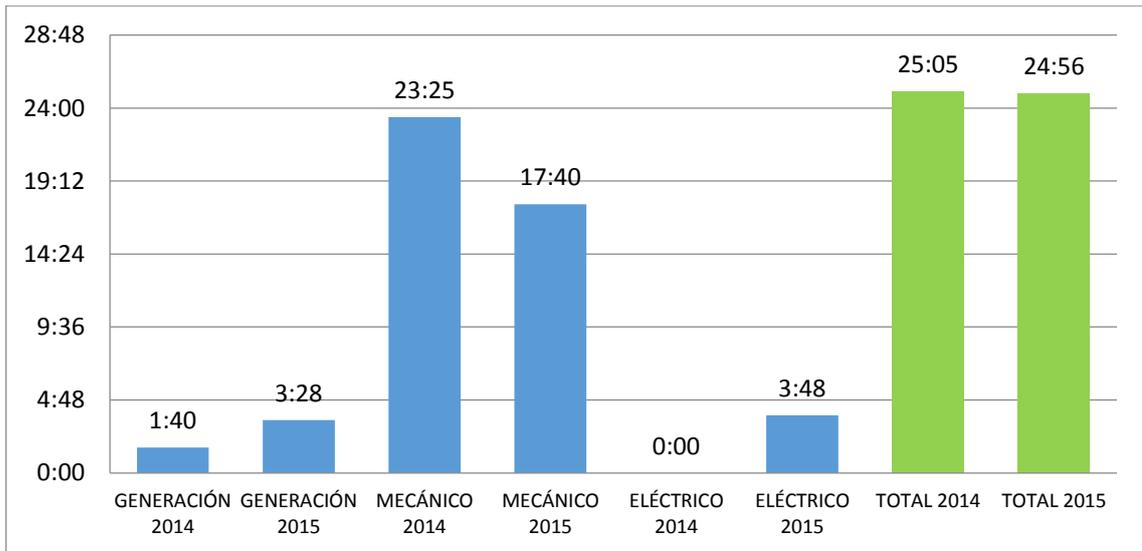


Figura 4-10. Generador #8 Total horas fallo por sección años 2014-2015

Fuente: Chaquina, R. 2016

De acuerdo a lo mostrado en la figura 4-10, en el 2014 se tuvo una hora de fallo en el área de generación frente a las tres horas que se tuvo en el 2015, así mismo se puede ver que las horas de fallo mecánico en 2014 llegaron a un total de 23 que se vio reducido a 17 horas en 2015, las horas de fallo del área eléctrica solo existieron en 2015 con tan solo tres horas y 48 minutos.

Cálculos Año 2014-2015

Tabla 4-9. Cálculos Generador #8

GENERADOR #8		
TIEMPO TOTAL	8760h	
	2014	2015
Número de fallas	4	6
Horas de fallo	25	25
Horas de operación	8760	8760
MTBF (horas)	2190.00	1460.00
MTTR (horas)	6.25	4.17
Mantenibilidad (12h)	85.34%	94.39%
Disponibilidad	99.72%	99.72%
Confiabilidad (500h)	79.59%	71.00%
Tasa de fallos (λ)	0.0005	0.0007
Tasa de reparación (μ)	0.1600	0.2400

Fuente: Chaquina, R. 2016

Se observa que la disponibilidad es igual en los 2 periodos analizados según la tabla 4-9. El número de horas de falla se mantiene igual en ambos periodos. Aunque se debe trabajar para evitar que se convierta en una tendencia creciente, la mantenibilidad en el 2014 es del 85.34% y en el 2015 del 94.39% debido al mayor número de fallas, pero solventadas en un periodo corto de tiempo

4.4.9. Resumen de cálculos

El resumen de los índices obtenidos de los Generadores en el año 2014 y 2015 se detallan en la tabla 4-18, se toma en consideración los índices más significativos como son la mantenibilidad 12 horas, la disponibilidad y la confiabilidad en 500 horas.

Tabla 4-10. Resumen de índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad

EQUIPO	AÑO	MANTENIBILIDAD (12h)	DISPONIBILIDAD	CONFIABILIDAD (500h)
		M	D	R
GENERADOR 1	2014	9.39%	94.73%	79.59%
	2015	95.02%	99.77%	75.17%
GENERADOR 2	2014	61.71%	99.43%	79.6%
	2015	99.75%	99.98%	94.5%
GENERADOR 3	2014	93.05%	99.95%	94.5%
	2015	92.36%	99.84%	84.3%
GENERADOR 5	2014	96.76%	99.84%	79.6%
	2015	86.47%	99.93%	94.5%
GENERADOR 6	2014	78.62%	99.21%	59.8%
	2015	79.23%	99.05%	53.4%
GENERADOR 7	2014	60.27%	98.97%	67.1%
	2015	68.59%	98.72%	53.4%
GENERADOR 8	2014	85.34%	99.72%	79.6%
	2015	94.39%	99.72%	71.0%

Fuente: Chaquina, R. 2016

En el resumen de los cálculos se observa que el generador con más fallos es el numero 6 debido a que sus índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad son bajos y afectan las operaciones normales, por otro lado, los generadores MTU son más confiables y tienen mejor desempeño.

4.5 Sistemas, Subsistemas, modos y efectos de falla

A continuación, se analizan los sistemas, subsistemas y componentes, función, falla funcional y modo de falla de los generadores de la Central de Generación, de los años 2014 y 2015 como se ve en la tabla 4-14. Siendo estos los siguientes sistemas: Sistema de arranque, Generador, Motor, Sistema de enfriamiento, Sistema de combustible, Control y monitoreo, Sistema de lubricación

Estos sistemas y subsistemas están basados en la Norma ISO 14224



Figura 4-11. Fallas por sistemas de los generadores

Fuente: Chaquina, R. 2016

Como se observa en la figura 4-11, nos indica que las fallas más recurrentes se presentan en el generador y motor siendo estas 42 en los años 2014 y 2015. En estas dos áreas es donde se debe enfocar los planes de mantenimiento, posterior a bajar la frecuencia hasta un número menor a 8 entonces se deberá proceder a disminuir las fallas referentes al sistema de combustible, control y monitoreo, y sistema de enfriamiento.

Tabla 4-11. Modos y efectos de fallas

EQUIPO/SISTEMA	COMPONENTE	FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE FALLA
Sistema de Arranque	Motor de arranque	Transmite la energía necesaria para que el motor arranque	Motor de arranque no gira	Bendix atascado	No gira el motor de arranque
				Desconexión de cables de alimentación	No gira el motor de arranque
				Fallo en escobillas	No gira el motor de arranque
			El motor de arranque no tiene fuerza suficiente para girar el motor	Bajo voltaje de baterías	Motor no gira y falta potencia
				Solenoides de paso de combustible cerradas	Motor no gira y falta potencia
Generador	Regulador de Voltaje	Regular el voltaje de salida del Generador	Variaciones en la salida de voltaje	Daño en regulador	Generador trabaja fuera de parámetros
	Placa de diodos	Rectificar el voltaje de salida de la excitatriz	Variaciones en la salida de voltaje	Rectificador quemado	Generador trabaja fuera de parámetros
	Breaker	Dar paso de energía eléctrica hacia la carga y proteger de sobrecorrientes y sobrevoltajes	Apertura inesperada de breaker	Falsa alarma de sobrecorriente	El Generador deja de aportar a la red
				Mal funcionamiento de componentes de breaker	El Generador deja de aportar a la red

Motor	Alternador	Alimentar la carga de las baterías del generador	No carga las baterías	Bandas flojas	La batería no tiene carga ni voltaje necesario
			No hay energía de alimentación a sistema de control	Cableado y contactos defectuosos o flojos los terminales	La batería no tiene carga ni voltaje necesario
	Cabezote	Distribución de aire y combustible líquido hacia la Cámara de combustión.	Operación con temperaturas de cabezote elevadas, parada de motor.	Incremento de desviaciones de Temperatura entre válvulas.	Perdida de energía
	Carter	Mantener un sistema cerrado de lubricación	Alta presión de Carter	Fuga de aceite en la entrada a Carter	Parada del motor
	O-ring	Evitar fugas de aceite	Fuga de aceite	Desgaste de material	Parada del motor
	Sensor de presión de Carter	Monitorea la presión de Carter	Lecturas anormales	Desgaste de sensor	Parada del motor
	Pistones	Mantener compresión de motor	Velocidad anormal	Desgaste de material	Generador opera de forma anormal
Sistema de Enfriamiento	Bandas	Transmite la fuerza del cigüeñal hacia el radiador	No gira el radiador adecuadamente	Bandas flojas	Alta temperatura de agua y apaga el generador

	Manguera	Conexión entre radiador y motor la línea de agua	Incremento de temperatura de agua de motor	Rotura de elemento	Apaga el generador
	Polea	Impulsa el ventilador	Incremento de temperatura de agua de motor	Rotura de elemento	Apaga el generador
	Radiador	Mantiene la temperatura adecuada de operación del motor	Incremento de temperatura	Rotura del elemento	Apaga el generador
	Bomba de agua	Mantener presión de agua adecuada en el motor	Incremento de temperatura	Daño interno de la bomba	Apaga el generador
	Ventilador	Mantener el refrigerante a temperatura adecuada	Incremento de temperatura	Daño en bandas	Apaga el generador
Sistema de Combustible	Bomba de transferencia de Combustible	Da la presión necesaria para el funcionamiento del motor	No llega a la velocidad nominal del motor	Componente averiado	Perdida de velocidad
	Cañería	Distribuir el combustible a la succión o descarga de las bombas de inyección de combustible.	Parada de motor.	Pitting en cañería de Combustible.	Pérdida de generación de energía. Cambio de cañería de combustible.

	Filtros de Combustible	Filtrar y separar sólidos del combustible que va a ingresar al motor.	Disminución de presión de combustible. Parada de motor.	Alto diferencial de presión en filtros de combustible / Disminución de presión de combustible.	Pérdida de generación de energía. Cambio de filtro de combustible.
Control y Monitoreo	Easygen	Controlar parámetros del generador y reparto de carga	Parámetros anormales de operación	Daño en tarjeta de comunicación	Pérdida de control en generador
			Falsas alarmas	Cables flojos	Apaga Generador
	Plc	Comunicación entre controladores y HMI	Lecturas anormales en HMI	Calentamiento excesivo	Apaga generador
	Tarjeta electrónica	Controla y monitorea parámetros del motor	Parámetros anormales de operación	Daño en tarjeta electrónica	No enciende el motor
Sistema de lubricación	Bomba de Aceite	Mantener presión de aceite adecuada	Baja presión de aceite	Taponamiento de filtros	Perdida de presión de aceite y apaga el motor

Fuente: Chaquinga, R. 2016.

4.6 Análisis de Pareto de modos de falla y Criticidad de fallas

Se analizaron los modos de fallas en el período comprendido desde el 01 de enero del 2014 hasta el 31 de diciembre del 2015. Se calculó el porcentaje de ocurrencia de un total de fallas y porcentaje de acumulado que es resultado de la sumatoria del porcentaje acumulado del modo de fallo anterior más el porcentaje de ocurrencia del modo de fallo en análisis. Al graficar el porcentaje de ocurrencia y el porcentaje acumulado, se pudo evidenciar y verificar que el 80 % de fallas se genera por un 20% de causas.

Además, se realizó una matriz de criticidad de fallas para evidenciar los componentes críticos, y se tomó parámetros como la ocurrencia, detectabilidad y gravedad y sus respectivas recomendaciones para cada caso.

Tabla 4-12. Análisis de Pareto de modos de fallas 2014-2015

CAUSAS	Frecuencia	Frecuencia Normalizada	Frecuencia Acumulada
Regulador de Voltaje	14	20%	20%
Filtros de Combustible	13	19%	39%
Breaker	7	10%	49%
Alternador	5	7%	56%
Easygen	5	7%	63%
placa de diodos	3	4%	67%
Carter	2	3%	70%
Manguera	2	3%	73%
Plc	2	3%	76%
Sensor de Presión de Carter	2	3%	79%
Bandas de Motor	1	1%	80%
Bomba de Trans. Combustible	1	1%	81%
Bomba de Aceite	1	1%	83%
Cañería	1	1%	84%
Cabezote	1	1%	86%
Falla a Tierra	1	1%	87%
Motor de Arranque	1	1%	89%
O-ring	1	1%	90%
Pistones	1	1%	91%
Polea	1	1%	93%
Radiador	1	1%	94%
Tarjeta Electrónica	1	1%	96%
Bomba de Agua	1	1%	97%
Sobrecarga	1	1%	99%
Ventilador	1	1%	100%

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

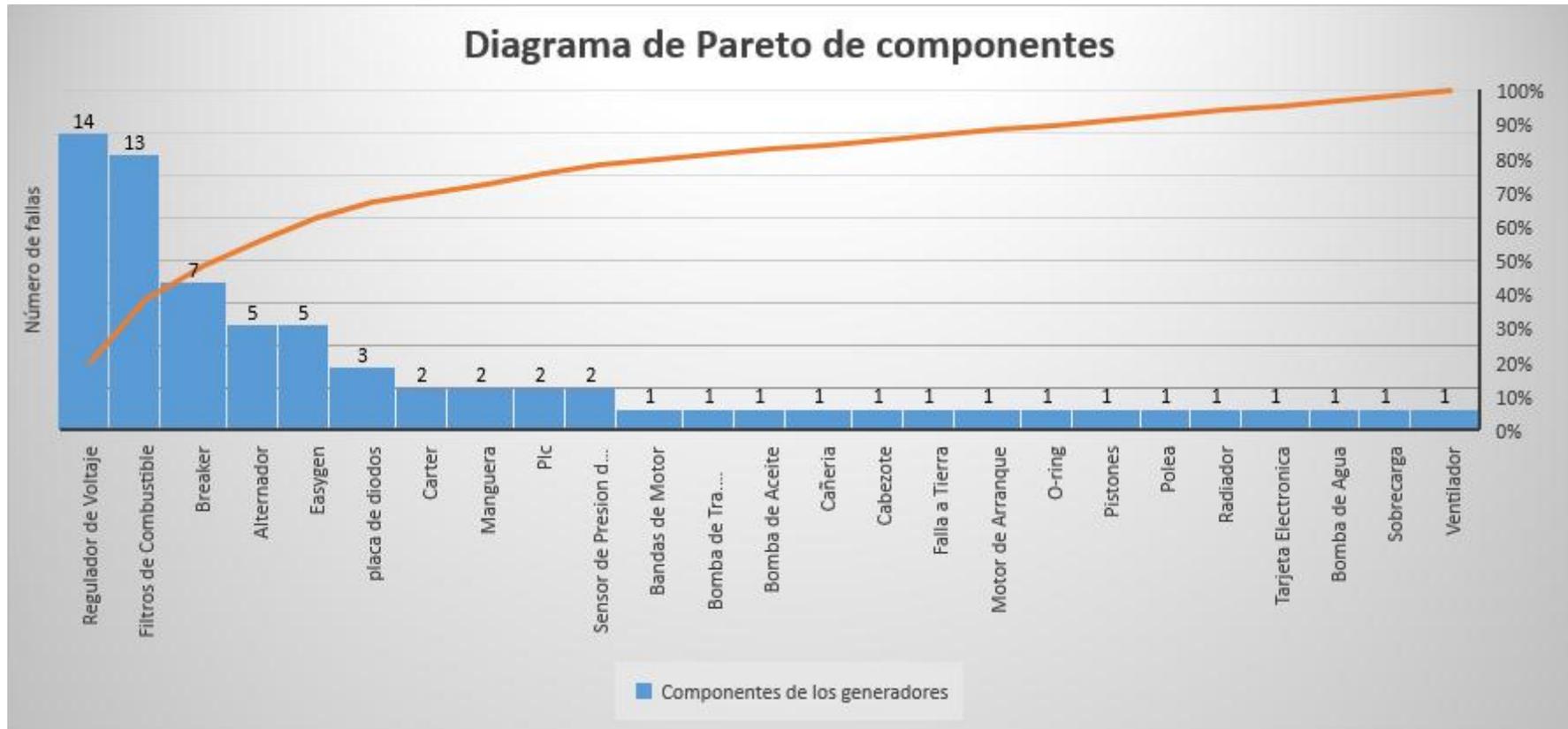


Figura 4-12. Diagrama de Pareto años 2014-2015

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

Como se observa en la figura 4-12, los componentes con más fallas son los reguladores de voltaje y filtros de combustible por lo que se debería hacer un análisis más minucioso de estos componentes, ya que sus fallas representan un alto porcentaje.

Tabla 4-13. Criticidad de Fallas y Acciones recomendadas

EQUIPO/SISTEMA	COMPONENTE	SSO	AMB	REP	PROD	CAL	MTTR	TOTA	ocurren	O	D	NPR inicial	Acciones recomendadas	Frecuencia recomendada	gravedad	G	ocurren	O	detección	D	NPR final
Sistema de arranque	Motor de arranque	1	1	2	1	1	1	7	1	2	2	14	Revisión periódica de conexiones y mecanismos	200h	5	1	2	2	2	10	
Generador	Regulador de voltaje	1	1	2	5	4	4	17	5	2	2	170	Verificar conexiones y configuraciones de regulador	500h	10	4	2	2	2	80	
	Placa de diodos	1	1	1	2	2	4	11	2	2	2	44	Realizar limpieza de placa de diodos	1000h	10	2	2	2	2	40	
	Breaker	2	1	2	5	4	4	18	2	1	1	36	Mantenimiento de partes mecánicas y electrónicas de breaker	2000h	15	1	1	1	1	15	
Motor	Alternador	1	1	2	2	2	2	10	2	1	1	20	revisión de cableado y ajuste de bandas	2000h	10	1	1	1	1	10	
	Cabezote	1	2	3	4	3	5	18	1	2	2	36	Revisión de niveles de aceite y parámetros de motor	48h	15	1	1	2	2	30	
	Carter	1	2	1	2	4	3	13	2	1	1	26	Revisión de niveles de aceite	48h	10	1	1	1	1	10	

	O-Ring	1	1	1	2	3	3	11	1	2	22	Revisión de niveles de aceite y parámetros de motor	48h	10	1	2	20
	Pistones	2	2	3	5	4	4	20	1	2	40	Revisión de niveles de aceite y parámetros de motor	48h	15	1	2	30
	Sensor de presión de Carter	1	2	1	2	4	3	13	2	1	26	Revisión de cableado y parámetros de lectura	3 meses	10	1	1	10
Sistema de enfriamiento	Bandas	2	2	1	3	4	3	15	1	1	15	revisión de ajuste de bandas	1 mes	12	1	1	12
	Manguera	1	2	2	2	4	1	12	2	1	24	revisión de estado de mangueras	3 meses	12	1	1	12
	Polea	2	2	2	2	3	3	14	1	1	14	revisión de desgaste de material	3 meses	12	1	1	12
	Radiador	2	2	3	4	4	3	18	1	1	18	verificar fugas de refrigerante	1 mes	15	1	1	15
	Ventilador	1	2	1	2	3	3	12	1	2	24	revisión de componentes mecánicos	2 meses	12	1	2	24
	Bomba de agua	1	2	2	2	3	2	12	1	2	24	revisión de presión de trabajo adecuada	2 meses	12	1	2	24

Sistema de Combustible	Bomba de trans. de Combustible	2	2	3	2	4	3	16	1	2	32	verificar presión de combustible	1 mes	16	2	2	64
	Cañería	3	2	2	3	3	3	16	1	1	16	verificar liqueos de cañerías	1 mes	16	1	1	16
	Filtros de Combustible	2	3	3	5	5	4	22	4	2	176	verificar estado de filtros y presión de combustible	240 h	20	2	2	80
Control y monitoreo	Easygen	2	2	4	4	4	3	19	2	2	76	Realizar mantenimientos de elementos de Tablero de control	3 meses	16	2	2	64
	PLC	2	2	2	3	2	2	13	2	1	26	sacar respaldos de programas	3 meses	12	1	1	12
	Tarjeta electrónica	2	2	3	3	4	5	19	1	3	57	verificación de operación normal de tarjetas	6 meses	18	1	3	54
Sistema de lubricación	Bomba de aceite	2	1	2	3	3	3	14	1	3	42	revisión de presión de aceite de motor	240 h	14	1	3	42

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

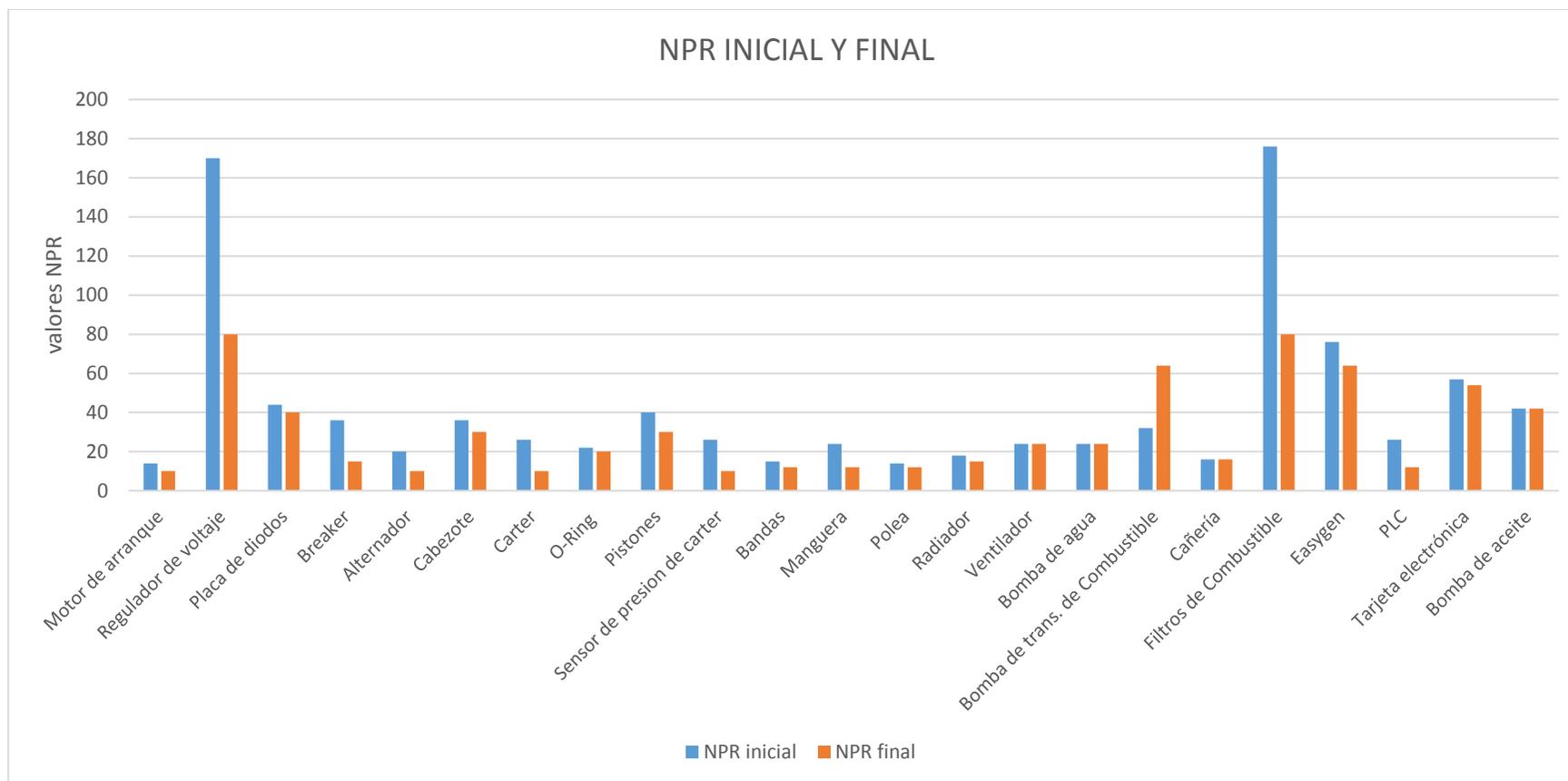


Figura 4-13. Npr Inicial y Final de criticidad de componentes

Fuente: Chaquinga, R. 2016

Como se observa en la figura 4-13, los componentes con mayor criticidad son los reguladores de voltaje y filtros lo cual se recomienda acciones para bajar el índice de criticidad NPR y su frecuencia para realizar dicha tarea. Con lo que los índices NPR bajarían y la confiabilidad de los generadores se incrementaría notablemente, también es recomendable tener estos repuestos críticos en el sitio de trabajo.

4.7 Confiabilidad del sistema Año 2014

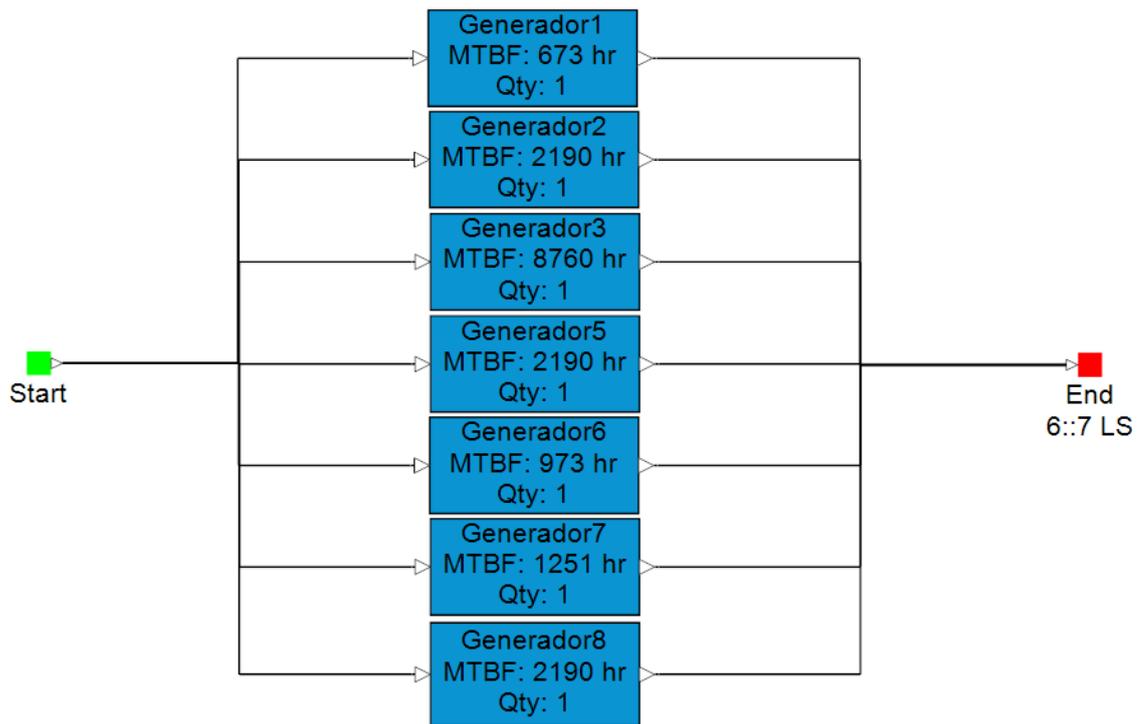


Figura 4-14. Sistema de generación año 2014

Realizado por: Chaquina, R. 2016

Tabla 4-14. Sistema de generación 2014

Tiempo	Confiabilidad	Rata de fallos	Disponibilidad	Frecuencia de fallos	N. esperado de fallos
0	1	NA	1	NA	0
45,45	0,978	489,40	0,999	220	0,01
90,91	0,926	1201,97	0,996	330	0,025
136,36	0,86	1626,72	0,995	396	0,043
181,82	0,792	1812,16	0,995	572	0,069
227,27	0,698	2779,53	0,996	528	0,093
272,73	0,644	1771,44	0,995	528	0,117
318,18	0,574	2531,52	0,997	396	0,135
363,64	0,51	2600,81	0,997	462	0,156
409,09	0,429	3804,98	0,998	418	0,175
454,55	0,373	3077,32	0,998	330	0,19
500	0,33	2694,68	0,996	352	0,206

Cálculos realizados con el programa Relex 2009

Realizado por: Chaquina, R. 2016

Como se puede observar la confiabilidad del sistema a las 500 horas de trabajo de operación es del 33% lo que indica que es un valor bajo y que se va a tener algún

Mantenimiento Correctivo en este periodo, con lo cual puede afectar seriamente a la producción.

4.8 Confiabilidad del sistema Año 2015

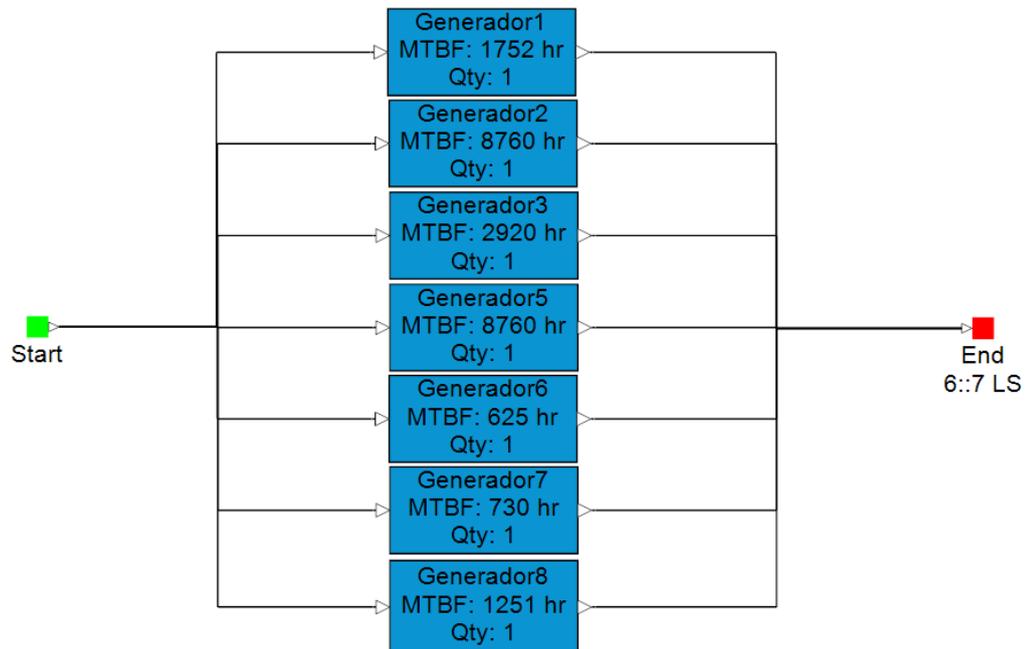


Figura 4-15. Sistema de generación año 2015

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

Tabla 4-15. Sistema de generación 2015

Tiempo	Confiabilidad	Rata de fallos	Disponibilidad	Frecuencia de fallos	N. esperado de fallos
0	1	NA	1	NA	0
45,45	0,984	354,84	1	88	0,004
90,91	0,941	983,02	1	66	0,007
136,36	0,873	1650,16	1	110	0,012
181,82	0,787	2281,56	0,999	176	0,02
227,27	0,711	2234,22	1	154	0,027
272,73	0,623	2906,77	1	132	0,033
318,18	0,559	2384,73	0,999	198	0,042
363,64	0,496	2630,61	1	110	0,047
409,09	0,436	2836,54	1	132	0,053
454,55	0,387	2622,78	0,999	176	0,061
500	0,341	2783,92	0,999	154	0,068

Cálculos realizados con el Programa Relx 2009

Realizado por: Chaquina, R. 2016

4.9 Demostración de la hipótesis

Según (Nicholls, 2005), en su libro System Reability Toolkit, da tiempo medio entra fallos para varios tipos de equipos entre los que se encuentran generadores a diésel e indica que su MTBF debe estar entre un rango de 7000 a 14000 horas, con lo que el valor deseado mínimo para los generadores sería 7000h para poder estar en rangos aceptables de operación.

Cálculo de confiabilidad esperada según MTBF

$$R(t) = e^{-\lambda*t} = e^{-\frac{1}{MTBF}*t}$$

$$R(t) = 2.71828^{-\frac{500}{7000}}$$

$$R(t) = 2.71828^{-0.0714285}$$

$$R(t) = 0.931$$

Lo que equivale al 93.1% de confiabilidad en las 500 horas de operación.

Tabla 4-16.- Valores de confiabilidad actuales y esperados

EQUIPO	MTBF ACTUAL	CONFIABILIDAD ACTUAL	DISPONIBILIDAD	MTBF (h) ESPERADO	CONFIABILIDAD ESPERADA
GENERADOR 1	1971	77.3%	97.25%	7000	93.1 %
GENERADOR 2	5475	87%	99.7%	7000	93.1 %
GENERADOR 3	5840	89%	99.9%	7000	93.1 %
GENERADOR 5	5475	87%	99.9%	7000	93.1 %
GENERADOR 6	884	57%	99.1%	7000	93.1 %
GENERADOR 7	1023	60%	98.8%	7000	93.1 %
GENERADOR 8	1825	75%	99.7%	7000	93.1 %

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

En la tabla 4-16, se observa los MTBF actuales y esperados de cada uno de los generadores, así mismo la confiabilidad actual y la esperada cabe mencionar que se tiene altos índices de disponibilidad.

A continuación, se realiza un plan de mantenimiento para tratar de alcanzar los índices de confiabilidad esperados.

Tabla 4-17. Tareas de mantenimiento recomendadas para los generadores

ACCIONES RECOMENDADAS	FRECUENCIA
Inspección alrededor del motor	diaria
Comprobar nivel de aceite	
Drenar el agua y sedimentos	
Chequear nivel de refrigerante	
chequear presión diferencial de filtro de aire	
chequear presión diferencial del filtro de combustible	
Inspeccionar panel de instrumentos	
Análisis programado de aceite	500 h
reemplazar aceite y filtros del motor	
agregar aditivo de refrigerante	
Drenar el agua y sedimentos	
Limpiar y comprobar el nivel de electrolito de las baterías	
Inspeccionar mangueras y bandas	
Reemplazar filtro primario del sistema de combustible	
Lubricar mando del ventilador	
Inspeccionar válvulas del motor	
Ajustar inyectores de combustible	
Limpiar radiador	
Análisis del refrigerante del sistema de enfriamiento	1000 h
Limpiar motor	
Cambiar filtros y aceite de motor	
Chequear dispositivos de protección	
Reemplazar filtro primario del sistema de combustible	
Revisar conexiones de regulador de voltaje y sus configuraciones	
cambiar filtro secundario del sistema de combustible	
Inspeccionar amortiguador de vibraciones del cigüeñal	2000 h

Revisar soportes del motor	
Inspeccionar turbocompresor	
Cambiar refrigerante del sistema de enfriamiento	3000 h
Añadir refrigerante diluyente del sistema de enfriamiento	
Ajustar juego de válvulas del motor	4000 h
Ajustar el inyector de combustible	
Limpiar la placa de diodos rectificadores del generador	
Reemplazar termostatos	6000 h
Cambiar turboalimentadores	
Cambiar bomba de agua	
Limpiar internamente el alternador del motor	

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

4.10 CONCLUSIONES:

1. La confiabilidad de los generadores uno, dos, tres, cinco y ocho de la central de generación están entre el 75.17% al 94% para las 500 horas de operación; en el generador seis y siete se encuentran entre el 53% al 57%; debido a las fallas en filtros de combustible, reguladores, y breaker esencialmente, con lo cual se debe revisar estos elementos más constantemente.
2. La mantenibilidad de los generadores se encuentra entre el 69% al 96.76%, es un porcentaje que un momento determinado puede afectar a la totalidad de la generación en la central; al ser equipos críticos se requiere que sean restablecidos en el menor tiempo posible. El presente análisis también permitió observar que se realizan demasiados mantenimientos, pero del tipo correctivo.
3. La disponibilidad de los generadores esta entre el 94.73% al 99.98%, en la central de generación Cononaco 19 se trabaja con los generadores conectados en paralelo, esto permite que la planta no tenga muchos shutdown y es la razón por la cual la disponibilidad es un valor casi ideal; sin embargo, si se eleva la mantenibilidad aumentara la disponibilidad.
4. Se elabora un plan de mantenimiento según la tabla 4-17, que permite mejorar los índices de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, en el cual se debe tomar acciones a las 500h, 1000h, 2000h, 3000h, 4000h, 6000h, con tareas específicas. El rango de las 500 horas entre mantenimientos está restringida al tipo de aceite que utilizan los generadores. Si se toma rangos inferiores hablese de 400, 300, etc., horas lo que se consigue es que los índices del RAM suban, pero a cambio se debe disponer de un mayor uso hora hombre asignado a tareas específicas de mantenimiento, que elevan también el costo del mismo. Por, otro lado si se aumenta el rango de horas entre mantenimientos el índice de confiabilidad disminuye, lo cual no cumple con el propósito de esta investigación.

4.11 RECOMENDACIONES

1. En base al estudio de la Confiabilidad de la Central de Generación se recomienda que en cada mantenimiento preventivo realizar una inspección más detallada de los componentes de los generadores como es conexiones flojas de los componentes

- eléctricos, inspección y pruebas de los elementos de breakers, revisión por posibles fugas de aceite y combustible, verificar voltajes y estado de las baterías.
2. Se requiere la aplicación de un análisis de los modos y efectos de falla (FMECA) basado en la norma EN 60812:2006, para determinar técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo en los equipos componentes del sistema de la Central de Generación.
 3. Tener repuestos críticos en la estación como filtros de aire, filtros de combustible, filtros racor, reguladores de voltaje, pues estos componentes son los que más han producido paradas no programadas y con esto con toda seguridad disminuiría el tiempo de reparación.
 4. Es importante capacitar al personal que opera la Central de Generación en temas relacionados a generadores, sistemas de control, refuerzo en permisos de trabajo, riesgos eléctricos para evitar lesiones al personal y sobre el plan de mantenimiento propuesto.
 5. Hacer análisis de los aceites de los motores en funcionamiento y de vibraciones de cada generador para prevenir incidentes y disminuir los fallos por alta vibración que puede ser causante de una falsa señal de alarma.
 6. La implementación de un sistema de deslastre de carga para que al producirse un fallo mayor en la Central abra los reconectores de pozos de menor producción y evitar un shutdown total de la planta.
 7. Si luego de inspeccionar se detecta fallas, daños o taponamiento en los filtros, realizar el cambio antes de las 500 horas de los filtros de combustible y aceite.
 8. Motivar a operadores y técnicos para que todas las tareas sean registradas en el Sistema Máximo debido a que ayudará a tener la información actualizada de la Central de Generación y tener índices RAM más acordes a la realidad.
 9. Para futuras investigaciones de análisis RAM, se debe tener claro los tiempos de trabajo del personal, la confiabilidad a ciertas horas de operación,
 10. El presente trabajo puede servir de guía para estudios en otros equipos o plantas de Petroamazonas y de otros sistemas similares dentro y fuera del país.

Bibliografía

Aguero, M. (2014). *Análisis de Confiabilidad, Disponibilidad y Mantenibilidad de Sistemas*. Bogotá Reliability&risk management.

Arenas A & Guisao J. (2009). *Metodología de Mantenimiento Basado en la Confiabilidad*. Medellín: Universidad Nacional de Medellin.

Arreaza, A. (2016). *Trabajo especial de grado estudio de factibilidad para la instalación de generación distribuida en la electricidad de caracas*, Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/291173784/Tesis-Alex-Arreaza-Venezuela>, Universidad Central de Venezuela

Asociacion Española de Normalizacion y Certificacion (AENOR). 2011. Terminología del mantenimiento UNE-EN 13306. Madrid-España, AENOR, p.9,19

Asset M. (2014). *Confiabilidad 101: Falla Potencial vs Falla Funcional* Obtenido de amtbox.tumblr.com: <http://amtbox.tumblr.com/post/78443055910/confiabilidad-101-falla-potencial-vs-falla>, España, Reliability Centered Maintenance (RCM)

Billinton R. (1995). *Reliability Evaluation of Engineering Systems*. Madrid: ISDEFE.

Caña, A. (2016). *Analisi del RAM de la planta de inyeccion de aguadores de petroleo de Venezuela, S.A.* Obtenido de <http://159.90.80.55/tesis/000133297.pdf> , Veenzuela. Univercidad Simom Bolivar

Chilworth, M. (2015). *Process safety7 competency* Obtenido de <http://www.chilworth.es/archivos/145archivo.pdf>. México. Dekra Insight

Davis, P. (2016). *Reingenieria de pocesos*. Obtenido de Bog: <http://reingenieriadeprocessos.es/estrategia-de-mantenimiento-industrial-centrado-en-la-confiabilidad-fiabilidad-rcm/>

Díaz, Á. (2012). *Confiabilidad en Mantenimiento*. Caracas: IESA.

Ebeling E. (1997). *Introducción al mantenimiento*. New York: Mc Graw-Hill.

García L. (2006). *La Disponibilidad como Objetivo*. España: IQ.

Guevara Carazas F.J., K. N. (2007). *Metodo para evaluacion de disponibilidad en sitemas de geenracion de energia electrica - aplicado a turbinas de gas*- Obtenido de

<http://congreso.pucp.edu.pe/cibim8/pdf/06/06-84.pdf> .Peru, Pontifica Univercisd Catolica del Peru

Guevara F. (2006). *Análisis de Disponibilidad*. Sao Paulo: EPUSP.

Institute American National Standards. (2007). *Definitions for Use in Reporting Electric Generating, Reliability, Availability and Productivity*. New York: IEEE.

Instituto de Investigación de Generación de Energía. (2008). *Rehabilitación de sistemas de mantenimiento*. Oxfor: Safety.

Kelly A. & Harris M. (2008). *Gestión del Mantenimiento*. España: REPSOL.

Knezevic J. (1996). *Mantenibilidad*. Madrid: McGraw-Hill.

Minitab, L. (2016). *Distribución de Weibull*. Obtenido de Bog: <http://support.minitab.com/es-mx/minitab/17/topic-library/basic-statistics-and-graphs/probability-distributions-and-random-data/distributions/weibull-distribution/>
Mini tab 17

Mora, G. (2007). *Mantenimiento Estrategico Empresarial*. Medellin: eafit.

Morales, G., & Lopez, M. (2016). Análisis de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad del sistema de compresión de gas de levantamiento de PDVSA, Petroregional de Lago SA.. Obtenido de 1: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2601-11-04136.pdf>, Maracaibo

Navarro Luis. (1997). *Gestión Integral de Mantenimiento*. Barcelona: Boixareu.

Nicholls, D. (2005). *System Reliability Toolkit*.

Petroleos de Venezuela PDVSA. (1998). *Manual de Indicadores de Mantenimiento*. España: UEI.

Petroamazonas. (2015). *Reporte Diario de producción*. Recuperado de www.petroamazonas.gob.ec, Ecuador. Petroamazonas EP

Reliabilityweb. (2015). *Indicadores de Confiabilidad Propulsores en la Gestion del Mantenimiento* Obtenido de <http://reliabilityweb.com/sp/articles/entry/indicadores-de->

confiabilidad-propulsores-en-la-gestion-del-mantenimiento. PDVSA, Ecuador.
Realiabilityweb

Rojas J. (2005). *Introducción a la Confiabilidad*. Colombia: Los Andes.

Sexto, L. (2014). *Ingeniería de fiabilidad, material de estudio, maestría de Gestión de Mantenimiento*. Ingeniería de fiabilidad. Riobamba. ESPOCH.

Smith D. (2001). *Reliability Maintainability and Risk*. España: Pearson.

Solé, C. (2005). *Fiabilidad y seguridad*. España: Marcombo.

Somagen S.A.S. (2015). *Somagen S.A.S.* Obtenido de <https://blancainesaya.wordpress.com/partes-de-un-grupo-electrogeno/>.

Norma UNE-EN 13306, U. E. (2002). *Terminología del Mantenimiento*. Madrid, España.

Valdes J. (2008). *Teoría de la Confiabilidad*. Cuba: ISCTN.

Yañez M. (2004). *Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo*. Venezuela: Pearson.

ANEXOS

ANEXO A

DATOS DE PLACA DE GENERADORES

DATOS DE PLACA DE MOTOR-GENERADOR

Tabla 1. Datos de placa de Generador #1

MTU		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS			RATINGS			
MOTOR		LSA 50.2 M6 C 6S/4		IP 23		VOLTAJE:	480	V
MTU DIESEL ENGINE		N°: 268844/1		DATE: 2011/27		PHASE:	3	
MODEL:	18V2000 G85	1800 RPM	60 HZ	WEIGHT:2450 Kg		CONN:	D	
ENGINE N°:	539 103 207	PF 0.80	TH CLASS.H	ALTID. 1000m		CONT:	1560	Kva
YEAR OF MANUFACTURE:	2011	A.V.R 448/450 EXCIT AREP			BR:	1248	Kw	
MASS:	3400 Kg	EXCIT VALVES	FUEL LOAD 46.30V/3.64A		40°C	1876	A	
			AT NO LOAD 0.82A		STD BY	1720	Kva	
POWER:	1191	D.E.BEARING			PR:	1376	Kw	
SPEED:	1800 RPM.	N.D.E. BEARING	63202ZC3		27°C	2084	A	

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 2. Datos de placa de Generador #2

MTU		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS			RATINGS			
MOTOR		LSA 50.2 M6 C 6S/4		IP 23		VOLTAJE:	480	V
MTU DIESEL ENGINE		N°: 268844/2		DATE: 2011/27		PHASE:	3	
MODEL:	18V2000 G85	1800 RPM	60 HZ	WEIGHT:2450 Kg		CONN:	D	
ENGINE N°:	539 103 206	PF 0.80	TH CLASS.H	ALTID. 1000m		CONT:	1560	Kva
YEAR OF MANUFACTURE:	2011	A.V.R 448/450 EXCIT AREP			BR:	1248	Kw	
MASS:	3400 Kg	EXCIT VALVES	FUEL LOAD 46.30V/3.64A		40°C	1876	A	
			AT NO LOAD 0.82A		STD BY	1720	Kva	
POWER:	1191	D.E. BEARING			PR:	1376	Kw	
SPEED:	1800 RPM.	N.D.E. BEARING	63202ZC3		27°C	2084	A	

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 3. Datos de placa de Generador #3

MTU		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS			RATINGS			
MOTOR		LSA 50.2 M6 C 6S/4		IP 23		VOLTAJE:	480	V
MTU DIESEL ENGINE		N°: 268845/1		DATE: 2011/27		PHASE:	3	
MODEL:	18V2000 G85	1800 RPM	60 HZ	WEIGHT:2450 Kg		CONN:	D	
ENGINE N°:	539 103 228	PF 0.80	TH CLASS.H	ALTID. 1000m		CONT:	1560	Kva
YEAR OF MANUFACTURE:	2011	A.V.R 448/450 EXCIT AREP			BR:	1248	Kw	
MASS:	3400 Kg	EXCIT VALVES	FUEL LOAD 46.30V/3.64A		40°C	1876	A	
			AT NO LOAD 0.82A		STD BY	1720	Kva	
POWER:	1191	D.E. BEARING			PR:	1376	Kw	
SPEED:	1800 RPM.	N.D.E. BEARING	63202ZC3		27°C	2084	A	

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 4. Datos de placa de Generador #4

MTU		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS		
MOTOR				
MTU DIESEL ENGINE				
MODEL:	18V 2000 G85			
ENGINE N°:	539 103 229			
YEAR OF MANUFACTURE:	2011			
MASS:	3400 Kg			
POWER: 1191				
SPEED: 1800 RPM.				
		RATINGS		
		VOLTAJE: 480 V		
		PHASE: 3		
		CONN: D		
		CONT: 1560 Kva		
		BR: 1248 Kw		
		40°C 1876 A		
		STD BY 1720 Kva		
		PR: 1376 Kw		
		27°C 2084 A		
		LSA 50.2 M6 C 6S/4 IP 23		
		N°: 268845/2 DATE: 2011/27		
		1800 RPM	60 HZ	WEIGHT:2450 Kg
		PF 0.80	TH CLASS.H	ALTID. 1000m
		A.V.R 448/450 EXCIT AREP		
		EXCIT VALVES FUEL LOAD 46.30V/3.64A		
		AT NO LOAD 0.82A		
		D.E. BEARING		
		N.D.E. BEARING 63202ZC3		

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 5. Datos de placa de Generador #5

CATERPILLAR		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS		
MOTOR				
MTU DIESEL ENGINE				
MODEL:	3512G			
ENGINE N°:	1GZ05497			
YEAR OF MANUFACTURE:	2008			
ARRANGEMENT NUMBER	274-1995			
POWER: 1200				
SPEED: 1800 RPM.				
CAF: 0009843				
		RATINGS		
		VOLTAJE: 480 V		
		PHASE: 3		
		CONN:		
		CONT: 1537 Kva		
		BR: 1230 Kw		
		40°C 1849 A		
		STD BY X Kva		
		PR: X Kw		
		27°C X A		
		MODELO: SR4D GD IP:		
		SERIE N°: DATE: 2008		
		1800 RPM	60 HZ	ARR N°: 262-8101
		PF 0.80	TH CLASS.H	
		A.V.R 448/450 EXCIT AREP		
		EXCIT VALVES		
		AT NO LOAD		
		CAF:		

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 6. Datos de placa de Generador #6

CATERPILLAR		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS		
MOTOR				
CAT DIESEL ENGINE				
MODEL:	3512 GD			
ENGINE N°:	1GZ04866			
YEAR OF MANUFACTURE:	2008			
ARRANGEMENT NUMBER	274-1995			
POWER: 1200				
SPEED: 1800 RPM				
CAF: 0009842				
		RATINGS		
		VOLTAJE: 480 V		
		PHASE: 3		
		CONN:		
		PRIME: 1537 Kva		
		BR: 1230 Kw		
		40°C 1849 A		
		STD BY X Kva		
		PR: X Kw		
		27°C X A		
		MODELO N°: SR4B-GD IP:		
		SERIE N°: G6J00397 DATE: 2007		
		1800 RPM	60 HZ	ARR N: 262-8100
		PF 0.80	TH CLASS.H	FRAME: 695
		A.V.R 448/450 EXCIT AREP		
		EXCIT VALVES FUEL LOAD 24V/5.1A		
		AT NO LOAD		
		D.E. BEARING		
		CAF: 0017034		

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 7. Datos de placa de Generador #7

CATERPILLAR		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS						
MOTOR					RATINGS			
CAT DIESEL ENGINE		MODELO: SR4B GD		IP:		VOLTAJE:	480	V
MODEL:	3512 GD	SERIE N°:		YEAR: 2008		PHASE:	3	
ENGINE N°:	1GZ05525	1800 RPM	60 HZ	ARR N°:262-8101		CONN:		
YEAR OF MANUFACTURE:	2008	PF 0.80	TH CLASS.H	FRAME: 824		CONT:	1537	Kva
ARRANGEMENT NUMBER	274-1995	A.V.R 448/450 EXCIT AREP				BR:	1230	Kw
POWER: 1200		EXCIT VALVES	FUEL LOAD 27V/5.9 ^a			40°C	1849	A
SPEED: 1800 RPM.		D.E. BEARING		AT NO LOAD		STD BY	X	Kva
		CAF: 0017028				PR:	X	Kw
						27°C	X	A

Fuente: PetroamazonasEP

Tabla 8. Datos de placa de Generador #8

CATERPILLAR		LEROY SOMER PARINER ALTERNATORS						
MOTOR					RATINGS			
CAT DIESEL ENGINE		MODELO: SR4D GD		IP:		VOLTAJE:	480	V
MODEL:	3512 GD	SERIE N°: G4W00674		DATE: 2008		PHASE:	3	
ENGINE N°:	1GZO5549	1800 RPM	60 HZ	ARR N°:262-8101		CONN:		
YEAR OF MANUFACTURE:	2008	PF 0.80	TH CLASS.H	FRAME: 824		CONT:	1537	Kva
ARRANGEMENT NUMBER	274-1995	A.V.R 448/450 EXCIT AREP				BR:	1230	Kw
POWER: 1200		EXCIT VALVES	FUEL LOAD 27V/5.9 ^a			40°C	1849	A
SPEED: 1800 RPM.		D.E. BEARING		AT NO LOAD		STD BY	X	Kva
CAF: 0009830		CAF: 0017032				PR:	X	Kw
						27°C	X	A

Fuente: PetroamazonasEP

ANEXO B

REGISTRO DE FALLAS DIARIAS

Tabla 9. Registro de fallas diarias año 2014

REGISTROS DE FALLAS ENERO - DICIEMBRE 2014									
Componente	Área	Fecha y Hora Inicio (dd/mm/aaaa hh:mm)		Fecha y Hora Fin (dd/mm/aaaa hh:mm)		Tiempo (h)	Horometro (h)	EQUIPO	Falla
Cañería	MECANICO	04-Jan-2014	8:00 AM	04-Jan-2014	2:00 PM	6:00	27648	GEN 5	MC, Cambio de cañería de combustible rota
Alternador	MECANICO	24-Apr-2014	7:32 PM	24-Apr-2014	10:32 PM	3:00	68424	GEN 6	SHD, Rotura del perno del alternador.provocando shutdown
Regulador de Voltaje	GENERACION	03-May-2014	2:34 PM	03-May-2014	3:37 PM	1:03	50472	GEN 7	MC, Daño en regulador y apaga por alta tención
Bandas de Motor	MECANICO	05-May-2014	11:40 AM	05-May-2014	4:06 PM	4:26	68680	GEN 6	MC, Roturas de bandas del ventilador y se procede a cambiar
Filtros de Combustible	MECANICO	09-May-2014	2:03 PM	10-May-2014	4:30 PM	26:27	50615	GEN 7	MC, Apaga por potencia inversa
Breaker	ELECTRICO	10-May-2014	10:00 AM	10-May-2014	12:40 PM	2:40	68798	GEN 6	MC, Se abre el breaker inesperadamente
Sobrecarga	GENERACION	14-May-2014	3:40 PM	14-May-2014	5:15 PM	1:35	50737	GEN 7	SHD, Se apaga por sobrecarga y produce apagado de planta
Filtros de Combustible	MECANICO	29-May-2014	3:44 PM	29-May-2014	6:23 PM	2:39	31135	GEN 5	MC, Se apaga por potencia inversa
Alternador	MECANICO	05-Jun-2014	3:30 PM	05-Jun-2014	6:10 PM	2:40	69427	GEN 6	MC, Daño en Alternador y se pierde alimentacion
Plc	GENERACION	08-Jun-2014	9:00 AM	09-Jun-2014	10:40 AM	25:40	32280	GEN 1	MC, Se apaga por problemas del PLC
Filtros de Combustible	MECANICO	15-Jun-2014	6:17 AM	15-Jun-2014	10:15 AM	3:58	31534	GEN 5	MC, Se apaga por potencia inversa
Placa de Diodos	GENERACION	06-Jul-2014	5:20 PM	06-Jul-2014	10:00 PM	4:40	70173	GEN 6	MC, Se abre el breaker del Gen. por daño en rectificador de diodos
Regulador de Voltaje	GENERACION	09-Jul-2014	7:03 AM	09-Jul-2014	3:00 PM	7:57	33022	GEN 1	MC, Se apaga por sobre excitación por daño en regulador de voltaje
Breaker	ELECTRICO	09-Jul-2014	5:31 PM	09-Jul-2014	8:00 PM	2:29	32121	GEN 5	MC, Por corto circuito en el breaker por un ratón
Filtros de Combustible	MECANICO	11-Jul-2014	5:18 PM	11-Jul-2014	7:00 PM	1:42	52130	GEN 7	MC, Baja frecuencia de generador
Easygen	GENERACION	21-Jul-2014	4:18 AM	21-Jul-2014	10:00 AM	5:42	70520	GEN 6	SHD, Se apaga por alarma en el controlador del Easygen
Tarjeta Electronica	GENERACION	03-Aug-2014	1:14 PM	21-Aug-2014	1:57 PM	432:43	33628	GEN 1	MC, Se apaga por problemas de la tarjeta del Generador
Motor de Arranque	MECANICO	25-Aug-2014	1:00 PM	25-Aug-2014	5:50 PM	4:50	53206	GEN 7	MC, Cambio de Motor de Arranque
Pistones	MECANICO	13-Sep-2014	4:24 PM	15-Sep-2014	2:54 PM	46:30	71828	GEN 6	MC, Falla en pistones y cambio de los mismos
Carter	MECANICO	14-Sep-2014	5:00 PM	15-Sep-2014	4:00 PM	23:00	68280	GEN 8	MC, Alta presión del cárter
Filtros Racor	MECANICO	19-Sep-2014	10:51 PM	19-Sep-2014	11:00 PM	0:09	31800	GEN 2	MC, Fuga de combustible de los filtros
Regulador de Voltaje	GENERACION	29-Sep-2014	6:03 AM	30-Sep-2014	10:30 AM	28:27	32023	GEN 2	MC, Variación de voltaje cambio de regulador
Regulador de Voltaje	GENERACION	03-Oct-2014	1:25 AM	03-Oct-2014	1:33 AM	0:08	72293	GEN 6	MC, Sobre excitación de regulador
Filtros de Combustible	MECANICO	04-Oct-2014	12:13 PM	04-Oct-2014	12:18 PM	0:05	72328	GEN 6	MC, Se apaga por potencia inversa
Bomba de Transferencia	MECANICO	04-Oct-2014	10:00 AM	05-Oct-2014	5:00 AM	19:00	32114	GEN 2	MC, Cambio de bomba de transferencia de combustible
Sobrecorriente	GENERACION	21-Oct-2014	1:25 PM	21-Oct-2014	3:05 PM	1:40	69164	GEN 8	MC, Corriente inversa
Plc	GENERACION	23-Oct-2014	8:00 AM	23-Oct-2014	12:50 PM	4:50	30240	GEN 3	MC, Plc Quemado
Filtros de Combustible	MECANICO	01-Nov-2014	6:15 PM	01-Nov-2014	6:32 PM	0:17	69433	GEN 8	MC, Se apaga por potencia inversa
Polea	MECANICO	06-Nov-2014	3:51 PM	07-Nov-2014	12:45 PM	20:54	35910	GEN 1	MC, Daño en polea del ventilador
Filtros de Combustible	MECANICO	27-Nov-2014	1:57 AM	27-Nov-2014	2:05 AM	0:08	70040	GEN 8	MC, Se apaga por potencia inversa
Regulador de Voltaje	GENERACION	05-Dec-2014	10:00 AM	07-Dec-2014	8:45 AM	46:45	55651	GEN 7	MC, Sobre tención y Corriente inversa
Manguera	MECANICO	07-Dec-2014	3:23 PM	07-Dec-2014	6:18 PM	2:55	33655	GEN 2	MC, Rotura de que conecta con el motor y en radiador
Regulador de Voltaje	GENERACION	12-Dec-2014	10:00 AM	12-Dec-2014	7:00 PM	9:00	55819	GEN 7	MC, Cambio de regulador de voltaje

Realizado por: Chaquinga, Roberto, 2016.

Tabla 10: Registro de fallas diarias año 2015

REGISTROS DE FALLAS ENERO - DICIEMBRE 2015							
Componente	Área	Fecha y Hora Inicio (dd/mm/aaaa hh:mm)	Fecha y Hora Fin (dd/mm/aaaa hh:mm)	Tiempo (h)	Horometro (h)	EQUIPO	Falla
O-ring	MECANICO	17-Jan-2015 9:00 AM	17-Jan-2015 11:00 AM	2:00	74845	GEN 6	MC, Cambio de O-ring linea de aceite del turbo de lado derecho
Alternador y Banda	MECANICO	18-Jan-2015 2:00 PM	18-Jan-2015 6:00 PM	4:00	71301	GEN 8	MC, Cambio de Alternador y Banda
Cabezote	MECANICO	20-Jan-2015 8:00 AM	20-Jan-2015 2:00 PM	6:00	74916	GEN 6	MC, Cambio de Cabezote
Breaker	ELECTRICO	04-Mar-2015 9:18 PM	04-Mar-2015 10:40 PM	1:22	38748	GEN 1	SHD, Apertura de breaker del cuarto de control
Easy gen	GENERACION	13-Mar-2015 1:00 PM	13-Mar-2015 6:00 PM	5:00	38956	GEN 1	MC, Falla en comunicación CAN de Easy gen
Easy gen	GENERACION	18-Mar-2015 10:30 AM	18-Mar-2015 10:57 AM	0:27	58123	GEN 7	MC, Falsa Alarma de Stop Easy gen
Regulador de Voltaje	GENERACION	24-Mar-2015 12:16 PM	24-Mar-2015 12:22 PM	0:06	58269	GEN 7	MC, Sobre corriente de Regulador
Easy gen	GENERACION	28-Mar-2015 10:00 AM	28-Mar-2015 3:50 PM	5:50	33986	GEN 3	MC, Error en Easy gen
Radiador	MECANICO	06-Apr-2015 1:25 PM	06-Apr-2015 7:25 PM	6:00	39532	GEN 1	MC, Se apaga por alta temperatura.
Regulador de Voltaje	GENERACION	13-Apr-2015 4:00 PM	13-Apr-2015 9:58 PM	5:58	58753	GEN 7	MC, Se apaga por sobre excitación y por muy baja carga.
Alternador	ELECTRICO	18-Apr-2015 6:12 PM	18-Apr-2015 10:00 PM	3:48	73465	GEN 8	MC, Bajo Voltaje de baterías de Control
Manguera	MECANICO	27-Apr-2015 12:26 PM	27-Apr-2015 7:50 PM	7:24	40035	GEN 1	MC, Rotura de la manguera del refrigerante
Sensor de presion de carter	GENERACION	08-May-2015 4:40 PM	08-May-2015 8:00 PM	3:20	73943	GEN 8	MC, Falla del sensor de presion de carter
Filtros de Combustible	MECANICO	11-May-2015 4:24 PM	11-May-2015 6:50 PM	2:26	59425	GEN 7	MC, Correccion de fuga de aceite por filtros
Breaker	ELECTRICO	16-May-2015 4:36 PM	16-May-2015 4:50 PM	0:14	77709	GEN 6	SHD, Apertura de breaker y shutdown de la planta
Regulador de Voltaje	GENERACION	21-May-2015 8:00 AM	21-May-2015 4:00 PM	8:00	59657	GEN 7	MC, Cambio de regulador de voltaje
Bomba de Aceite	MECANICO	30-May-2015 7:07 AM	30-May-2015 2:05 PM	6:58	35495	GEN 3	MC, Cambio de bomba de aceite por rotura
Breaker	ELECTRICO	07-Jun-2015 10:05 AM	07-Jun-2015 3:07 PM	5:02	60067	GEN 7	MC, Corto circuito en el breaker de la sala del 3 x 3
Regulador de Voltaje	GENERACION	25-Jul-2015 1:35 AM	25-Jul-2015 1:40 AM	0:05	60477	GEN 7	MC, Se apaga por sobreexcitación
Placa de diodos	GENERACION	03-Aug-2015 2:10 PM	03-Aug-2015 4:20 PM	2:10	60706	GEN 7	MC, Cambio de la placa de diodos por daño
Carter	MECANICO	22-Aug-2015 5:10 PM	22-Aug-2015 8:00 PM	2:50	80061	GEN 6	MC, Se apaga por alta presión del Carter
Regulador de Voltaje	GENERACION	28-Aug-2015 8:30 AM	28-Aug-2015 10:30 AM	2:00	37656	GEN 3	MC, Se apaga por sobre excitación del generador
Breaker	ELECTRICO	06-Sep-2015 1:08 PM	06-Sep-2015 2:10 PM	1:02	80417	GEN 6	SHD, Se tripea el breaker y apaga la planta
Placa de diodos	GENERACION	07-Sep-2015 11:00 AM	09-Sep-2015 5:00 PM	54:00	61543	GEN 7	MC, Cambio de la placa de diodos por daño
Alternador y Banda	MECANICO	17-Sep-2015 8:00 AM	17-Sep-2015 2:00 PM	6:00	61780	GEN 7	MC, Cambio de Alternador
FALLA A TIERRA	GENERACION	18-Sep-2015 12:40 AM	18-Sep-2015 4:20 AM	3:40	80693	GEN 6	MC, Se apaga por falla a tierra y baja tensión
Easy gen	GENERACION	21-Sep-2015 7:52 AM	21-Sep-2015 8:55 AM	1:03	43558	GEN 1	SHD, Pruebas de Red CAN y produce apagado
Ventilador	MECANICO	22-Sep-2015 11:00 AM	22-Sep-2015 5:00 PM	6:00	42675	GEN 5	MC, Cambio de bandas de Ventilador
Filtros de Combustible	MECANICO	06-Oct-2015 11:40 PM	09-Oct-2015 7:15 AM	55:35	81148	GEN 6	MC, Se apaga por potencia inversa
Breaker	ELECTRICO	13-Oct-2015 3:20 AM	13-Oct-2015 6:25 AM	3:05	81295	GEN 6	MC, Breaker tripeado y presenta la alarma potencia inversa
Filtros de Combustible	MECANICO	23-Oct-2015 9:20 PM	23-Oct-2015 11:00 PM	1:40	77980	GEN 8	MC, Se apaga por potencia inversa
Filtros Combustible	MECANICO	04-Nov-2015 6:00 AM	04-Nov-2015 6:00 PM	12:00	78253	GEN 8	MC, Revision de Filtros de Combustible
SOBRE TENSION	GENERACION	10-Nov-2015 11:22 PM	10-Nov-2015 11:30 PM	0:08	78414	GEN 8	MC, Se apaga por sobre tensión y división de potencia en rampa.
BAJA TENSION	GENERACION	10-Nov-2015 11:26 PM	10-Nov-2015 11:40 PM	0:14	81987	GEN 6	MC, Se apaga por sobre tensión.
Filtros de Combustible	MECANICO	16-Nov-2015 2:48 AM	16-Nov-2015 4:00 AM	1:12	82111	GEN 6	MC, Se apaga por potencia inversa
Sensor de presion de carter	GENERACION	19-Nov-2015 6:00 AM	19-Nov-2015 2:00 PM	8:00	82720	GEN 6	MC, Cambio de sensores de presion de Carter
Sistema de enfriamiento	MECANICO	11-Dec-2015 12:00 PM	12-Dec-2015 6:00 PM	30:00	63824	GEN 7	MC, Cambio de bomba principal del Sistema de Enfriamiento

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

ANEXO C

FALLAS POR AÑO DE CADA GENERADOR

Generador #1

Tabla 11. Generador 1. Fallas Año 2014

ÍTEM	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo (h)
1	Plc	MC, Se apaga por problemas del PLC	GENERACIÓN	08-Jun-2014 9:00 AM	09-Jun-2014 10:40 AM	25:40
2	Regulador de Voltaje	MC, Se apaga por sobre excitación por daño en regulador de voltaje	GENERACIÓN	09-Jul-2014 7:03 AM	09-Jul-2014 3:00 PM	7:57
3	Tarjeta Electrónica	MC, Se apaga por problemas de la tarjeta del Generador	GENERACIÓN	03-Aug-2014 1:14 PM	21-Aug-2014 1:57 PM	432:43
4	Polea	MC, Daño en polea del ventilador	MECÁNICO	06-Nov-2014 3:51 PM	07-Nov-2014 12:45 PM	20:54
TOTAL						487

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Tabla 12. Generador 1. Fallas Año 2015

ÍTEM	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo (h)
1	Breaker	SHD, Apertura de breaker del cuarto de control	ELÉCTRICO	04-Mar-2015 9:18 PM	04-Mar-2015 10:40 PM	1:22
2	Easygen	MC, Falla en comunicación CAN de Easygen	GENERACIÓN	13-Mar-2015 1:00 PM	13-Mar-2015 6:00 PM	5:00
3	Radiador	MC, Se apaga por alta temperatura.	MECÁNICO	06-Apr-2015 1:25 PM	06-Apr-2015 7:25 PM	6:00
4	Manguera	MC, Rotura de la manguera del refrigerante	MECÁNICO	27-Apr-2015 12:26 PM	27-Apr-2015 7:50 PM	7:24
5	Easygen	SHD, Pruebas de Red CAN y produce apagado	GENERACIÓN	21-Sep-2015 7:52 AM	21-Sep-2015 8:55 AM	1:03
TOTAL						20

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Generador #2

Tabla 13. Generador 2 Fallas Año 2014

ÍTEM	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo (h)
1	Filtros Racor	MC, Fuga de combustible de los filtros	MECÁNICO	19-Sep-2014 10:51 PM	19-Sep-2014 11:00 PM	0:09
2	Regulador de Voltaje	MC, Variación de voltaje cambio de regulador	GENERACIÓN	29-Sep-2014 6:03 AM	30-Sep-2014 10:30 AM	28:27
3	Bomba de Transferencia	MC, Cambio de bomba de transferencia de combustible	MECÁNICO	04-Oct-2014 10:00 AM	05-Oct-2014 5:00 AM	19:00
4	Manguera	MC, Rotura de que conecta con el motor y en radiador	MECÁNICO	07-Dec-2014 3:23 PM	07-Dec-2014 6:18 PM	2:55
TOTAL						50

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Generador #3

Tabla 14. Generador 3 Fallas Año 2014

ÍTEM	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Plc	MC, Plc Quemado	GENERACIÓN	23-Oct-2014 8:00 AM	23-Oct-2014 12:50 PM	4:50
TOTAL						4:50

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Tabla 15. Generador 3 Fallas Año 2015

ÍTEM	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Easygen	MC, Error en Easygen	GENERACIÓN	28-Mar-2015 10:00 AM	28-Mar-2015 3:50 PM	5:50
2	Bomba de Aceite	MC, Cambio de bomba de aceite por rotura	MECÁNICO	30-May-2015 7:07 AM	30-May-2015 2:05 PM	6:58
3	Regulador de Voltaje	MC, Se apaga por sobre excitación del generador	GENERACIÓN	28-Aug-2015 8:30 AM	28-Aug-2015 10:30 AM	2:00
TOTAL						14:48

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Generador #4

El generador esta fuera de servicio desde el año 2011 y no se tomará en cuenta para los análisis.

Generador #5

Tabla 16. Generador 5 Fallas Año 2014

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo (h)
1	Cañería	MC, Cambio de cañería de combustible rota	MECÁNICO	04-Jan-2014 8:00 AM	04-Jan-2016 2:00 PM	6:00
2	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	29-May-2014 3:44 PM	29-May-2014 6:23 PM	2:39
3	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	15-Jun-2014 6:17 AM	15-Jun-2014 10:15 AM	3:58
4	Breaker	MC, Por corto circuito en el breaker por un ratón	ELÉCTRICO	09-Jul-2014 5:31 PM	09-Jul-2014 8:00 PM	2:29
TOTAL						14

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Tabla 17. Generador 5 Fallas Año 2015

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Ventilador	MC, Cambio de bandas de Ventilador	MECÁNICO	22-Sep-2015 11:00 AM	22-Sep-2015 5:00 PM	6:00
TOTAL						6

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Generador #6

Tabla 18. Generador 6 Fallas Año 2014

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Alternador	SHD, Rotura del perno del alternador provocando shutdown	MECÁNICO	24-Apr-2014 7:32 PM	24-Apr-2014 10:32 PM	3:00
2	Bandas de Motor	MC, Roturas de bandas del ventilador y se procede a cambiar	MECÁNICO	05-May-2014 11:40 AM	05-May-2014 4:06 PM	4:26
3	Breaker	MC, Se abre el breaker inesperadamente	ELÉCTRICO	10-May-2014 10:00 AM	10-May-2014 12:40 PM	2:40
4	Alternador	MC, Daño en Alternador y se pierde alimentación	MECÁNICO	05-Jun-2014 3:30 PM	05-Jun-2014 6:10 PM	2:40
5	Placa de Diodos	MC, Se abre el breaker del generador por daño en rectificador de diodos	GENERACIÓN	06-Jul-2014 5:20 PM	06-Jul-2014 10:00 PM	4:40
6	Easygen	SHD, Se apaga por alarma en el controlador del Easygen	GENERACIÓN	21-Jul-2014 4:18 AM	21-Jul-2014 10:00 AM	5:42
7	Pistones	MC, Falla en pistones y cambio de los mismos	MECÁNICO	13-Sep-2014 4:24 PM	15-Sep-2014 2:54 PM	46:30
8	Regulador de Voltaje	MC, Sobre excitación de regulador	GENERACIÓN	03-Oct-2014 1:25 AM	03-Oct-2014 1:33 AM	0:08
9	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	04-Oct-2014 12:13 PM	04-Oct-2014 12:18 PM	0:05
TOTAL						69:51

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Tabla 19. Generador 6 Fallas Año 2015

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	O-ring	MC, Cambio de O-ring línea de aceite del turbo de lado derecho	MECÁNICO	17-Jan-2015 9:00 AM	17-Jan-2015 11:00 AM	2:00
2	Cabezote	MC, Cambio de Cabezote	MECÁNICO	20-Jan-2015 8:00 AM	20-Jan-2015 2:00 PM	6:00
3	Breaker	SHD, Apertura de breaker y shutdown de la planta	ELÉCTRICO	16-May-2015 4:36 PM	16-May-2015 4:50 PM	0:14
4	Carter	MC, Se apaga por alta presión del Carter	MECÁNICO	22-Aug-2015 5:10 PM	22-Aug-2015 8:00 PM	2:50
5	Breaker	SHD, Se tripea el breaker y apaga la planta	ELÉCTRICO	06-Sep-2015 1:08 PM	06-Sep-2015 2:10 PM	1:02

6	Falla a tierra	MC, Se apaga por falla a tierra y baja tensión	GENERACIÓN	18-Sep-2015 12:40 AM	18-Sep-2015 4:20 AM	3:40
7	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	06-Oct-2015 11:40 PM	09-Oct-2015 7:15 AM	55:35
8	Breaker	MC, Breaker tripeado y presenta la alarma potencia inversa	ELÉCTRICO	13-Oct-2015 3:20 AM	13-Oct-2015 6:25 AM	3:05
9	Baja tensión	MC, Se apaga por sobre tensión.	GENERACIÓN	10-Nov-2015 11:26 PM	10-Nov-2015 11:40 PM	0:14
10	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	16-Nov-2015 2:48 AM	16-Nov-2015 4:00 AM	1:12
11	Sensor de presión de Carter	MC, Cambio de sensores de presión de Carter	GENERACIÓN	19-Nov-2015 6:00 AM	19-Nov-2015 2:00 PM	8:00
					TOTAL	83:52

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Generador #7

Tabla 20. **Generador 7 Fallas Año 2014**

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Regulador de Voltaje	MC, Daño en regulador y apaga por alta tención	GENERACIÓN	03-May-2014 2:34 PM	03-May-2014 3:37 PM	1:03
2	Filtros de Combustible	MC, Apaga por potencia inversa	MECÁNICO	09-May-2014 2:03 PM	10-May-2014 4:30 PM	26:27
3	Sobrecarga	SHD, Se apaga por sobrecarga y produce apagado de planta	GENERACIÓN	14-May-2014 3:40 PM	14-May-2014 5:15 PM	1:35
4	Filtros de Combustible	MC, Baja frecuencia de generador	MECÁNICO	11-Jul-2014 5:18 PM	11-Jul-2014 7:00 PM	1:42
5	Motor de Arranque	MC, Cambio de Motor de Arranque	MECÁNICO	25-Aug-2014 1:00 PM	25-Aug-2014 5:50 PM	4:50
6	Regulador de Voltaje	MC, Sobre tención y Corriente inversa	GENERACIÓN	05-Dec-2014 10:00 AM	07-Dec-2014 8:45 AM	46:45
7	Regulador de Voltaje	MC, Cambio de regulador de voltaje	GENERACIÓN	12-Dec-2014 10:00 AM	12-Dec-2014 7:00 PM	9:00

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Tabla 21. Generador 7 Fallas Año 2015

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Easygen	MC, Falsa Alarma de Stop Easygen	GENERACIÓN	18-Mar-2015 10:30 AM	18-Mar-2015 10:57 AM	0:27
2	Regulador de Voltaje	MC, Sobre corriente de Regulador	GENERACIÓN	24-Mar-2015 12:16 PM	24-Mar-2015 12:22 PM	0:06
3	Regulador de Voltaje	MC, Se apaga por sobre excitación y por muy baja carga.	GENERACIÓN	13-Apr-2015 4:00 PM	13-Apr-2015 9:58 PM	5:58
4	Filtros de Combustible	MC, Corrección de fuga de aceite por filtros	MECÁNICO	11-May-2015 4:24 PM	11-May-2015 6:50 PM	2:26
5	Regulador de Voltaje	MC, Cambio de regulador de voltaje	GENERACIÓN	21-May-2015 8:00 AM	21-May-2015 4:00 PM	8:00
6	Breaker	MC, Corto circuito en el breaker de la sala del 3 x 3	ELÉCTRICO	07-Jun-2015 10:05 AM	07-Jun-2015 3:07 PM	5:02
7	Regulador de Voltaje	MC, Se apaga por sobreexcitación	GENERACIÓN	25-Jul-2015 1:35 AM	25-Jul-2015 1:40 AM	0:05
8	Placa de diodos	MC, Cambio de la placa de diodos por daño	GENERACIÓN	03-Aug-2015 2:10 PM	03-Aug-2015 4:20 PM	2:10
9	Placa de diodos	MC, Cambio de la placa de diodos por daño	GENERACIÓN	07-Sep-2015 11:00 AM	09-Sep-2015 5:00 PM	54:00
10	Alternador y Banda	MC, Cambio de Alternador	MECÁNICO	17-Sep-2015 8:00 AM	17-Sep-2015 2:00 PM	6:00
11	Sistema de enfriamiento	MC, Cambio de bomba principal del Sistema de Enfriamiento	MECÁNICO	11-Dec-2015 12:00 PM	12-Dec-2015 6:00 PM	30:00
TOTAL						114:14

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Generador #8**Tabla 22.** Generador 8 Fallas Año 2014

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Carter	MC, Alta presión del cárter	MECÁNICO	14-Sep-2014 5:00 PM	15-Sep-2014 4:00 PM	23:00
2	Sobrecorriente	MC, Corriente inversa	GENERACIÓN	21-Oct-2014 1:25 PM	21-Oct-2014 3:05 PM	1:40
3	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	01-Nov-2014 6:15 PM	01-Nov-2014 6:32 PM	0:17
4	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	27-Nov-2014 1:57 AM	27-Nov-2014 2:05 AM	0:08
TOTAL						25:05

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

Tabla 23. Generador 8 Fallas Año 2015

Ítem	Componente	Falla	Área	Fecha y Hora Inicio	Fecha y Hora Fin	Tiempo
1	Alternador y Banda	MC, Cambio de Alternador y Banda	MECÁNICO	18-Jan-2015 2:00 PM	18-Jan-2015 6:00 PM	4:00
2	Alternador	MC, Bajo Voltaje de baterías de Control	ELÉCTRICO	18-Apr-2015 6:12 PM	18-Apr-2015 10:00 PM	3:48
3	Sensor de presión de Carter	MC, Falla del sensor de presión de Carter	GENERACIÓN	08-May-2015 4:40 PM	08-May-2015 8:00 PM	3:20
4	Filtros de Combustible	MC, Se apaga por potencia inversa	MECÁNICO	23-Oct-2015 9:20 PM	23-Oct-2015 11:00 PM	1:40
5	Filtros Combustible	MC, Revisión de Filtros de Combustible	MECÁNICO	04-Nov-2015 6:00 AM	04-Nov-2015 6:00 PM	12:00
6	Sobre tensión	MC, Se apaga por sobre tensión y división de potencia en rampa.	GENERACIÓN	10-Nov-2015 11:22 PM	10-Nov-2015 11:30 PM	0:08
TOTAL						24:56

Fuente: PETROAMAZONAS EP:

ANEXO D

DIAGRAMAS DE PARETO DE CADA PERIODO

Año 2014

Tabla 24. Análisis de Pareto año 2014

Tabla de frecuencias ordenadas			
CAUSAS	Frecuencia	Frec. Normalizada	Frec. Acumulada
Filtros de Combustible	8	24%	24%
Regulador de Voltaje	7	21%	45%
Alternador	2	6%	52%
Breaker	2	6%	58%
Plc	2	6%	64%
Bandas de Motor	1	3%	67%
Bomba de Tr. Combustible	1	3%	70%
Cañería	1	3%	73%
Carter	1	3%	76%
Easygen	1	3%	79%
Manguera	1	3%	82%
Motor de Arranque	1	3%	85%
Pistones	1	3%	88%
Placa de Diodos	1	3%	91%
Polea	1	3%	94%
Tarjeta Electrónica	1	3%	97%
Sobrecarga	1	3%	100%

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

Fuente: Autor

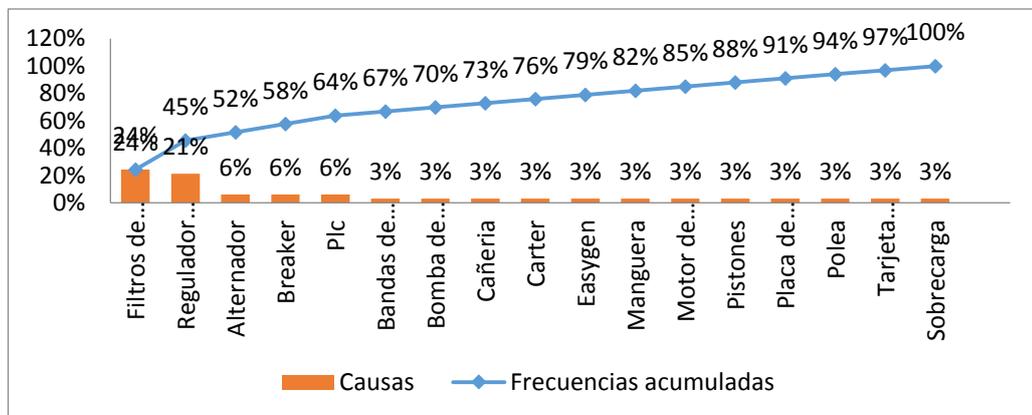


Figura 1. Diagrama de Pareto año 2014

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016

Año 2015

Tabla 25. Análisis de Pareto año 2014

Tabla de frecuencias ordenadas			
CAUSAS	Frecuencia	Frec. Normalizada	Frec. Acumulada
Regulador de Voltaje	7	19%	19%
Breaker	5	14%	32%
Filtros de Combustible	5	14%	46%
Easygen	4	11%	57%
Alternador	3	8%	65%
placa de diodos	2	5%	70%
Sensor de Presión de Carter	2	5%	76%
Bomba de Aceite	1	3%	78%
Cabezote	1	3%	81%
Carter	1	3%	84%
Falla a Tierra	1	3%	86%
Manguera	1	3%	89%
O-ring	1	3%	92%
Radiador	1	3%	95%
Bomba de Agua	1	3%	97%
Ventilador	1	3%	100%

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016.

Fuente: Autor

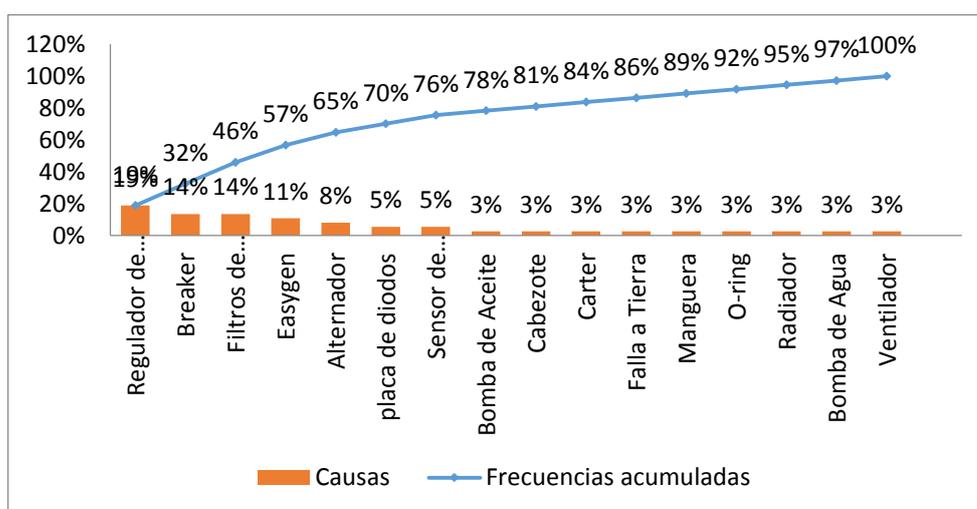


Figura 2. Diagrama de Pareto año 2015

Realizado por: Chaquina, Roberto, 2016