

**PLAN DE MANTENIMIENTO GENERICO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA
MOTO-GENERADORES ELÉCTRICOS DIESEL CON POTENCIA MENOR A
500KW, SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO
ECOPETROL S.A.**

Presentado por:

FREDY ALEXANDER RUIZ PENAGOS

CÓDIGO: 2127990

JOSE LEONARDO BONNET LÓPEZ

CÓDIGO: 2127934



**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
POSGRADO EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**PLAN DE MANTENIMIENTO GENERICO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA
MOTO-GENERADORES ELÉCTRICOS DIESEL CON POTENCIA MENOR A
500KW SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO
ECOPETROL S.A.**

Presentado por:

FREDY ALEXANDER RUIZ PENAGOS

CÓDIGO: 2127990

JOSE LEONARDO BONNET LÓPEZ

CÓDIGO: 2127934

**Proyecto presentado como requisito para optar al título de
POSGRADO EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO**

Director

MAURICIO ACEVEDO GUARIN.

Ingeniero Electricista

**ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
POSGRADO EN GERENCIA DEL MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**ACUERDO No. 164 de 2003
(Diciembre 16)**



**ENTREGA DE TRABAJOS DE GRADO, TRABAJOS
DE INVESTIGACIÓN O TESIS Y AUTORIZACIÓN
DE SU USO A FAVOR DE LA UIS**

Yo, **FREDY ALEXANDER RUIZ PENAGOS**, mayor de edad, vecino de Bucaramanga,, identificado con la Cédula de Ciudadanía No. 13.742.589, actuando en nombre propio, en mi calidad de autor del trabajo de grado, del trabajo de investigación, o de la tesis denominada(o):

**PLAN DE MANTENIMIENTO GENERICO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA MOTO-
GENERADORES ELÉCTRICOS DIESEL CON POTENCIA MENOR A 500KW
SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO
ECOPETROL S.A.**

hago entrega del ejemplar respectivo y de sus anexos de ser el caso, en formato digital o electrónico (CD o DVD) y autorizo a LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, para que en los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia, utilice y use en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador de la obra objeto del presente documento. PARÁGRAFO: La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato virtual, electrónico, digital, óptico, uso en red, Internet, extranet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer.

EL AUTOR – ESTUDIANTE, manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y la realizó sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es de su exclusiva autoría y detenta la titularidad sobre la misma. PARÁGRAFO: En caso de presentarse cualquier reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión, EL AUTOR / ESTUDIANTE, asumirá toda la responsabilidad, y saldrá en defensa de los derechos aquí autorizados; para todos los efectos la Universidad actúa como un tercero de buena fe.

Para constancia se firma el presente documento en dos (02) ejemplares del mismo valor y tenor, en Bucaramanga, a los cuatro (7) días del mes de Mayo de Dos Mil Doce (2012).

EL AUTOR / ESTUDIANTE:

Firma.....
Nombre: FREDY ALEXANDER RUIZ PENAGOS

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	15
1. CAPITULO I. GENERALIDADES	20
1.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.	20
1.1.1. Reseña Histórica	20
1.1.2. Estructura Organizacional de ECOPETROL S.A.	22
1.1.3. Gerencia Regional Magdalena Medio.	23
1.1.4. Ubicación Geográfica. Superintendencia de Operaciones del Rio	23
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	25
1.3 OBJETIVOS	26
1.3.1 Objetivo General	26
1.3.2 Objetivos Específicos	26
2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	27
2.1 ANTECEDENTES.	27
2.2 MANTENIMIENTO	29
2.2.1 Objetivos del Mantenimiento.	29
2.2.2 Tipos de Mantenimiento	30
2.2.3 Sistema de Mantenimiento	32
2.2.4 Planificación y Programación del Mantenimiento	32
2.2.5 Tipos de Planes	33
2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	33
2.3.1 Clasificación de los Equipos según su Criticidad.	33
2.3.2 Metodología para determinar Criticidad	33
2.4. ASPECTOS BÁSICOS DEL PROCESO RCM	36
2.4.1. Definición formal de RCM	36
2.4.2 Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad	36
2.4.3 Equipo Natural de Trabajo	37

2.4.3 Contexto Operacional.	38
2.4.4 Preguntas Básicas para el Análisis del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	38
2.4.5 Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF)	39
2.4.6 Árbol Lógico de Decisiones (ALD)	40
3. CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO	44
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	44
3.1.1 Nivel de la Investigación.	44
3.1.2 Diseño de la Investigación.	45
3.1.3 Propósito de la Investigación	46
3.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN, RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	46
3.2.1 Observación Directa	46
3.2.2 Entrevistas con el Personal	46
3.2.3 Encuestas	47
3.2.4 La Descripción	47
3.2.5 Gráficas	47
3.2.6 La Explicación	47
3.2.7 Análisis de Criticidad	47
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.	48
3.4 METODOLOGÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD.	49
3.5 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	49
3.5.1 Revisión Bibliográfica	49
3.5.2 Identificación, Diagnostico y Recopilación de Información del Sistema.	50
3.5.3 Determinación de los Equipos Relevantes del Sistema.	50
3.5.4 Aplicación de Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF)	51
3.5.5 Establecer Árbol Lógico de Decisiones	52
3.5.6 Diseño del Plan de Mantenimiento	52
4. CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO	54
4.1 EQUIPO NATURAL DE TRABAJO	54
4.2 CONTEXTO OPERACIONAL.	55

4.2.1 Descripción de un Sistema de Generación Eléctrica Diesel.	55
4.3. DEFINICIÓN DE ACTIVOS Y SELECCIÓN DE SISTEMAS	64
4.3.1. Definición de funciones.	65
4.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.	69
4.4.1. Identificación de los Componentes Críticos del Sistema	69
4.4.2. Análisis de Criticidad N°1. Sistema Mecánico. Motor	71
4.4.3. Análisis de Criticidad N°2. Sistema de Combustible y Motor de Arranque.	72
4.4.4. Análisis de Criticidad N°3. Sistema de Lubricación. Lubricante/Aceite.	73
4.4.5. Análisis de Criticidad N°4. Sistema de Escape y Ventilación.	74
4.4.6. Análisis de Criticidad N°5. Sistema de Enfriamiento	75
4.4.7. Análisis de Criticidad N°6. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y otros.	76
4.5. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA A.M.E.F	77
4.5.1. Análisis AMEF N°1. Sistema Mecánico. Motor. Primera parte.	79
4.5.2. Análisis AMEF N°2. Sistema Mecánico. Motor (Segunda parte).	80
4.5.3. Análisis AMEF N°3. Sistema Mecánico. Motor (Tercera parte).	81
4.5.4. Análisis AMEF N°4. Sistema Mecánico. Motor (Cuarta parte).	82
4.5.5. Análisis AMEF N°5. Sistema Mecánico. Sistema de Combustible y Lubricación. Aceite y/o Lubricante.	83
4.5.6. Análisis AMEF N°6. Sistema de Lubricación y Control	84
4.5.7. Análisis AMEF N°7. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Primera Parte	85
4.5.8. Análisis AMEF N°8. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Segunda Parte	86
4.5.9. Análisis AMEF N°9. Generador Eléctrico. Primera Parte.	87
4.5.10. Análisis AMEF N°10. Generador Eléctrico (Segunda Parte)	88
4.5.11. Análisis AMEF N°11. Generador Eléctrico. Tercera Parte.	89
4.5.12. Análisis AMEF N°13. Generador Eléctrico. Cuarta Parte.	90
4.5.13. Análisis AMEF N°14. Transferencia y Control. Primera Parte.	91
4.5.14. Análisis AMEF N°15. Transferencia y Control. Segunda Parte.	92
4.5.15. Análisis AMEF N°16. Transferencia y Control. Tercera Parte.	93
4.6. ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN.	94

4.6. 1. Hoja de Decisión.	95
4.6.2. Hoja de decisión N° 1. Sistema Mecánico. Motor	96
4.6.3. Hoja de decisión N° 2. Sistema Mecánico. Motor	97
4.6.4. Hoja de decisión N° 3.Sistema de Enfriamiento.	98
4.6.5. Hoja de decisión N° 4.Sistema de Escape y Ventilación. Silenciador y Convertidor Catalítico.	99
4.6.6. Hoja de decisión N° 5.Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y Tablero de Control y Transferencia.	100
4.6.7. Hoja de decisión N° 6.Sistema de Eléctrico y Electrónico.Batería y Alternador.	101
4.7 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO EN UNIDADES DE GENERACION DIESEL	102
4.7.1. Mantenimiento Preventivo	102
4.7.2. Mantenimiento Correctivo	104
4.7.3. Plan de Mantenimiento	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES	120
BIBLIOGRAFIA	123
ANEXOS	125

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura Organizacional de ECOPETROL S.A.	22
Figura 2. Ubicación Geográfica. Gerencia Regional Magdalena Medio de ECOPETROL S.A.	24
Figura 3. Categorías de Mantenimiento	30
Figura 4. Proceso de Análisis de Criticidad.	34
Figura 5. Representación Típica de un Grupo de Trabajo de RCM.	37
Figura 6. Diagrama del Árbol Lógico de Decisiones.	41
Figura 7. Motor	56
Figura 8. Esquema de los Sistemas y Subsistemas del Motor	57
Figura 9. Generador Eléctrico	58
Figura 10. a) Contactores Electromagnéticos b) Interruptores Termo magnéticos c) Interruptores Electromagnéticos	58
Figura 11. Distribución de Componentes. Unidad de Generación Diesel	63
Figura 12. Activos a mantener. Unidad de Generación Eléctrica.	64
Figura 13. Activos a mantener. Unidad de Generación Eléctrica.	77
Figura 14. Árbol Lógico de Decisiones.	94
Figura 15. Hoja de Decisión diseñada en Excel.	95
Figura 16. Mantenimiento Preventivo. Unidades de Generación Diesel.	102
Figura 17. Limpieza General Unidades de Generación Diesel.	103
Figura 18. Revisión Motor. Unidades de Generación Diesel.	103
Figura 19. Revisión Sistema Eléctrico y Electrónico. Unidades de Generación.	104
Figura 20. Motor Sin Mantenimiento	104
Figura 21. Motor Con Mantenimiento Asociados S.A. ECOPETROL S.A. 2012	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Funciones Unidad de Generación. Sistema Mecánico	65
Tabla 2. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Combustible.	66
Tabla 3. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Lubricación.	66
Tabla 4. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Escape y Ventilación.	67
Tabla 5. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Arranque.	67
Tabla 6. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Enfriamiento.	68
Tabla 7. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Control, Medición y Alarmas.	68
Tabla 8. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Eléctrico y Electrónico.	69
Tabla 9. Parámetros y Ponderación de Criticidad	70
Tabla 10. Análisis de Criticidad. Sistema Mecánico. Motor	71
Tabla 11. Análisis de Criticidad. Sistema de Combustible y Motor de Arranque.	72
Tabla 12. Análisis de Criticidad. Sistema de Lubricación. Lubricante/Aceite.	73
Tabla 13. Análisis de Criticidad. Sistema de Escape y Ventilación. Aire.	74
Tabla 14. Análisis de Criticidad. Sistema de Enfriamiento. Componentes Críticos	75
Tabla 15. Análisis de Criticidad. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y otros.	76
Tabla 16. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor (Primera parte).	79
Tabla 17. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor. (Segunda parte).	80
Tabla 18. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor. (Tercera parte).	81
Tabla 19. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor. (Cuarta parte).	82

Tabla 20. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema de Combustible y Lubricación. Aceite y/o Lubricante.	83
Tabla 21. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema de Lubricación y Control	84
Tabla 22. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico.	85
Tabla 23. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico.	86
Tabla 24. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Primera Parte)	87
Tabla 25. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Segunda Parte)	88
Tabla 26. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Tercera Parte)	89
Tabla 27. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Cuarta Parte)	90
Tabla 28. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Transferencia y Control. (Primera Parte)	91
Tabla 29. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Transferencia y Control. (Segunda Parte)	92
Tabla 30. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Transferencia y Control. (Tercera Parte)	93
Tabla 31. Hoja de Decisión. Sistema Mecánico. Motor	96
Tabla 32. Hoja de Decisión. Sistema de Lubricación. Bomba y Filtro de Aceite-Carter.	97
Tabla 33. Hoja de Decisión. Sistema de Enfriamiento.	98
Tabla 34. Hoja de Decisión. Sistema de Escape y Ventilación. Silenciador y Convertidor Catalítico.	99
Tabla 35. Hoja de Decisión. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y Tablero de Control y Transferencia.	100

Tabla 36. Hoja de Decisión. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Batería y Alternador.	101
Tabla 37. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 38. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 39. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 40. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Marcador no definido.	¡Error!
Tabla 41. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Marcador no definido.	¡Error!

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Registro rutinas de mantenimiento para plantas diesel eléctricas	125

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO GENERICO BASADO EN CONFIABILIDAD PARA MOTO-GENERADORES ELÉCTRICOS DIESEL CON POTENCIA MENOR A 500KW.

AUTORES: FREDY ALEXANDER RUIZ PENAGOS Y JOSE LEONARDO BONNET LÓPEZ

PALABRAS CLAVES: PAPEL POLYBOARD, CUP PAPER, VASO DE PAPEL.

En el siguiente proyecto, se realizó el diseño de un plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) de tipo genérico para sistemas moto-generadores eléctricos diesel con potencia menor a 500kw, utilizados principalmente como sistemas de emergencia o de respaldo (back up) en las operaciones derivadas de la producción de hidrocarburos de la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL S.A., con fines de mejorar la confiabilidad de los equipos, evitar la utilización excesiva de las horas extras de mantenimiento, las recurrentes alarmas, fallas y paradas en los equipos. En vista de no contar con historiales de mantenimiento confiables, fue conveniente utilizar la metodología del Mantenimiento centrado en Confiabilidad, donde se realizó un diagnóstico de la situación actual del sistema, se determinó el contexto operacional del sistema y se aplicó un análisis de criticidad para enfatizar estudios y destinar recursos en los componentes de mayor relevancia, luego se realizó un Análisis de Modos y Efecto de Falla a los componentes críticos, asentándolos en la hoja de información para luego determinar el tipo de mantenimiento mediante el Árbol Lógico de Decisiones y registrarlas en la hoja de decisión, de allí se elaboró el plan de mantenimiento donde se generaron tareas preventivas y Horas Hombres, las cuales están repartidas en las especialidades de mecánica, eléctrica e instrumentación, entre las cuales figuran tareas a condición, reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y búsqueda de falla, donde el sistema mecánico generó la mayor cantidad de ellas.

SUMMARY

TITLE: PLAN OF GENERIC MAINTENANCE BASED ON RELIABILITY FOR MOTORCYCLE - GENERATOR ELECTRICAL DIESEL WITH MINOR POWER TO 500KW.

AUTHORS: FREDY ALEXANDER RUIZ PENAGOS Y JOSE LEONARDO BONNET LÓPEZ

KEY WORDS: MAINTENANCE, RELIABILITY, ELECTRICAL GENERATION, MANNERS AND EFFECTS OF FAULT.

In the following project, there realized the design of a plan of Maintenance Centred on Reliability (RCM) of generic type for systems motorcycle - generator electrical diesel with minor power to 500kw, used principally as systems of emergency or of support (back up) in the operations derived from the production of hydrocarbons of the Colombian Company of Oils ECOPETROL S.A., with ends of improving the reliability of the equipments, of avoiding the excessive utilization of the overtime of maintenance, the appellants you alarm, faults and stops in the equipments. In view of not possessing reliable records of maintenance, it was suitable to use the methodology of the Maintenance centred on Reliability, where there was realized a diagnosis of the current situation of the system, the operational context of the system decided and an analysis was applied of criticidad to emphasize studies and to destine resources in the components of major relevancy, then there was realized an Analysis of Manners and Effect of Fault to the critical components, seating them in the leaf of information then to determine the type of maintenance by means of the Logical Tree of Decisions and to register them in the leaf of decision, of there the plan of maintenance was elaborated where preventive tasks were generated and Hours Men, which are distributed in the specialities of mechanics, electricity company and instrumentation, between which tasks appear to condition, cyclical reconditioning, cyclical substitution and search of fault, where the mechanical system generated the major quantity of them.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el área de mantenimiento, ha experimentado cambios sustanciales de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Esto como consecuencia a la importancia que se le atribuye en el ámbito industrial, pasando a formar parte e influyendo de forma directa sobre la gestión y sobrevivencia de cualquier organización, puesto que actualmente es el encargado de asegurar la condición operativa de una instalación, tomando en cuenta factores importantes como: seguridad del personal y del medio ambiente, gasto generales y utilización de recursos disponibles.

En búsqueda de mejoras sobre la gestión de mantenimiento, se han creado técnicas, metodologías y filosofías, denominadas como Mantenimiento de Clase Mundial, las cuales se fundamentan en cubrir principalmente aspectos importantes y generar propuestas tanto para contextos generales como específicos. Entre las nuevas tendencias se encuentra: Mantenimiento Productivo Total (MPT), Mantenimiento Basado en Condición (MBC), Optimización Costo Riesgo (OCR) y Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), ésta última utilizada en el presente trabajo de especialización.

Partiendo de lo anterior, la empresa ECOPETROL S.A. desde la Coordinación de Mantenimiento de Cantagallo de la Gerencia Regional Magdalena, con actitudes proactivas, encargada de explorar, producir, transportar, procesar, distribuir y comercializar petróleo y gas natural en Colombia, se encuentra implementado políticas de mantenimiento actualizadas, por lo que el propósito de este trabajo consistió en diseñar un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad para moto-generadores eléctricos diesel con potencia menor a 500kw, como caso específico, en la Superintendencia de Operaciones del Rio, SOR. La metodología del RCM fue elegida para este trabajo por no encontrarse disponible ni en historiales ni registros confiables, siendo esta técnica la más recomendable.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, el interés del trabajo radica en que el sistema actualmente implementado en la Superintendencia de Operaciones del Rio de ECOPETROL S.A., presenta inconvenientes que influyen adversamente sobre la gestión de manteniendo, como lo son incremento de las paradas no programadas, gran cantidad de horas extras utilizadas, desgaste de los equipos por vejez, igualmente la importancia que representa lograr una producción de hidrocarburos en operaciones normales.

El presente trabajo consta de V capítulos, acordes a los objetivos específicos planteados los cuales son descritos a continuación:

En el primer capítulo, denominado Generalidades, se describe brevemente las generalidades de la empresa ECOPETROL S.A y de la Gerencia Regional Magdalena, documentando su historia, estructura, pasando por la descripción de las operaciones, hasta llegar a la Superintendencia de Operaciones del Rio, lugar de realización de la investigación.

Además se muestra el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos a cumplir para lograr la solución al problema.

En el segundo capítulo, Fundamentos Teóricos, se definen, explican y estructuran aspectos relacionados con el proyecto, comenzando por la definición del concepto de mantenimiento, el cual es el tema general del trabajo, análisis de criticidad y mantenimiento centrado en confiabilidad. Aunado a esto se hace mención al uso de los generadores eléctricos en los procesos de producción, describiendo los subsistemas, equipos y elementos que componen una unidad de generación diesel.

En el tercer capítulo, denominado Marco Metodológico, se mencionan los tipos de investigación que abarca el estudio, las técnicas y métodos empleados, instrumentos, población y muestra, sistemática de las etapas de la investigación.

El capítulo número cuatro, llamado Desarrollo del Trabajo, se describe la secuencia y los parámetros utilizados para el diseño del plan, así mismo se presentan los resultados obtenidos en cada etapa de la investigación. Seguidamente en el capítulo cinco, se analizan los resultados, a fin de entender, justificar y cerciorarse de que el plan diseñado propicie las mejoras y cumpla con los objetivos planteados.

Como parte final, las Conclusiones y Recomendaciones, dan respuesta a los objetivos planteados, generando información que fue determinante en el trabajo, además de generar las recomendaciones a seguir para continuar mejorando el sistema.

1. CAPITULO I. GENERALIDADES

1.1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.

Ecopetrol S.A., antiguamente Empresa Colombiana de Petróleos es la primera compañía de petróleo de Colombia, hoy, Grupo empresarial ECOPETROL S.A., fue listada en 2012 en el puesto 303 entre las empresas más grandes del mundo por Forbes¹, y como la cuarta petrolera a nivel latinoamericano por detrás de Petrobras, Pemex y PDVSA.

Actualmente Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C

1.1.1. Reseña Histórica. El 25 de agosto de 1951, revertió Estado Colombiano, la Concesión De Mares, la cual dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos ECOPETROL. La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical OilCompany que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia tras la apertura del primer pozo en La Cira y la posterior puesta en producción del Campo La Cira-Infantas, en el Magdalena Medio Santandereano, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso

¹FORBES. Compañía editora y de comunicaciones estadounidense especializada en el mundo de los negocios y las finanzas.

hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que incorporó su operación otras concesiones que revirtieron. En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956. En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República. En septiembre de 1983 se produjo el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser un país exportador de petróleo.

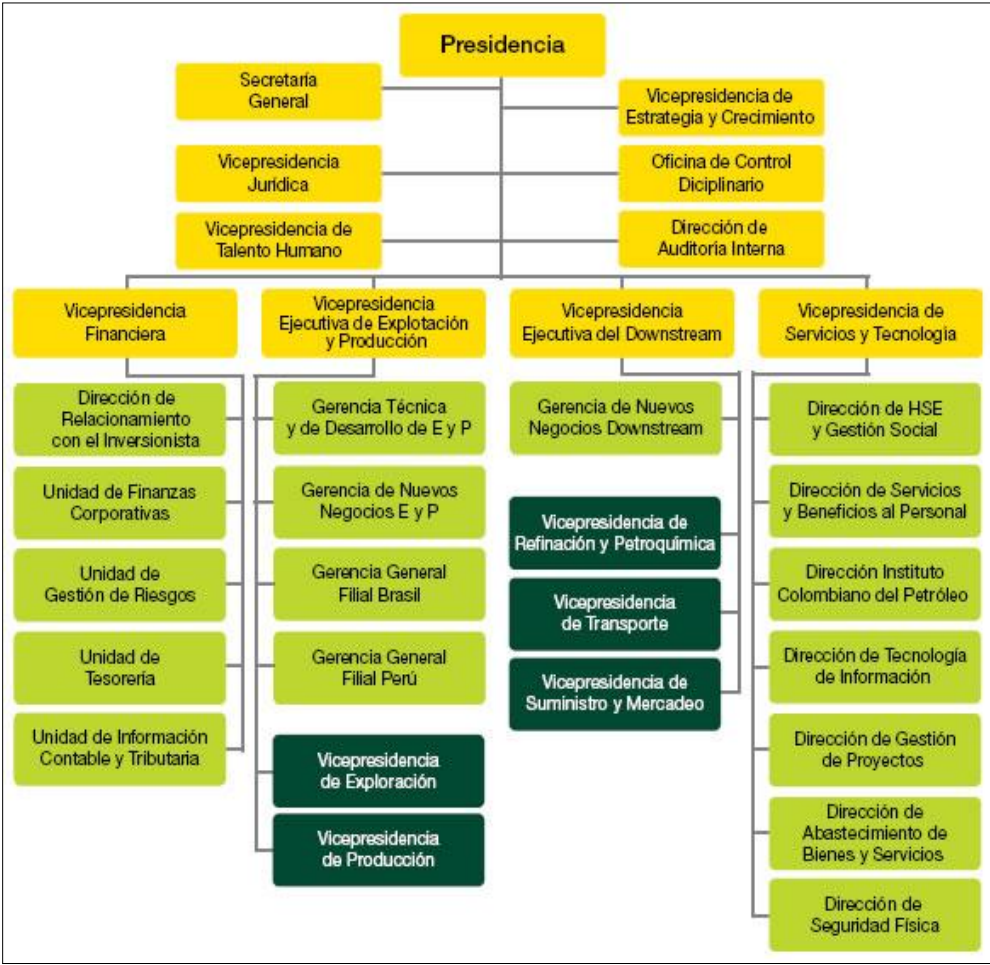
En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los campos gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company. El 26 de Junio de 2003, mediante la expedición del Decreto 1760, el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos, convirtiéndola en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, con esta transformación, la Compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos).

A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial. Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$5,25 billones registrada en 2009 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

En el año 2006, El estado colombiano lanza al mercado la primera emisión de acciones a todo público, siendo una de las emisiones con más trascendencia en la historia de la bolsa de valores de Colombia.

1.1.2. Estructura Organizacional de ECOPETROL S.A. ECOPETROL S.A., se encuentra conformada por Gerencias y Superintendencias. El departamento de mantenimiento de Cantagallo, se encuentra asociado a la Superintendencia de operaciones del Rio perteneciente a la Gerencia Regional Magdalena, vinculada a la Vicepresidencias de producción de ECOPETROL S.A.

Figura 1. Estructura Organizacional de ECOPETROL S.A.



Fuente:ECOPETROL S.A. Vicepresidencia de Producción. Gerencia Regional Magdalena Medio. Superintendencia de Operaciones del Rio. Cantagallo 2012.

1.1.3. Gerencia Regional Magdalena Medio. La

Gerencia Regional Magdalena Medio fue creada en el 2004 como parte de las Gerencias Operativas haciendo parte de la Vicepresidencia de Producción. La Gerencia comprende las áreas que en la estructura anterior estaban bajo la responsabilidad de la Gerencia Alto Magdalena (GAM); así como la gestión, en calidad de asociado de los campos que se encuentran bajo la modalidad de Contratos de Asociación.

Está conformada por cuatro Superintendencias, tres Operativas: Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM), Superintendencia de Operaciones del Río (SOR) y Superintendencia de Operaciones de La Cira Infantas (SCI).

Adicionalmente una Superintendencia de activos en Asociación (SAM). Como soporte y apoyo a las 4 Superintendencias y a la Gerencia además como gestión financiera, portafolio de inversiones y gastos y seguimiento de la gestión, se encuentra conformado el Departamento de Gestión y crecimiento (PGS).

1.1.4. Ubicación Geográfica. Superintendencia de Operaciones del Río. La

Gerencia Regional Magdalena Medio abarca los municipios de Barrancabermeja, Casabe, Puerto Wilches y Cantagallo. Siendo este último el municipio que alberga a la Superintendencia de Operaciones del Río.

Las operaciones en el municipio de Cantagallo datan desde 1938 cuando siendo un caserío habitado por indígenas, negros y mestizos dedicados a la pesca, la Richmond Petroleum Company of Colombia otorgó una concesión de 18.938 hectáreas a Juan de Dios Gutiérrez para la exploración y explotación petrolera en el Corregimiento de Cantagallo, iniciándose la búsqueda del petróleo en 1941 por la Compañía Socony Vacuum Petroleum que encontró petróleo en 1948 con lo que se transformó la vida de la región. Ello ocasionó la llegada de inmigrantes de las poblaciones vecinas de Puerto Wilches y Barrancabermeja y transformó su puerto en atracadero de buques cisterna para transportar el petróleo extraído.

Las actividades de la Socony se prolongaron por 10 años, luego de lo cual vendió sus instalaciones a la Shell, compañía holandesa que realizaba explotaciones en Yondó – Antioquia. La Shell permaneció en Cantagallo hasta que la concesión revirtió al gobierno colombiano y pasó a manos de ECOPETROL. El 16 de Diciembre de 1994, mediante Ordenanza No. 030 Fue segregado del Municipio de San Pablo y erigido en Municipio por Honorable Asamblea del Departamento.

La economía del municipio se basa en la explotación petrolera (5000 barriles/ día) y gas, la pesca y la agricultura. Yariguí- Cantagallo, con más de 40 años de vida, está produciendo 12 mil bpd, mientras que hace seis años apenas alcanzaba los 4.800 bpd. En su ápice de producción llegó a producir 20 mil bpd.

Figura 2. Ubicación Geográfica. Gerencia Regional Magdalena Medio de ECOPETROL S.A.



Fuente: Despliegue de Resultados Primer Semestre de 2012. Gerencia Regional Magdalena Medio. Superintendencia de Operaciones del Rio. Cantagallo 2012.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad existe una gran cantidad de unidades de generación de energía eléctrica instalados tanto en la industria como en los demás escenarios, los cuales operan como sistemas de emergencia o de respaldo (back up). Existe una debilidad generalizada por parte de dueños y operadores en la aplicación de un programa de mantenimiento, originado en gran medida por el desconocimiento que existe en el diseño y aplicación de rutinas, tendencias y actividades de mantenimiento, la falta de instrucción del fabricante o vendedor hacia el comprador del equipo, la falta de catálogos o en otros casos no se le da la relevancia pertinente y en algunos casos por ahorrar recursos económicos debido a los altos costos que cobrados por las empresas prestadoras del servicios de mantenimiento. Esta situación plantea una oportunidad para que el operador del activo pueda desempeñar actividades que contribuyan al cuidado básico del equipo.

El tipo de falla más relevante que existe en estos equipos son la “*fallas ocultas*”, las cuales, en situaciones donde no exista ningún seguimiento orientado a estas fallas, pueden llevar a que el equipo no opere cuando sea requerido causando pérdidas en la producción cuando hablamos de fábricas, interrupciones del servicio de energía en los casos que soporta usuarios residenciales, pérdidas económicas para grandes almacenes de cadena, pérdida de datos e información magnética si soporta sistemas informáticos y bases de datos, o en peores casos, afectación en la vida humana cuando su operación es ser respaldo en hospitales o clínicas.

Para el aseguramiento de la disponibilidad de los generadores de emergencia sin importar su fin, se requiere establecer unos parámetros o rutinas básicas que el operador debe aplicar sobre el equipo y además establecer una rutina de mantenimiento estructurado que le permita al operador tener de guía para su fácil aplicación.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Formular un plan de mantenimiento predictivo y preventivo genérico utilizando la metodología de RCM, para ser aplicado en generadores eléctricos de emergencia con una potencia menor a 500Kw que utilicen combustible diesel.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Describir los subsistemas, equipos y elementos que componen una unidad de generación diesel.
- Elaborar un listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.
- Realizar un análisis de criticidad a los equipos que componen una unidad de generación diesel.
- Determinar las fallas y los modos de falla más relevantes de una unidad de generación diesel, estableciendo sus fallas funcionales y sus efectos de falla.
- Documentar las tareas preventivas propuestas para la mitigación y solución a los modos de fallas encontrados mediante el diseño de una hoja de decisión.
- Formular el Plan de Mantenimiento basado en el análisis de criticidad, modos de falla y las tareas propuestas en las hojas de decisión.

2. CAPÍTULO II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 ANTECEDENTES.

El mantenimiento Centrado en confiabilidad, fue desarrollado en principio por la aviación comercial de Estados Unidos, en los años 1960 y 1970, en cooperación con entidades como la NASA² y Boeing³, posteriormente generando gran aceptación sobre sectores de generación de energía, petroquímicos, gasíferos, refinación, industria manufacturera, entre otros. El RCM se basa en determinar lo que debe hacerse para asegurar que un elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas en su contexto operacional presente, tratando de minimizar o mitigar las consecuencias negativas que puedan generarse sobre la producción, costos y seguridad.

El mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM, Reliability Centred Maintenance), está concebido básicamente como un proceso de mejoramiento continuo, por lo que ninguna tarea o procedimiento de mantenimiento escapa a la constante revisión a partir de toda la información que se va acumulando⁴. Esto es de gran relevancia porque permite documentar los procesos, enfoca su esfuerzo en la función, facilita la optimización de los planes de mantenimiento, hace más fácil el trabajo en común y la organización de la historia de los activos, así como el uso de un sistema de gestión del mantenimiento sistematizado⁵⁶. Este es el motivo principal por el cual se aprecia la importancia de aplicar y ajustar la teoría de

²Siglas en Idioma Ingles de: National Aeronautics and Space Administration) de los Estados Unidos, que es la agencia gubernamental responsable de los programas espaciales. Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio.

³BOEING COMPANY. Empresa aeronáutica y de defensa de los Estados Unidos, es el segundo mayor fabricante de aviones y equipos aeroespaciales del mundo.

⁴ BLOOM. N. "Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple". Mc Graw Hill. 2005

⁵HAMMAN. J. "Experience with the use of RCM in a transmission maintenance environment". Second International Conference on the Reliability of Transmission and Distribution Equipment, Mar 1995 Pag 192.

⁶GUTIERREZ J. "Desarrollo de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión en alta tensión". Tesis de pregrado. Ingeniería Eléctrica. Universidad Tecnológica de Pereira. 2008.

mantenimiento RCM a las tareas de control y planeación de los moto generadores diesel utilizados en las operaciones de emergencia para la disminución de las diferidas asociadas a los activos de la Superintendencia de Operaciones del Rio.

La metodología del mantenimiento Centrado en Confiabilidad ha causado aceptación dentro del área de mantenimiento de los diferentes negocios y Superintendencias de ECOPETROL S.A., por lo que actualmente es comúnmente utilizado. Entre las referencias encontradas se encuentran las siguientes:

En 2008, Montaña L., diseñó un plan de mantenimiento para el sistema de medición de gas del Complejo de Refinación en Barrancabermeja. Entre sus conclusiones más resaltantes se citan las siguientes: los equipos críticos fueron la cámara de presión diferencial (DPU), el resorte Bourdon y el reloj medidor, por cuanto tiene la mayor influencia sobre la medición y se obtuvieron tres (3) tareas de reacondicionamiento cíclico, nueve (9) tareas de sustitución cíclica, cuatro (4) tareas de búsqueda de fallo, tres (3) de ningún mantenimiento programado y un (1) rediseño obligatorio⁷.

En 2009, Torres R., definió las estrategias para el mejoramiento del plan de mantenimiento de las bombas de doble tornillo ubicadas en la Planta de Inyección de Agua, PIA en la Superintendencia de Operaciones Putumayo. Las conclusiones que causaron mayor impacto son las siguientes: El sistema de lubricación de las bombas es el mayor causante de fallas en las mismas y acumula el 52% de las fallas totales en el período de estudio y el programa de mantenimiento propuesto presenta un 68% de actividades preventivas y 32% de actividades correctivas⁸.

⁷MONTAÑO M, Luis, "Diseño de un Plan de Mantenimiento Basado en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el Sistema de Gas del Complejo de Refinación de Barrancabermeja, Santander Trabajo de grado de Ingeniería Mecánica. Universidad Surcolombiana Neiva. (2008).

⁸TORRES E., Ronald, "Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo dela planta de Inyección de Agua PIA, Superintendencia de Operaciones Putumayo. Trabajo de especialización Universidad CorporativaECOPETROL S.A. (2009).

En el año 2010, Calderón W., estableció las tareas de mantenimiento para garantizar la operatividad y la confiabilidad de los equipos rotativos del centro de almacenamiento y transporte de crudo de la Vicepresidencia de Transporte VIT de ECOPETROL S.A., mediante la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM). Los resultados más resaltantes fueron los siguientes: Para las Bombas Principales 29 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico, 23 Tareas a Condición, 7 actividades de ningún mantenimiento preventivo programado y 2 Tareas de sustitución cíclica y para las Bombas Booster, 13 Tareas de Reacondicionamiento Cíclico, 12 Tareas a Condición, 6 actividades de ningún mantenimiento preventivo programado y 1 Tarea de sustitución⁹.

2.2 MANTENIMIENTO

Conjunto de actividades que permiten mantener un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que cumpla las funciones para las cuales fueron diseñados y asignados o restablecer dicha condición cuando esta se pierde¹⁰.

2.2.1 Objetivos del Mantenimiento.

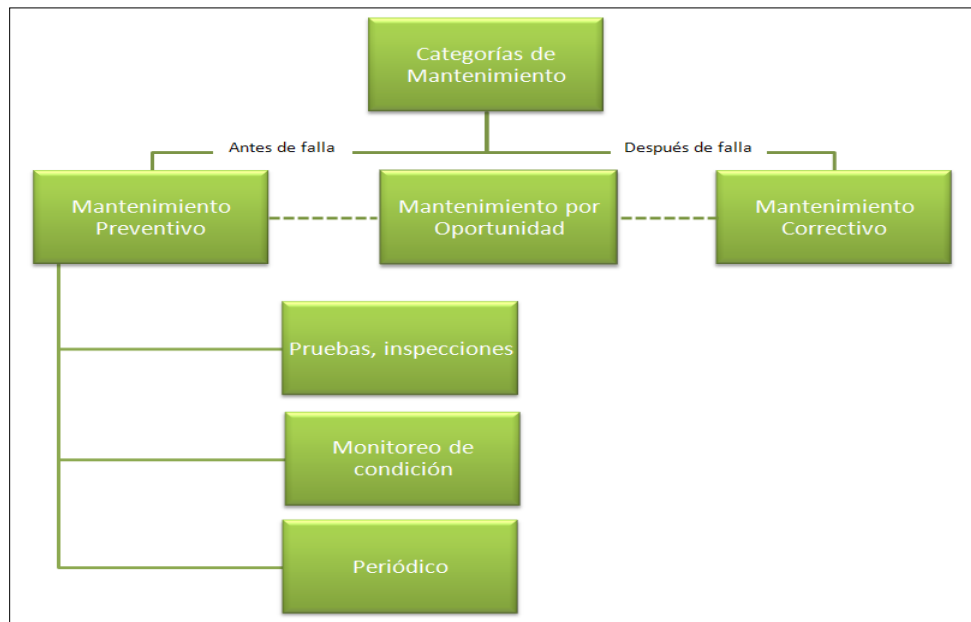
- Mejorar continuamente los equipos hasta su más alto nivel operativo, mediante el incremento de la disponibilidad, efectividad y confiabilidad.
- Aprovechar al máximo los componentes de los equipos, para disminuir los costos de mantenimiento.
- Garantizar el buen funcionamiento de los equipos, para aumentar la producción.
- Cumplir todas las normas de seguridad y medio ambiente.

⁹CALDERÓN W. Juan Manuel, “Metodología de mantenimiento para garantizar la operatividad y la confiabilidad de los equipos rotativos del centro de almacenamiento y transporte de crudo de la Vicepresidencia de Transporte VIT-ECOPETROL S.A., (2010).

¹⁰SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”, Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Departamento de Mecánica. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.(2010).

2.2.2 Tipos de Mantenimiento. Existen diferentes formas de diferenciar los tipos de mantenimientos, sin embargo la generalmente utilizada, parte del mantenimiento preventivo y correctivo, en la figura 3 se muestra los tipos de mantenimiento¹¹.

Figura 3. Categorías de Mantenimiento



Fuente: Autores

2.2.2.1 Mantenimiento Preventivo: Es una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos. Las ventajas que proporciona este tipo de mantenimiento son las siguientes:

- Disminución de los paros imprevistos y no deseados, Menor número de reparaciones repetitivas que pudieran resultar en daños y costos excesivos.
- Mayor conservación y seguridad de los equipos y personal.

¹¹SUAREZ D., "Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico", Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Departamento de Mecánica. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.(2010).

- Intervenciones de manera organizada, ubicación de repuesto y con el personal calificado, y así tener control de materiales, herramientas, repuestos y personal.
- Menor número de los productos rechazados, por tanto mayor control de calidad¹².

2.2.2.1.1 Tipos de Mantenimiento Preventivo.

- **Mantenimiento Sistemático.** Son actividades establecidas en función del uso del equipo (horas, kilómetros, etc.).
- **Mantenimiento de Ronda.** Es aquel donde se dan instrucciones para atender al equipo en forma muy frecuente y estable; se basa en el concepto de que mientras mejor atendida este la máquina, genera menor cantidad de problemas.
- **Mantenimiento Condicional.** Son actividades basadas en el seguimiento del equipo mediante el diagnóstico de sus condiciones.
- **Mantenimiento Predictivo.** Consiste en el monitoreo de condiciones y análisis del comportamiento de los equipos para determinar intervenciones, según los niveles de admisibilidad¹³.

2.2.2.2 Mantenimiento Correctivo. Es una actividad no programada y se dirige a reparaciones por fallas ocurridas. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones operativas,

¹² BOTERO Ernesto, Mantenimiento Preventivo. Universidad Industrial de Santander. 2005.

¹³ GONZÁLEZ BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2006.

por medio de restauración, remplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas ¹⁴.

2.2.3 Sistema de Mantenimiento: Un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción. Los sistemas de mantenimiento también contribuyen en el logro de las metas al incrementar las utilidades y la satisfacción del cliente. Estas se logran reduciendo el mínimo el tiempo muerto de la planta, mejorando la utilidad, incrementando la productividad y entregando oportunamente los pedidos a los clientes. El Objetivo del mantenimiento es asegurar la competitividad de la empresa por medio de:

- Garantía de la disponibilidad y confiabilidad planeada.
- Satisfacción de todos los requisitos de calidad.
- Maximizar el beneficio global.
- Adecuada disponibilidad de equipos e instalaciones al costo más conveniente¹⁵.

2.2.4 Planificación y Programación del Mantenimiento. Es el diseño de programas de actividades de mantenimiento, distribuidas en el tiempo, donde la frecuencia puede ser conocida o desconocidas, los recursos asignados dependiendo de la situación actual y contexto de los equipos y permite mantener los equipos en operación para cumplir con las metas de producción preestablecidas por la organización.

El inicio de mantenimiento es la planificación, donde se prepara la ejecución de los trabajos, consiguiendo la participación de todos los recursos y resolviendo todos los problemas que puedan afectar su eficiente ejecución.

¹⁴ ORTIZ PLATA, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga. 2008 CD. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander.

¹⁵BOTERO Ernesto, Mantenimiento Preventivo, Universidad Industrial de Santander. 2005.

2.2.5 Tipos de Planes. El proceso de planificación puede dividirse en tres niveles básicos, dependiendo de horizonte de la planificación. Los cuales son:

- Planes a largo plazo (cubre un periodo de hasta de 5 años).
- Planes a mediano plazo (cubre un período de hasta de un año)
- Planes a corto plazo (corresponde a los planes semanales y diarios)

2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad permite establecer niveles jerárquicos en procesos, sistemas, equipos y componentes en función del impacto global que se generan, con el objetivo de facilitar la toma de decisiones. También es el análisis de confiabilidad que establece un orden de prioridades de mantenimiento sobre una serie de instalaciones y equipos, otorgándole un valor numérico o estatus, en función de ciertos factores a tomar en cuenta¹⁶.

El análisis se orienta a través de tormenta de ideas en una reunión de trabajo con un grupo multidisciplinario conformado por la línea supervisora y trabajadores de operaciones y mantenimiento, ingeniería de procesos o infraestructura y analista de mantenimiento, con la finalidad de unificar criterios y validar la información

2.3.1 Clasificación de los Equipos según su Criticidad.

Los equipos se clasifican de acuerdo a su criticidad en Categorías¹⁷:

- No crítico.
- Medianamente Critico
- Crítico

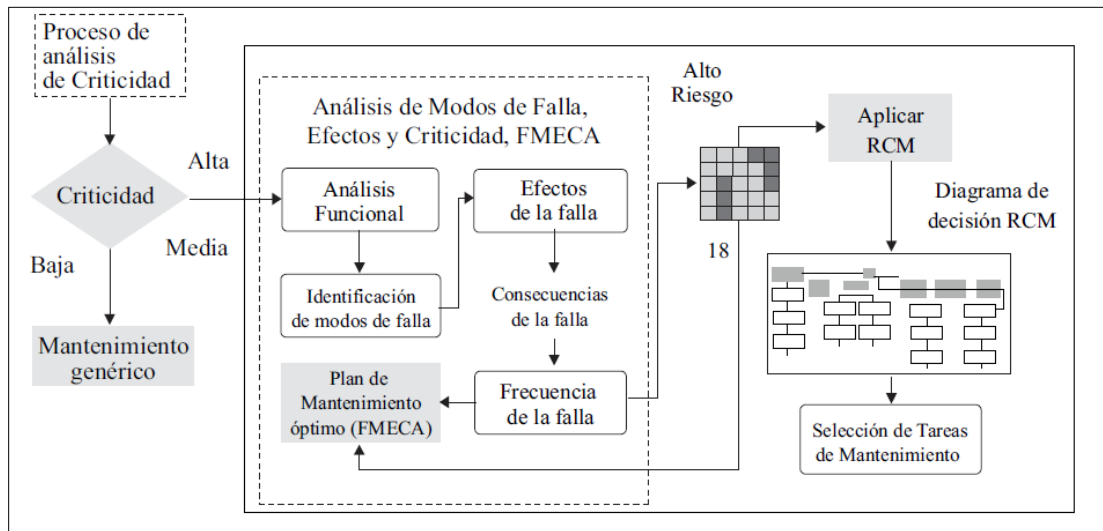
2.3.2 Metodología para determinar Criticidad. La incorporación de criterios de riesgo y confiabilidad en la planeación del mantenimiento es una tendencia global, que requiere la incorporación no solo de nuevas tecnologías en el proceso de

¹⁶ REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de equipos. Ingeniería de Mantenimiento. Staff técnico ABB. 2005

¹⁷ REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de equipos. Ingeniería de Mantenimiento. Staff técnico ABB. 2005

mantenimiento sino en la planeación misma del mantenimiento. La metodología para determinar la criticidad de equipos o componentes, se basa en estudiar por separado factores del área de mantenimiento, con fin de ponderarlos y determinar la criticidad.

Figura 4. Proceso de Análisis de Criticidad.



Fuente: REPSOL YPF. Staff técnico ABB. 2005

El cálculo de la criticidad no es directo y por lo general depende de los siguientes factores:

2.3.2.1 Criticidad en el área de mantenimiento¹⁸.

- **Cantidad de fallas ocurridas.** Este parámetro es la cantidad o número de veces que el activo falla en el tiempo de estudio
- **MTFS.** El tiempo medio fuera de servicio, es el promedio del tiempo que el activo esta indisponible o fuera de servicio, durante el tiempo de estudio

$$MTFS = \frac{\sum_{i=1}^n TFS}{N} = \frac{TFS_1 + TFS_2 + TFS_3}{3} \quad \text{Ec. 2.1}$$

¹⁸AGUILAR OTERO José R. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. Editorial Tecnología y ciencia. 2010.

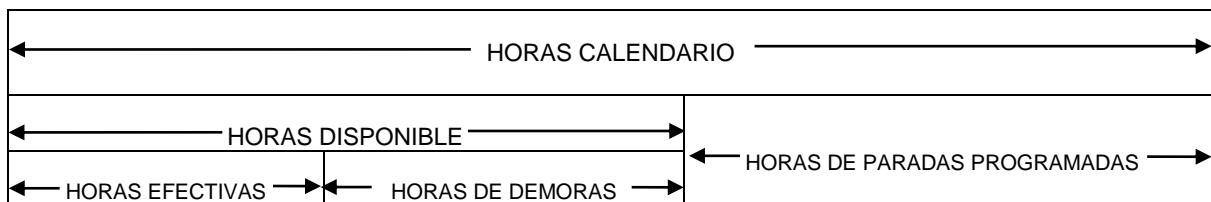
- **Disponibilidad de Repuestos.** Es el porcentaje de componentes nuevos adquiridos con respecto a la cantidad de repuestos pedidos o necesarios para mantenimiento.

$$DR = \frac{CantidadSatisfecha}{CantidadDemandada} * 100 \quad \text{Ec. 2.2}$$

- **Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo.** Es el porcentaje en que se ejecutan las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo.

$$MP = \frac{ODT Ejecutadas}{ODT Emitidas} * 100 \quad \text{Ec. 2.3}$$

- **Efectividad.** Es el porcentaje del tiempo en que el activo está realmente en operatividad con respecto al tiempo programado para estar operativo.



$$Efectividad = \frac{Horas Efectivas}{Horas Disponibles} * 100 \quad \text{Ec. 2.4}$$

- **Backlog.** Indica la cantidad de trabajo pendiente por realizar en un periodo determinado en función de las horas disponibles. Se recomienda evaluar este indicador semanalmente.

$$Backlog = \frac{H - Hde\ las\ Ordenes\ de\ Trabajo\ Pendientes\ por\ Ejecución}{H - H\ Disponibles\ por\ Semanas} \quad \text{Ec. 2.5}$$

2.4. ASPECTOS BÁSICOS DEL PROCESO RCM

2.4.1. Definición formal de RCM. El RCM consiste en un procedimiento metodológico general para mantener algún activo físico, tal como estructuras, conductores, entre otros. Se fundamenta en el hecho de que todo activo es puesto en funcionamiento porque se espera que cumpla una función o ciertas funciones específicas. Los requerimientos de los usuarios dependen de dónde y cómo se utilice el activo, conocido como el contexto operacional¹⁹²⁰.

Lo anterior lleva a definir formalmente el RCM como un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe cumpliendo su función en su contexto operacional actual²¹.

El RCM hace énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas, mediante: Integración de una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspecto de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento, manteniendo mucha atención en las tareas del Mantenimiento que más incidencia tienen en el funcionamiento y desempeño de las instalaciones, garantizando que la inversión en mantenimiento se utiliza donde más beneficio va a reportar²².

2.4.2 Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad. El MCC ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. Cuando es aplicado correctamente produce los beneficios siguientes:

- Mayor seguridad y protección del entorno.
- Mejores rendimientos operativos.

¹⁹ J. Augus. "RCM Guidebook: Building a Reliable Plant Maintenance Program". PennWell Corporation. 2004

²⁰ J. Moubray. "Reliability-Centered Maintenance" Second Edition. Industrial Press Inc. 1997

²¹ J. Moubray. "Reliability-Centered Maintenance" Second Edition. Industrial Press Inc. 1997

²² STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. "Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance" CIED Valencia (1999)

- Mayor Control de los costos del mantenimiento.
- Mayor aprovechamiento de la vida útil de los equipos.
- Una amplia base de datos de mantenimiento.

2.4.3 Equipo Natural de Trabajo. Es el conjunto de personas de diferentes funciones de la organización, que trabajan juntas por un periodo de tiempo determinado en un clima de potenciación de energía, para analizar los problemas comunes de los distintos departamentos, apuntando al logro de un objetivo común. Los equipos naturales de trabajo son vistos como los mayores contribuyentes al valor de la empresa, y trabajan consistentemente a largo plazo.

En la práctica, el personal de mantenimiento no puede contestar todas las preguntas por sí mismos. Esto porque muchas de las respuestas solo las pueden dar el personal de operaciones, los cuales se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requisitos de mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajos reducidos que incluyan una persona por lo menos de mantenimiento y otra de producción, en la figura 5 se muestra un ejemplo básico de un Equipo Natural de Trabajo.

Figura 5. Representación Típica de un Grupo de Trabajo de RCM.



Fuente: Strategig Technologies Inc. "Manual de Reability Center Maintenance" (1999),

2.4.3 Contexto Operacional. El primer documento que se realiza para un análisis de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es el contexto operacional, lo que debe realizarse muy cuidadosamente ya que de esto dependerá la ejecución del análisis, el cual debe contener una descripción detallada de la instalación que será analizada; también se refleja el propósito del equipo o sistema, descripción de equipos y procesos, dispositivos de seguridad, metas de seguridad ambiental y operacional, volumen de producción, calidad, servicio, planes a futuro, personal, turnos de trabajo, operaciones, mantenimiento, gerencia, límites del sistema y un listado de componentes de cada sistema en caso de que haya división del sistema en varios subsistemas, incluyendo dispositivos de seguridad e indicadores²³.

2.4.4 Preguntas Básicas para el Análisis del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Según la norma SAE JA-1011²⁴, toda aplicación del MCC debe responder siete (7) preguntas que permiten consolidar los objetivos de esta filosofía (aumentar la confiabilidad y disponibilidad de los activos por medio del empleo adecuado de recursos), las cuales, al obtenerse sus respuestas, resumen la esencia misma del RCM aplicado al activo o sistema que se desea revisar. Estas preguntas básicas son:

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
2. ¿De qué manera falla el activo en satisfacer dichas funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
5. ¿Cuál es la importancia de la falla asociada al efecto sobre la funcionalidad del sistema?
6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

²³STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. "Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance" CIED Valencia (1999)

²⁴ SAE JA1011, Evaluación de Criterios en procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Estandar Society of Automotive Engineers, 1998.

Para la resolución de estas preguntas se cuenta con técnicas de confiabilidad como el AMEF (Análisis de los Modos y Efectos de las fallas) y ALD (Árbol Lógico de Decisión). La primera ayuda a determinar las consecuencias de los modos de falla de cada activo en su contexto operacional, mientras que la segunda permite decidir el tipo de mantenimiento más adecuado, para cada modo de falla. La primera técnica ayuda a responder las cinco primeras preguntas, mientras que la segunda ayuda a responder las restantes.

El análisis de cada pregunta conlleva a definir respectivamente: a) Funciones, b) Fallas funcionales, c) Modos de falla, d) Efectos de falla, e) Consecuencias de falla, f) Tareas preventivas y predictivas y g) Acciones a falta de.

2.4.5 Análisis de Modo y Efecto de Fallas (AMEF). El Análisis de los modos y efectos de Fallas (AMEF), constituye la herramienta principal del RCM, para la optimización de la gestión de mantenimiento en una organización determinada. El AMEF es un método sistemático que permite identificar los problemas antes que estos ocurran y puedan afectar o impactar a los procesos y productos en un área determinada, bajo un contexto operacional dado. Hay que tener presente que la realización del AMEF, constituye la parte más importante del proceso de implantación del RCM, ya que a partir del análisis realizado por los grupos de trabajo RCM, a los distintos activos en su contexto operacional, se obtendrá la información necesaria para poder prevenir las consecuencias o efectos de las posibles fallas, a partir de la selección adecuada de actividades de mantenimiento, las cuales actuarán sobre cada modo de falla y sus posibles consecuencias.

El AMEF busca responder las 5 primeras preguntas básicas del RCM, definiendo así para cada activo sus funciones, sus fallas funcionales, los modos de falla y su efecto de fallas²⁵.

²⁵SAE JA1011, Evaluación de Criterios en procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Estandar. Society of AutomotiveEngineers, 1998.

2.4.5.1 Funciones y Estándares de Funcionamiento: Da inicio a la aplicación del RCM y consiste en determinar las funciones específicas y los estándares de comportamiento funcional, asociado a cada uno de los activos objeto de estudio en su contexto operacional²⁶.

- **Funciones Primarias.** Las funciones primarias de un elemento son las razones por las que existe, de modo que normalmente es una tarea sencilla identificarlas y describirlas. A menudo se identifica la función primaria por el nombre del elemento.

2.4.5.2 Fallas Funcionales: Las fallas funcionales se producen por la incapacidad de un elemento físico de satisfacer un criterio de funcionamiento deseado. Para definir una falla funcional sólo se requiere escribir la función en sentido negativo, es decir, negar la función.

2.4.5.3 Modos de Fallas: Son las razones que dan origen a las fallas funcionales, es decir, lo que hace que la planta, sistema o activo no realice la función deseada. Cada falla funcional puede ser originada por más de un modo de falla y cada modo de falla tendrá asociado ciertos efectos, que son básicamente las consecuencias de que esta falla ocurra.

2.4.5.4 Efecto de Fallas: Cuando se identifica cada modo de falla, los efectos de las fallas también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

2.4.6 Árbol Lógico de Decisiones (ALD). Es una herramienta del RCM, que permite seleccionar la tarea de mantenimiento más adecuada para evitar la ocurrencia de cada modo y efecto de falla. Da respuesta a las tres últimas

²⁶SAE JA1011, Evaluación de Criterios en procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Estandar. Society of Automotive Engineers, 1998.

preguntas básicas del RCM, Basándose en un flujograma de preguntas. El tipo de pregunta busca jerarquizar las actividades²⁷.

2.4.6.1 Consecuencia de los Fallas: Para el ALD pueda decidir sobre las tareas de mantenimiento a realizar, es importante que se tengan las consecuencias de los fallas y decidir el eslabón en que se encuentra cada modo de falla. El ALD propone el diagrama que se muestra en la figura 6.

- **Consecuencia de las Fallas Oculto.** Una función oculta o no evidente, es aquella cuya falla no es detectable por los operarios bajo circunstancias normales, si se produce por sí solo. Generalmente no ejercen efecto directo, pero si exponen a las instalaciones a otros fallas cuyas consecuencias serían más graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos²⁸

Figura 6. Diagrama del Árbol Lógico de Decisiones.



Fuente: Strategig Technologies Inc. "Manual de Reability Center Maintenance" (1999), con Adaptación Propia.

²⁷ SAE JA1012, Una Guía para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Norma Estándar. Society of Automotive Engineers, 2002.(Sociedad de IngenierosAutomotores).

²⁸ STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. "Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance" CIED Valencia (1999)

- **Consecuencia para la Seguridad.** Un modo de falla tiene consecuencias sobre la seguridad personal si causa una pérdida de función u otros daños que pudieran lesionar o matar a alguien, mientras que sobre el ambiente si origina una infracción de cualquier normativa o reglamento relacionado con el medio ambiente.
- **Consecuencias Operacionales.** Una falla trae consecuencias operacionales si tiene efecto adverso directo sobre la capacidad operacional, afectan al rendimiento total, la calidad del producto y el servicio al cliente. En todos estos casos estas consecuencias cuestan dinero.

Consecuencias No Operacionales. Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría son aquellos que no traen consecuencia sobre la seguridad ni la producción, de modo que solo originan el coste directo de la reparación.

2.4.6.2 Tareas de Mantenimiento Preventivo: Son aquellas que ayudan a decidir qué hacer para prevenir una consecuencia de falla. El que una tarea sea técnicamente factible depende de las características de la falla y la tarea²⁹.

- **Tareas a Condición.** Consisten en chequear si los equipos están fallando, de manera que se puedan tomar medidas, ya sea para prevenir la falla funcional o para evitar consecuencias de los mismos, las cuales están basadas en el hecho de que un gran número de fallas no ocurren instantáneamente, sino que se desarrollan a partir de un período de tiempo. Los equipos se dejan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.
- **Tareas Cíclicas de Recondicionamiento.** Consiste en revisar a intervalos fijos un elemento o componente, independientemente de su

²⁹BOTERO Ernesto, Mantenimiento Preventivo, Universidad Industrial de Santander. 2005.

estado original. La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está determinada por la edad en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla:

- **Tareas de Sustitución Cíclicas.** Consisten en reemplazar un equipo o sus componentes a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. La frecuencia de una tarea de sustitución cíclica está gobernada por la “vida útil” de los elementos.

2.4.6.3 Tareas a “Falta de”: Son las acciones “a falta de” que deben tomarse si no se pueden encontrar tareas preventivas apropiadas. Estas incluyen: la búsqueda de fallas, el no realizar ningún tipo de mantenimiento y el rediseño. Las tareas “a falta de” están regidas por las consecuencias de la falla.

Búsqueda de Fallas. Consiste en chequear una función oculta a intervalo regular para verificar si ha fallado.

Ningún Mantenimiento Preventivo. Se utiliza cuando la falla no causa consecuencia sobre la producción o la seguridad y no se puede encontrar una tarea preventiva adecuada, por lo que se deja que ocurra la falla y de allí la intervención para la reparación.

El Rediseño. Se refiere a cualquier cambio sobre las especificaciones del sistema en estudio, es viable solo cuando las tareas preventivas no son factibles y los modos de falla pueden generar daños sobre la seguridad y la producción.

3. CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según, Cervo y Bervian, Se define la investigación como *“Una actividad encaminada a la solución de problemas. Su objetivo consiste en hallar respuestas a preguntas mediante el empleo de procesos científicos”*³⁰.

De acuerdo al problema planteado y que estará referido al Diseño de un Plan de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en Sistemas moto-generadores eléctricos diesel con potencia menor a 500kw, como caso específico, de la Coordinación de Mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones del Rio, de la empresa ECOPETROL S.A., se utilizaron diversos tipos de investigación, los cuales se mencionan a continuación:

3.1.1 Nivel de la Investigación.

Según, Dankhe, citado por Hernández Sampieri y otros, establecen:

*“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis. Miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar”*³¹.

Según con lo enunciado por los autores, se deduce que el nivel de investigación de este trabajo de posgrado es Descriptivo por que se detallan las condiciones actuales del sistema moto-generadores eléctricos diesel con potencia menor a 500kw, así como para describir registro e interpretación del problema actual, además requirió de técnicas específicas así como de criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

³⁰Cervo y Bervian, 1989,

³¹Dankhe, 1986, citado por Hernández Sampieri y otros, 2001.

Esta metodología se puede ajustar teniendo en cuenta las variaciones que pueden existir entre los distintos sistemas de Generación ya sean estos mayores o menores a 500 KW o que funcionen con otro tipo de combustible.

3.1.2 Diseño de la Investigación. Según, Arias: *“El diseño es la estrategia adoptada por el investigador para responder el problema planteado.”*³².

En este caso esta investigación incluye las modalidades documental y de campo. Las cuales según Arias, conceptualiza: *“La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas”*.

Para el caso de la investigación de campo, Arias, expresa lo siguiente:

“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes”.

Esta investigación es documental, ya que se basa en el uso de textos, manuales, revistas, guías, normas, bitácoras y registros documentados por las diferentes empresas distribuidoras de las unidades de Generación, tales como: TRIENERGY, CUMMINS, GECOLSA, entre otras, que respaldan los fundamentos teóricos para la solución del problema.

En cuanto al diseño de campo, está relacionado con el estudio porque los problemas se describen, se analizan en forma directa, utilizando métodos y técnicas para inspeccionar los Sistemas que conforman una Unidad de Generación Eléctrica Diesel tanto en el área de operaciones como en la teoría, así

³²Arias, 2004) (pág. 79)

como el estudio de los equipos en el taller de mantenimiento de la misma, para observar las condiciones de los equipos y establecer posibles soluciones.

3.1.3 Propósito de la Investigación. El propósito de esta investigación es aplicado, debido a que se encuentra encaminada para implantar solución al problema que presenta la falta de planes de mantenimiento basados en confiabilidad para las Unidades de Moto-generación Eléctrica Diesel, por lo que se diseñó un plan de mantenimiento para mejorar la gestión del sistema.

3.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN, RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Según, Arias: *“Se entenderá por técnica, el procedimiento o forma particular de obtener datos e información”*.³³

En la realización de este trabajo se obtuvo gran cantidad de información para lograr el cumplimiento de los objetivos planteados. La información recabada fue de carácter teórica y práctica, para así lograr diseñar el plan de mantenimiento propuesto para para Unidades de Moto-generación Eléctrica Diesel. Entre las técnicas empleadas en la recolección de datos se encuentran:

3.2.1 Observación Directa. Se utilizó como técnica para identificar y describir los elementos que conforman el sistema de Moto-generación Eléctrica Diesel en el área de producción y en el taller de mantenimiento, con ayuda del personal de operaciones y mantenimiento. Aunado a esto se captó el entorno y procedimiento para las actividades de mantenimiento implementadas actualmente para el sistema.

3.2.2 Entrevistas con el Personal. Esta técnica fue fundamental para el desarrollo de la investigación, consistió en un dialogo o conversaciones en la superintendencia de operaciones del rio y él envió de correos corporativos a

³³(Arias, 2004) (pág. 67)

departamentos de Mantenimiento y Producción de otras superintendencias a fin de tener una visión general del problema a solucionar. Los datos recopilados sirvieron de base para conocer el funcionamiento de los equipos, las fallas de los equipos, las actividades que se realizan, las opiniones para la toma de decisiones, entre otros.

3.2.3 Encuestas. Esta técnica se utilizó para recabar información de forma escrita tanto en el área de mantenimiento como en el de producción, como complemento a las entrevistas realizadas. Para ello, se elaboraron una serie de formularios con la finalidad de que el personal pudiera expresar sus ideas, opiniones de forma precisa para contribuir con el logro de los objetivos propuestos.

3.2.4 La Descripción. Esta técnica, detalló los resultados de las observaciones realizadas, para analizar el sistema en estudio tanto en el área operacional como en el de mantenimiento, con miras a la resolución de los objetivos.

3.2.5 Gráficas. Se utilizaron para facilitar la explicación, análisis e interpretación de los datos y resultados. Para aplicar esta técnica se utilizaron gráficas de circulares, barras etc.

3.2.6 La Explicación. Esta técnica proporcionó esclarecimiento de los rasgos y situación del sistema, equipo y componentes para la resolución del problema del sistema de Unidades de Moto-generación Diesel de la Coordinación de Mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones del Rio.

3.2.7 Análisis de Criticidad. Es una técnica que permitió simplificar el estudio, propiciando análisis exhaustivos sobre los activos que así lo ameriten, es decir, los más importantes y donde es necesario mejorar los índices registrados. Esto con el fin de tomar decisiones acertadas para la aplicación de las actividades de mantenimiento.

3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.

Según, Arias *“La población, o en términos de población objetivo, es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio”*.³⁴

Mientras que la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población”.³⁵

El desarrollo de esta investigación se realizó en la Superintendencia de Operaciones del Río, perteneciente a la Gerencia Regional Magdalena Medio de ECOPETROL S.A., en el municipio de Cantagallo, sur de Bolívar y datos suministrados por otras superintendencias tales como: Superintendencia de Operaciones Putumayo (SOP), Superintendencia Operaciones Huila-Tolima (SOH), la Superintendencia de Operaciones de Mares (SOM) y la Superintendencia de Operaciones la Cira Infantas (SOC). El estudio se ejecutó específicamente al Sistema de Unidades de moto-generación eléctrica Diesel menores de 500 KW, como población se tomaron, todos los equipos y componentes del sistema, mientras que la muestra estudiada está representada por los componentes críticos. Cabe destacar que el estudio abarcó como población humana al personal de las áreas de producción y mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones del Río, como muestra se tomó al Equipo Natural de Trabajo, al igual que el personal de experiencia, entre los cuales figuran los técnicos mecánicos de ECOPETROL S.A y de empresas contratistas como Consorcio Confipetrol S.A., entre otras, las cuales cuentan con técnicos electricistas, instrumentistas, operadores y panelistas con más de 20 años de experiencia.

³⁴, Arias 20004 (pág. 81).

³⁵, Arias 20004 (pág. 83).

3.4 METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD.

Esta técnica es la fuente principal del desarrollo de la investigación, se fundamenta en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se encarga de estudiar a profundidad los activos, con el fin de ir lidiando con el problema hasta obtener la solución final.

Los estudios de esta metodología se dividen en dos técnicas: el AMEF (Análisis de Modo y Efecto de Fallas) y el ALD (Árbol Lógico de decisiones), La primera para estudiar el problema mediante, la función, las fallas, los modos y los efecto de las fallas de los activos, mientras que la segunda busca detectar las acciones necesarias para resolver los inconvenientes. Considerando que en mantenimiento es muy importante considerar que los planes pueden y deben cambiar dependiendo de las condiciones en las que se encuentra el activo, es posible generar una metodología basada en RCM que proporcione el enrutamiento inicial para generar un plan de mantenimiento para moto-generadores eléctricos diesel con potencia menor a 500kwy que constituya el punto de partida para generadores con especificaciones distintas, teniendo en cuenta las variaciones que pueden existir entre estos sistemas.

3.5 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Para desarrollo del proyecto en búsqueda de la solución adecuada y satisfactoria al problema planteado y cumplir con los objetivos propuestos se realizaron las etapas que se describen a continuación.

3.5.1 Revisión Bibliográfica. Esta etapa se fundamentó en la búsqueda de información técnica sobre el problema planteado, para lograr el cumplimiento de los objetivos y alcanzar bases teóricas necesarias. Se recopiló información centrada en los siguientes tópicos: Mantenimiento, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF), Árbol Lógico de Decisiones (ALD) y Análisis de Criticidad (AC), Unidades de Generación Diesel

menores de 500 KW, activos que conforman el sistema objeto de estudio. La indagación se apoyó en consultar: Manuales de fabricación, libros, revistas científicas y documentos técnicos, guías, bitácoras, presentaciones técnicas, manuales, normas e Internet.

3.5.2 Identificación, Diagnostico y Recopilación de Información del Sistema.

Esta etapa contó con la utilización de varias técnicas y sub etapas (fases), las cuales ayudaron a descifrar la situación actual de los sistemas de generación diesel menores a 500 kW. La primera fase se basó en la recolección de datos e información en los departamentos de producción y mantenimiento de la SOR. Se hizo una búsqueda de los datos técnicos y de proceso de los equipos mediante los manuales de los fabricantes y los de ECOPETROL S.A.

La segunda fase consistió en realizar visitas al área, para así determinar el estado de los equipos. Mediante observación directa se logró conocer el estado externo de los equipos, se consiguió tocar y escuchar los equipos para determinar cualquier anomalía presente. Además se revisaron datos sobre mediciones de parámetros, a fin de compararlos con los adecuados y determinar si cumplen con las especificaciones técnicas adecuadas.

3.5.3 Determinación de los Equipos Relevantes del Sistema. Esta etapa consistió en jerarquizar los componentes de los equipos asociados al estudio, para así enfocar e intensificar los estudios hacia los componentes que lo ameriten. Esta jerarquización propició al Equipo de Trabajo a seleccionar los equipos relevantes del sistema.

La primera fase se fundamentó en minimizar la lista de componentes a realizarle el análisis de criticidad. Mediante la experiencia del personal se descartaron directamente los componentes con criticidad baja y se definieron los componentes que si ameritaban el estudio. Esto se produjo mediante reuniones con los integrantes del Equipo Natural de Trabajo.

Para la segunda fase, debido a que no se tenían registros de los equipos, se realizó una encuesta al personal de los diferentes departamentos (Mantenimiento y Producción). Consistió en responder las interrogantes básicas del RCM. Para el área de mantenimiento se realizaron a todo el personal de mantenimiento (Mecánica, Electricidad e Instrumentación) y en el área de operaciones se realizó la encuesta al departamento de Producción.

Para la tercera fase de esta etapa, se recurrió a un Libro de cálculo de Microsoft Excel para documentar y registrar los datos obtenidos. Se clasificaron hojas en Excel bajo los nombres de: “Definición de Funciones”; “Críticidad”; Modos y Efectos de Falla AMEF y “Hoja de decisión”.

3.5.4 Aplicación de Análisis de Modos y Efecto de Fallas (AMEF). Una vez determinados los equipos y componentes críticos del sistema, se le aplicó el Análisis de Modos y Efecto de Fallas, el cual consistió en determinar las funciones, las fallas de las funciones, las causas y las consecuencias de las fallas. Para el desenvolvimiento de esta etapa se utilizaron técnicas de revisión bibliográfica y entrevistas con el personal.

Los manuales de fabricantes, manuales de Operaciones para Unidades de Generación Diesel, Internet y libros técnicos fueron las referencias revisadas, para indagar sobre las interrogantes que propicia el AMEF.

Las entrevistas con el personal formaron parte fundamental de esta etapa y el desarrollo del trabajo, se hicieron de manera directa y por correo electrónico corporativo, documentando la información recibida de otras superintendencias de ECOPETROL S.A. La información provenía de las áreas de procesos, del taller de mantenimiento y de área de oficinas. Las entrevistas se realizaron al personal de mantenimiento, operaciones, el Equipo Natural de Trabajo y personal de mayor experiencia.

Para asentar los resultados del AMEF se creó una hoja de información en Excel adaptada a la Superintendencia de Operaciones del RIO, con la finalidad de mejorar la identificación de los componentes objeto de estudio , cumpliendo normalmente con los requisitos que amerita la aplicación del AMEF.

3.5.5 Establecer Árbol Lógico de Decisiones. Esta etapa se fundamentó en determinar las acciones necesarias a implementar para el sistema, mediante el método del flujograma de preguntas del Árbol lógico de Decisiones. La técnica empleada fue las reuniones con el Equipo Natural de Trabajo y entrevistas constante con el personal de experiencia.

Esta actividad consistió en someter a cada modo de falla al flujograma de preguntas del Árbol Lógico de decisiones, hasta llegar a una respuesta positiva en la acción a implementar.

Se diseñó una hoja en Excel en la cual se consolida la información suministrada por los expertos en la materia y en la cual se muestra la frecuencia propuesta inicialmente y la especialidad asignada para realizar la actividad.

3.5.6 Diseño del Plan de Mantenimiento. Una vez determinadas las actividades a realizar, al igual que su frecuencia y departamento ejecutor, la etapa del diseño del plan de mantenimiento consistió en asentar las actividades de una manera ordenada y eficaz dentro del plano de ejecución de mantenimiento, aunado a lo anterior sólo se agregó las horas hombres que traen consigo cada actividad.

En la primera fase de esta etapa se realizó una reunión con los planeadores de mantenimiento y los técnicos de revisión y monitoreo del Horómetro de los equipos, para conocer con certeza cuándo operaran y así programar las actividades de mantenimiento, según la fecha en que están fuera de servicio o en servicio.

Para asentar las actividades se implantaron dos hojas, ambas con divisiones semanales por recomendación del Equipo Natural de Trabajo: una consta de 52 semanas que dan un total de doce meses o lo que es igual un año regular, donde se anotaron las actividades con frecuencia igual o menor a las de un año, la cual se debe aplicar anualmente, una segunda hoja con un total de 104 semanas o dos años para actividades con frecuencia mayores a un año pero igual o menores a dos años, dando así la aplicación de esta hoja cada dos años.

Para la segunda fase sustentada en organizar las actividades, se contó con entrevistas con el personal de mayor experiencia en el área de mantenimiento, donde se procedió a distribuir las actividades, colocando juntas las que pueden realizarse consecutivamente, pero sin acarrear tiempos diarios excesivos de mantenimiento.

Cabe destacar que el plan cuenta con actividades genéricas para el mantenimiento de cualquier Unidad de Generación Eléctrica, para el cual se consultaron actividades realizadas en otras superintendencias y en otras empresas que requieren del servicio de estos equipos.

4. CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1 EQUIPO NATURAL DE TRABAJO

Para la resolución del trabajo se creó un equipo multidisciplinario, el cual tuvo reuniones constantes, donde se producía una tormenta de ideas hasta llegar a la solución más adecuada al problema. El equipo estaba conformado por áreas de Mantenimiento y Producción.

- **Mantenimiento Centrado en Confiabilidad:**

Conformado por dos investigadores del posgrado en gerencia del mantenimiento, un facilitador-recopilador y un especialista en Mantenimiento de ECOPETROL S.A.

- **Operaciones:**

Conformado por un supervisor de producción, recorredores, operadores y panelistas de mayor experiencia en la SOR y un ingeniero de procesos, los cuales son especialista en manejo y operatividad de equipos, condiciones de procesos, manejo de variables.

- **Mantenimiento:**

Estructurado por los supervisores de mantenimiento operacional (Mecánica, Electricidad e Instrumentación), los planeadores y mantenedores de mayor experiencia, un especialista en mantenimiento predictivo y los programadores.

4.2 CONTEXTO OPERACIONAL.

Debido a la importancia que representa la producción y las operaciones dentro de ECOPETROL S.A., y los efectos que trae esto sobre el mantenimiento a implementar, el RCM propone determinar el contexto operacional de los equipos a estudiar.

4.2.1 Descripción de un Sistema de Generación Eléctrica Diesel. A continuación se argumentará como se clasifican y como está conformada una planta de generación eléctrica:

4.2.1.1 Clasificación de un Sistema de Generación Eléctrica

Las plantas de generación eléctrica con motores de combustión interna se clasifican de la siguiente manera:

a) De acuerdo al tipo de combustible.

- Con motor a gas (LP) ó natural.
- Con motor a gasolina.
- Con motor a diesel.
- Sistema Bifuel (diesel/gas)

b) De acuerdo a su instalación.

- Estacionarias.
- Móviles.

c) Por su operación.

- Manual.
- Semiautomática
- Automática (ATS)

d) Por su aplicación.

- Emergencia
- Continua.

Para efectos de la presente investigación, se documentaran las plantas de generación de energía específicamente con motor de combustión Diesel, de instalaciones estacionarias y móviles, de operación Automática y de aplicación en situaciones de emergencia.

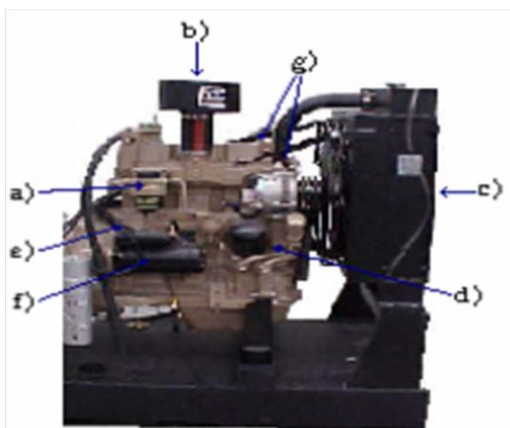
4.2.1.2. Componentes principales de una planta de Generación Eléctrica.

Las plantas de emergencia automáticas están compuestas principalmente de:

1. Un motor de combustión interna.
2. Un generador de corriente alterna.
3. Una unidad de transferencia.
4. Un circuito de control de transferencia.
5. Un circuito de control de arranque y paro.
6. Instrumentos de medición.
7. Control electrónico basado en un microprocesador.
8. Tanque de combustible.
9. Silenciador.

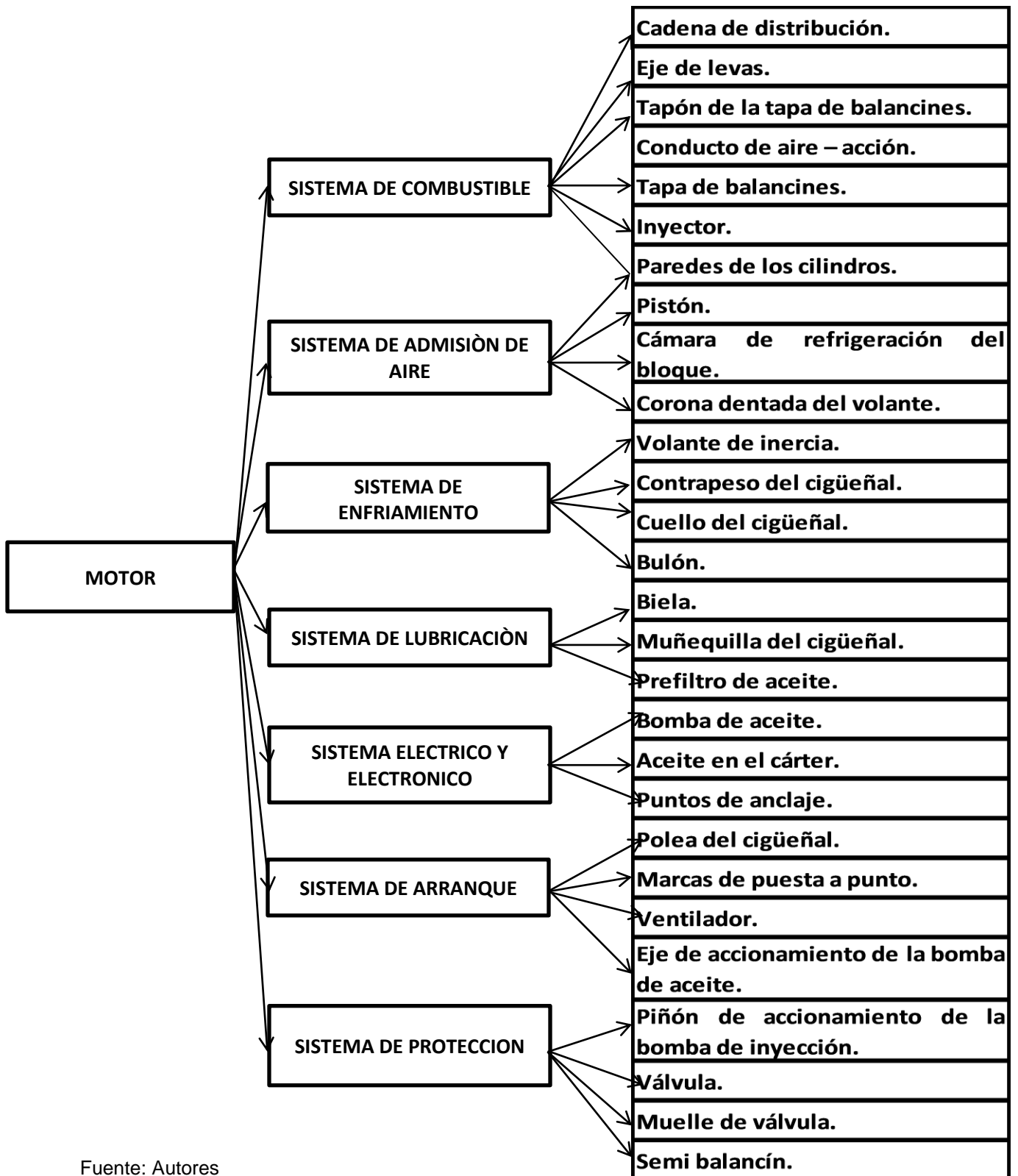
4.2.1.2.1. Motor: El motor de combustión interna puede ser de inyección mecánica o electrónica y está compuesto de varios sistemas que son:

Figura 7. Motor



- a) Sistema de combustible.
- b) Sistema de admisión de aire.
- c) Sistema de enfriamiento.
- d) Sistema de lubricación.
- e) Sistema eléctrico.
- f) Sistema de arranque.
- g) Sistema de Protección.

Figura 8. Esquema de los Sistemas y Subsistemas del Motor

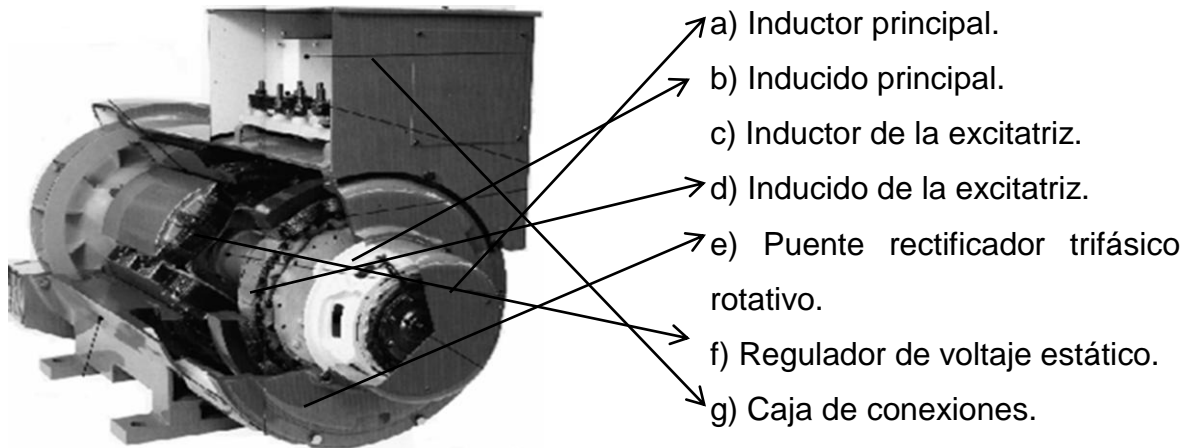


Fuente: Autores

4.2.1.2.2. Generador.

El generador síncrono de corriente alterna está compuesto de:

Figura 9. Generador Eléctrico



4.2.1.2.2. Transferencia.

La unidad de transferencia puede ser cualquiera de las que se mencionan, según la capacidad del genset:

- a) Contactores electromagnéticos.
- b) Interruptores termomagnéticos.
- c) Interruptores electromagnéticos.

Figura 10. a) Contactores Electromagnéticos b) Interruptores Termo magnéticos c) Interruptores Electromagnéticos



4.2.1.2.3. Circuito de control de transferencia.

En el caso de los grupos electrógenos automáticos incluyendo (Sincronía) el control tiene integrado un circuito de control de transferencia control.

Por medio de programación se implementan las funciones de transferencia (tiempos, configuración de operación) y ajustes como sean necesarios para cada caso, en particular. El circuito consta de:

a) Sensor de voltaje trifásico del lado normal, y monofásico del lado de emergencia.

b) Ajuste para el tiempo de:

- Transferencia.
- Retransferencia.
- Enfriamiento de máquina.
- En caso de ser sincronía (tiempo de sincronía y configuración de operación.)

c) Relevadores auxiliares.

d) Relevadores de sobrecarga.

e) Tres modos de operación (manual, fuera del sistema y automático).

4.2.1.2.4. Protección y control de motor.

El circuito del motor de arranque y protección de máquina consta de las siguientes funciones:

a) Retardo al inicio del arranque (entrada de marcha)

- Retardo programable (3 y 5 intentos).
- Periodo de estabilización del genset.

b) Solenoides de la máquina

- Solenoide auxiliar de arranque (4x).
- Válvula de combustible. O contacto para alimentar ECU en caso de ser electrónica

c) Fusibles (para la protección del control y medición).

d) Cuenta con indicador de fallas el cual puede ser:

- Alarma audible
- Mensaje desplegado en el display
- Indicador luminoso (tipo incandescente o led)

4.2.1.2.5. Instrumentos del tablero.

Los instrumentos de medición que se instalan normalmente en los genset son:

- a)** Voltímetro de C.A. con su conmutador.
- b)** Ampérmetro de C.A. con su conmutador.
- c)** Frecuencímetro digital integrado en el controlador.
- d)** Horómetro digital integrado en el controlador.

4.2.1.3. Características principales a especificar de una planta de emergencia

- Potencia (En HP)
- La velocidad de 1,200 RPM A 1,800 RPM, para generar a 60 Hz.
- La cilindrada, que se refiere al volumen que admite cada cilindro cuando succiona aire; multiplicado por el número de cilindros de la máquina.
- El diámetro que tienen los cilindros y su desplazamiento. (Carrera)
- Condiciones ambientales como: Presión atmosférica, temperatura y humedad

4.2.1.4 Clasificación de las plantas de emergencia

- a) Por el tipo de combustible: Gas LP, Gasolina, Diesel
- b) Por su operación: Automática o Manual
- c) Por el tipo de servicio: Continuo y de Emergencia

4.2.1.5. Características de una Unidad de Generación Eléctrica.

a. El rango de capacidades. Es de 30 kW (37,5 kVA) a 1 500 kW (1 875 kVA) en uso continuo, 60 Hz, 1 800 r/min, f.p. 0,8, con una tensión de generación de 480, 480Y/277 ó 220Y/127 V.

b. Arranque. Se debe suministrar con los medios necesarios para el arranque automático para entrar en operación por ausencia de tensión de la fuente de energía eléctrica normal, por medio de un tablero de transferencia y que tome la energía a plena carga como máximo en 10 s.

c. La capacidad. En operación continua debe determinarse en base al total de la carga que se requiere respaldar con este equipo. La capacidad de sobrecarga del grupo generador (Standby o de emergencia) del 10 por ciento durante 2 h de operación cada 24 h, es independiente del cálculo de la capacidad del grupo generador y debe quedar disponible.

d. Instalación. El generador eléctrico, el motor de combustión interna y el banco de baterías para el arranque deben instalarse sobre una base o patín estructural común, con sistema de aislantes de vibración y preparaciones para el anclaje del patín. El área destinada para instalar el grupo generador debe definirse según el proyecto, con suficiente ventilación, puertas amplias abatibles hacia el exterior de malla tipo ciclón con forro de PVC. El area debe tener espacio suficiente para ingreso y retiro del equipo y labores de mantenimiento.

e. Temperatura. El grupo generador debe operar en forma continua en un rango de temperatura ambiente de 0 °C (273,15 K) a 40 °C (313,1 K) sin detrimento de su capacidad.

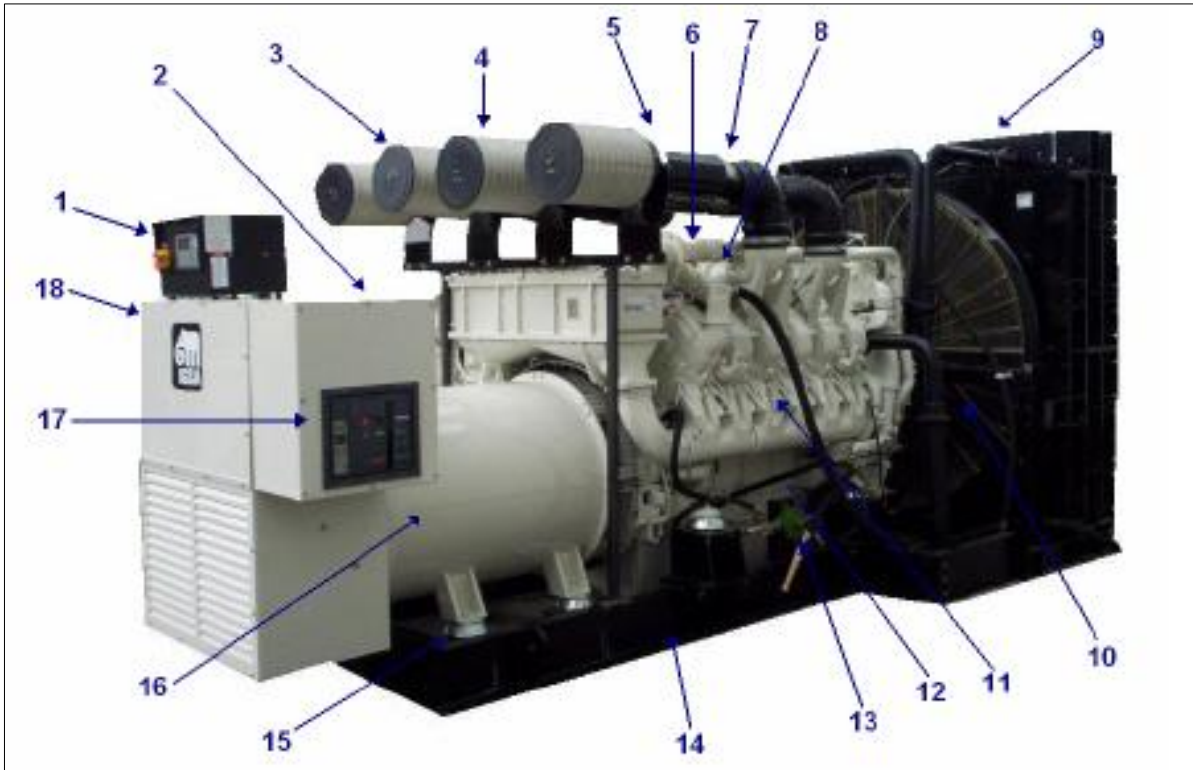
f. Humedad relativa. El grupo generador debe operar del 10 por ciento y el 95 por ciento de humedad relativa sin condensación.

g. Nivel de ruido máximo. El fabricante/proveedor o contratista debe de proporcionar desde la etapa de licitación los datos del nivel de ruido máximo del grupo generador y la distancia donde se tome esta lectura.

h. Altitud. El grupo generador debe trabajar a valores nominales sin detrimento en sus características a la altitud en m s.n.m. Para generadores a instalar en altitudes mayores a 1 000 m s.n.m., se debe aplicar un derrateo en 1 por ciento en exceso de cada 100 m.

4.2.1.6. Ubicación típica de los componentes en una Unidad de Generación

Figura 11. Distribución de Componentes. Unidad de Generación Diesel



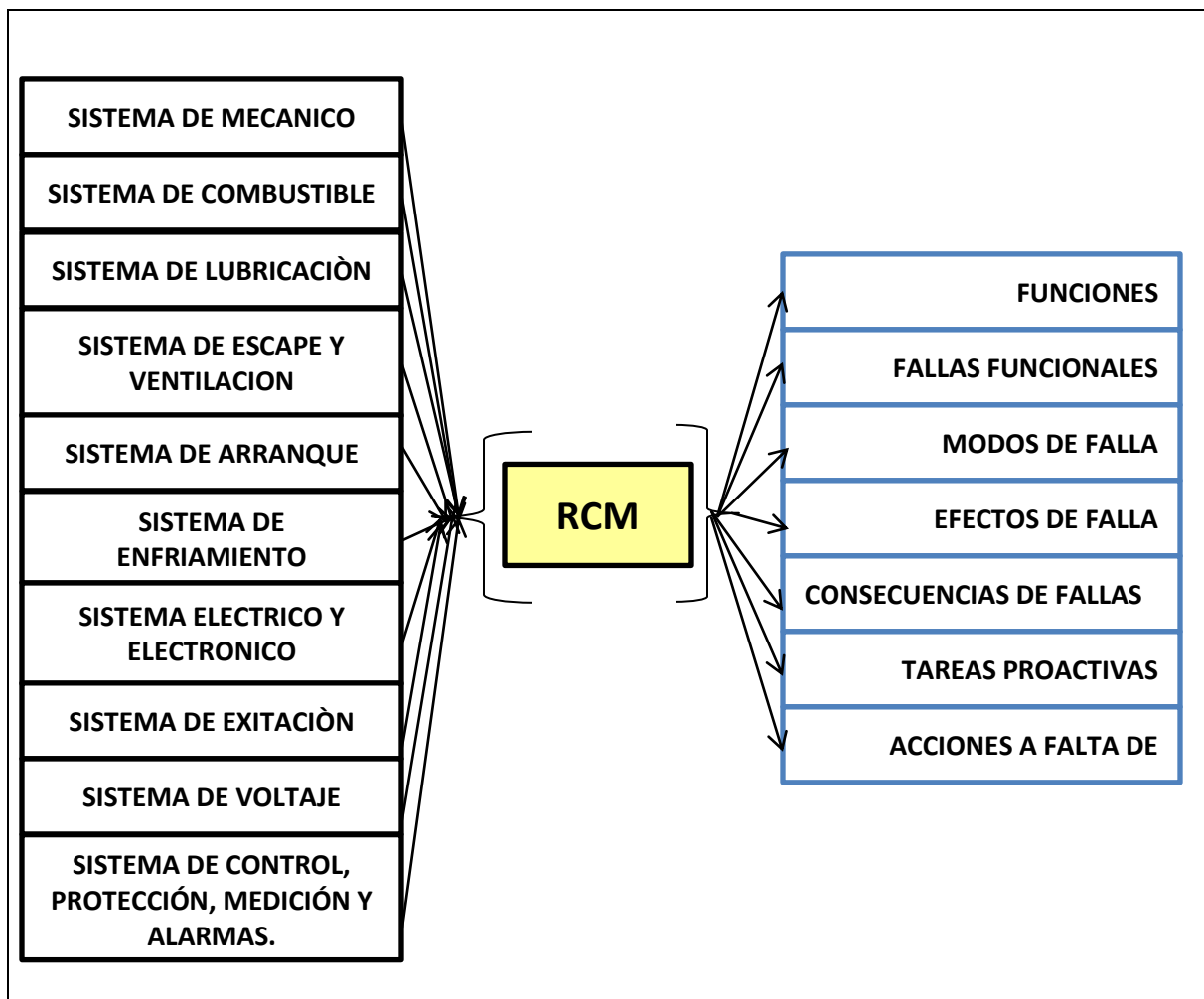
Fuente: Manual de Equipos CUMMIS- CATERPILAR.

ITEM	ELEMENTO DESCRIPCIÓN
1	Panel de control
2	Filtros de aire
3	Soporte de baterías y baterías (situado en la parte posterior de la figura)
4	Motor/es de arranque (situado en la parte posterior de la figura)
5	Alternador (situado en la parte posterior de la figura)
6	Bomba de combustible (situada en la parte posterior de la figura)
7	Turbo
8	Radiador
9	Guarda del ventilador
10	Motor de combustión interna
11	Carter
12	Bomba para drenar el aceite del Carter
13	Base estructural
14	Amortiguador
15	Generador
16	Interruptor
17	Regulador de voltaje automático (situado en la parte posterior de la figura)

4.3. DEFINICIÓN DE ACTIVOS Y SELECCIÓN DE SISTEMAS

Un Generador Eléctrico, se puede dividir en 10 partes (sistemas) para constituir así los activos a mantener, y por tanto a considerar en el proceso RCM, tal como se presenta en la figura 12.

Figura 12. Activos a mantener. Unidad de Generación Eléctrica.





Fuente. Autores.

4.3.1. Definición de funciones.

4.3.1.1. Funciones del Sistema Mecánico.


Tabla 1. Funciones Unidad de Generación. Sistema Mecánico

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO				 Universidad Industrial de Santander	
DEFINICIÓN DE FUNCIONES					
SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL					
ACTIVO	FUNCION	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS		
SISTEMA MECANICO	El sistema Mecanico es el encargado de poner en funcionamiento el motor de combustión interna el cual debe coordinar los tiempos de operacion (4) que son: la admisión, la compresión, la explosión y el escape mediante los ciclos de carburacion y combustion.	MOTOR	Cadena de distribución. Eje de levas. Tapón de la tapa de balancines. Conducto de aire – acción. Tapa de balancines. Inyector. Paredes de los cilindros. Pistón. Cámara de refrigeración del bloque. Corona dentada del volante. Volante de inercia. Contrapeso del cigüeñal. Cuello del cigüeñal. Bulón. Biela. Muñequilla del cigüeñal. Prefiltro de aceite. Bomba de aceite. Aceite en el cárter. Puntos de anclaje. Polea del cigüeñal. Marcas de puesta a punto. Ventilador. Eje de accionamiento de la bomba de aceite. Piñón de accionamiento de la bomba de inyección. Válvula. Muelle de válvula. Semi balancín.		

Fuente: Los autores

4.3.1.2. Funciones del Sistema de Combustible.


Tabla 2. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Combustible.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO			
DEFINICIÓN DE FUNCIONES SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL			
ACTIVO	FUNCIÓN	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS
SISTEMA DE COMBUSTIBLE	El sistema de combustible debe ser capaz de entregar un suministro de combustible limpio y continuo, y debe estar respaldado por un depósito de combustible de acuerdo a la potencia del grupo, además se sugiere tener un depósito de uso diario y uno de mayor capacidad para evitar paros por falta de combustible.	COMBUSTIBLE DIESEL	Líneas de Suministro. Carburador Tanques de almacenamiento Mangueras

Fuente: Los autores

4.3.1.3. Funciones del Sistema de Lubricación.


Tabla 3. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Lubricación.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO			
DEFINICIÓN DE FUNCIONES SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL			
ACTIVO	FUNCIÓN	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	Disminuir el rozamiento o desgaste entre las piezas móviles del Generador, circulando aceite a presión al motor de combustión interna y a los metales antifricción a fin de reemplazar la fricción solida por una fricción líquida.	ACEITE/LUBRICANTE	Bomba principal tipo desplazamiento positivo Filtros de aceite tipo dual Regulador de presión y válvulas relevadoras (de alivio). Regulador de presión y válvulas relevadoras (de alivio). Indicador de presión diferencial Indicador de presión del aceite lubricante Indicador de temperatura del aceite del cárter del motor Alarmas y dispositivos automáticos de protección y de paro por baja presión y alta temperatura del aceite. Cárter. Indicador de nivel bajo/alto nivel lubricante en el cárter. Tuberías y conexiones Arrestador de flama. Precalentador eléctrico de aceite, para arranque automático

Fuente: Los autores

4.3.1.4. Funciones del Sistema de Escape y Ventilación



Tabla 4. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Escape y Ventilación.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
DEFINICIÓN DE FUNCIONES					
SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL					
ACTIVO	FUNCION	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS		
SISTEMA DE ESCAPE Y VENTILACIÓN	Proporcionar suficiente aire, que lleve el oxigeno necesario al combustible a fin de obtener una optima combustion del motor.	AIRE	Silenciador Sistema de ductos de gases de escape Aislamiento térmico Cambios de dirección (codos) Sensores de muestreo para la medición de gases Junta flexible con conexiones bridadas Drenes, Soportería Aislante térmico con protección Mata chispas Empaques para todas las uniones bridadas y tornillería.		

Fuente: Los autores



4.3.1.5. Funciones del Sistema de Arranque.

Tabla 5. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Arranque.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
DEFINICIÓN DE FUNCIONES					
SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL					
ACTIVO	FUNCION	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS		
SISTEMA DE ARRANQUE	Proveer la condicion necesaria para el encendido del motor de combustion, venciendo su estado de reposo mediante la alimentacion con voltaje del grupo erlectrogeno de un solenoide o por medio de la rotacion generada por la presion del aire sobre las paletas de cilindros montados en un rotor. (arranque electrico o neumatico)	MOTOR DE ARRANQUE ELECTRICO/NEUMATICO	Selector automático-manual-prueba Botones de arranque Paro manual Paro de emergencia. Baterías Alternador con regulador automático para recargar las baterías		

4.3.1.6. Funciones del Sistema de Enfriamiento.



Tabla 6. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Enfriamiento.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
DEFINICIÓN DE FUNCIONES				SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL	
ACTIVO	FUNCION	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS		
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	Disminuir la temperatura de las piezas del motor, aumentadas por el calor generado en la combustión mediante un ciclo continuo de agua-aire que ingresa al radiador evitando que el motor se sobrecaliente y se dañe.	RADIADOR	Radiador tipo industrial Bomba de agua tipo centrífuga Ventilador para enfriamiento Termostato. Protección por alta temperatura de refrigerante Protección por bajo nivel de refrigeran Cubierta metálica protectora para radiador y ventilador Anticongelante o Refrigerante		

Fuente: Los autores


4.3.1.7. Funciones del Sistema de Control, Protección, Medición y Alarmas.

Tabla 7. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Control, Medición y Alarmas.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
DEFINICIÓN DE FUNCIONES				SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL	
ACTIVO	FUNCION	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS		
SISTEMA DE CONTROL, PROTECCIÓN, MEDICIÓN Y ALARMAS.	Ejecer el control del grupo generador, la medición de las tensiones y corrientes del suministro normal de energía eléctrica y del generador de corriente alterna, controlar el arranque y paro del grupo generador. Indicar los parámetros de operación y alarma, modificar parámetros según las necesidades de operación del grupo generador.	ELEMENTOS DE CONTROL Y PROTECCIÓN	Pantalla digital para la visualización y ajuste de los parámetros. Puerto RS-485 para protocolo de comunicación PARAMETROS @ VISUALIZAR Tensión, corriente, frecuencia. kW, kVAR, kVA, f.p., kWh, kVARH. Hórometro. Temperatura y presión de aceite del motor. Temperatura del líquido refrigerante. Nivel de combustible. Tensión de las baterías. Contador de horas de mantenimiento.		

4.3.1.8. Funciones del Sistema Eléctrico y Electrónico

Tabla 8. Funciones Unidad de Generación. Sistema de Eléctrico y Electrónico.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO			
DEFINICIÓN DE FUNCIONES SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL			
ACTIVO	FUNCIÓN	COMPONENTE PRINCIPAL	COMPONENTES SECUNDARIOS
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	<p>Tablero de Control y Transferencia: Supervisar permanentemente los niveles de energía de la red comercial y alimentar la carga de los equipos en caso de falla de este, a fin de evitar interrupciones en la operación y daño</p> <p>Generador Eléctrico: Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de las operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica, mediante un diferencial de potencial que induce la rotación e</p> <p>Batería o Acumulador: Almacenar energía química y transformarla en energía eléctrica, mediante el completamiento de un circuito de placas negativas y positivas,</p> <p>Bobina de Ignición: Producir la tensión necesaria para brincar la abertura de los electrodos de la bujía mediante una especie de transformador compuesto de un devanado de alambre, conductores y</p>	GENERADOR	Tablero de control Tablero de transferencia Generador eléctrico Batería o acumulador Alternador Cableado Bobina de Ignición.

Fuente: Los autores.

4.4. ANÁLISIS DE CRITICIDAD.

4.4.1. Identificación de los Componentes Críticos del Sistema. Se aplicó un Análisis de criticidad para conocer cuáles son los componentes que acarrear mayor importancia y a su vez mayores inconvenientes, con el propósito de intensificar la investigación sobre ellos, además de asignar los recursos a los componentes que lo ameriten. El análisis de criticidad realizado se basó en factores operacionales y de mantenimiento, propios del contexto operacional de las unidades de generación Diesel. En este sentido se diseñó una matriz de ponderaciones teniendo en cuenta el criterio de los expertos en el área de

mantenimiento e ECOPELROL S.A y las empresas contratistas encargadas del mantenimiento de estas unidades. A continuación se muestra la matriz de ponderaciones diseñada para el área de tanto la de mantenimiento como la de operaciones respectivamente.



Tabla 9. Parámetros y Ponderación de Criticidad

Factor a Evaluar		Criterios		Ponderación
		Rotativo	Estático	
1) Cantidad de Fallas Ocurridas en el Período a evaluar	1a)	$0 \leq F \leq 6$	$0 \leq F \leq 1$	No Critico (NC)
	1b)	$6 < F < 12$	$1 < F \leq 3$	Medianamente Critico (MC)
	1c)	$F \geq 12$	$F > 3$	Critico
2) Tiempo Promedio Fuera de Servicio (MTFS) en horas en el Período a evaluar	2a)	$MTFS \leq 3$		No Critico (NC)
	2b)	$4 < MTFS \leq 8$		Medianamente Critico (MC)
	2c)	$MTFS > 8$		Critico
3) Disponibilidad de Repuestos (DR) en el Período a evaluar	3a)	$DR \geq 80\%$		No Critico (NC)
	3b)	$50\% \leq DR < 80\%$		Medianamente Critico (MC)
	3c)	$DR < 50\%$		Critico
4) Cumplimiento de Mantenimiento Preventivo (CMP) en el Período a evaluar	4a)	$75\% \leq CMP \leq 100\%$		No Critico (NC)
	4b)	$50\% \leq CMP < 75\%$		Medianamente Critico (MC)
	4c)	$0\% \leq CMP < 50\%$		Critico
5) Efectividad (E)	5a)	$E \geq 80\%$		No Critico (NC)
	5b)	$50\% \leq E < 80\%$		Medianamente Critico (MC)
	5c)	$0\% \leq E < 50\%$		Critico

Fuente: Autores.

4.4.2. Análisis de Criticidad N°1. Sistema Mecánico. Motor

Tabla 10. Análisis de Criticidad. Sistema Mecánico. Motor

 										
GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE CRITICIDAD UNIDADES DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL										
SISTEMA	COMPONENTE PRINCIPAL	ITEM	COMPONENTES SECUNDARIOS	Cantidad de Fallas	MTFS	% DR	% CMP	% EFECTIVIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
MECANICO	MOTOR	1	Aceite en el cárter.	6	3	90%	50%	60%	33%	MC
		2	Biela.	3	3	90%	50%	60%	24%	NC
		3	Bomba de aceite.	8	3	90%	50%	60%	39%	MC
		4	Bulón.	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		5	Cadena de distribución.	7	3	90%	50%	60%	36%	MC
		6	Cámara de refrigeración del bloque.	8	3	90%	50%	60%	39%	MC
		7	Conducto de aire – acción.	10	3	90%	50%	60%	45%	C
		8	Contrapeso del cigüeñal.	5	3	90%	50%	60%	30%	MC
		9	Corona dentada del volante.	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		10	Cuello del cigüeñal.	2	3	90%	50%	60%	21%	NC
		11	Eje de accionamiento de la bomba de aceite.	7	3	90%	50%	60%	36%	MC
		12	Eje de levas.	5	3	90%	50%	60%	30%	MC
		13	Inyector.	7	3	90%	50%	60%	36%	MC
		14	Muelle de válvula.	3	3	90%	50%	60%	24%	NC
		15	Muñequilla del cigüeñal.	1	3	90%	50%	60%	18%	NC
		16	Paredes de los cilindros.	2	3	90%	50%	60%	21%	NC
		17	Piñón de accionamiento de la bomba de inyección.	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		18	Pistón.	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		19	Polea del cigüeñal.	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		20	Prefiltro de aceite.	8	3	90%	50%	60%	39%	C
		21	Puntos de anclaje.	9	3	90%	50%	60%	42%	C
		22	Semi balancín.	6	3	90%	50%	60%	33%	MC
		23	Tapa de balancines.	5	3	90%	50%	60%	30%	MC
		24	Tapón de la tapa de balancines.	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		25	Válvula.	3	3	90%	50%	60%	24%	NC
		26	Ventilador.	5	3	90%	50%	60%	30%	MC
		27	Volante de inercia.	4	3	90%	50%	60%	27%	MC

Fuente: Autores.

4.4.3. Análisis de Criticidad N°2. Sistema de Combustible y Motor de Arranque.


Tabla 11. Análisis de Criticidad. Sistema de Combustible y Motor de Arranque.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO										
ANÁLISIS DE CRITICIDAD UNIDADES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DIESEL										
SISTEMA	COMPONENTE PRINCIPAL	ITEM	COMPONENTES SECUNDARIOS	Cantidad de Fallas	MTFS	% DR	% CMP	% EFECTIVIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
COMBUSTIBLE	LINEA DE SUMINISTRO	1	Líneas de Suministro.	9	2	90%	50%	70%	39%	C
		2	Carburador	6	2	90%	50%	70%	30%	MC
		3	Tanques de almacenamiento	5	2	90%	50%	70%	27%	MC
		4	Mangueras	4	2	90%	50%	70%	24%	NC
ARRANQUE	MOTOR DE ARRANQUE	1	Selector automático-manual-prueba	3	2	90%	50%	70%	21%	NC
		2	Botones de arranque	5	2	90%	50%	70%	27%	MC
		3	Paro manual	4	2	90%	50%	70%	24%	NC
		4	Paro de emergencia.	3	2	90%	50%	70%	21%	NC
		5	Baterías	1	2	90%	50%	70%	15%	NC
		6	Alternador con regulador automático para recargar las baterías	2	2	90%	50%	70%	18%	NC

Fuente: Autores.

4.4.4. Análisis de Criticidad N°3. Sistema de Lubricación. Lubricante/Aceite.


Tabla 12. Análisis de Criticidad. Sistema de Lubricación. Lubricante/Aceite.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO											
ANALISIS DE CRITICIDAD UNIDADES DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL											
SISTEMA	COMPONENTE PRINCIPAL	ITEM	COMPONENTES SECUNDARIOS	Cantidad de Fallas	MTFS	% MTFS	% DR	% CMP	% EFECTIVIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
SISTEMA DE LUBRICACIÓN	LUBRICANTE/ ACEITE	1	Bomba principal	4	8	37%	90%	76%	85%	16%	MC
		2	Filtros de aceite	25	2.5	71%	90%	76%	85%	31%	C
		3	Regulador de presión y válvulas relevadoras (de alivio).	4	1	5%	90%	76%	85%	2%	NC
		5	Indicador de presión del aceite lubricante	12	0.1	1%	90%	76%	85%	1%	NC
		6	Indicador de temperatura del aceite del cárter del motor	7	4	32%	90%	76%	85%	14%	MC
		7	Alarmas y dispositivos automáticos de protección y de paro por baja presión y alta temperatura del aceite.	24	0.5	14%	90%	76%	85%	6%	NC
		8	Bajo nivel de aceite en el cárter.	22	3	75%	90%	76%	85%	33%	C
		10	Tuberías y conexiones	7	2	16%	90%	76%	85%	7%	NC
		11	Arrestador de flama.	0	0	0%	90%	76%	85%	0%	NC

Fuente: Autores.

4.4.5. Análisis de Criticidad N°4. Sistema de Escape y Ventilación.



Tabla 13. Análisis de Criticidad. Sistema de Escape y Ventilación. Aire

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO										
ANALISIS DE CRITICIDAD UNIDADES DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL										
SISTEMA	COMPONENTE PRINCIPAL	ITEM	COMPONENTES SECUNDARIOS	Cantidad de Fallas	MTFS	% DR	% CMP	% EFECTIVIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
SISTEMA DE ESCAPE Y VENTILACIÓN	AIRE	1	Silenciador	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		2	Sistema de ductos de gases de escape	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		3	Aislamiento térmico	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		4	Cambios de dirección (codos)	5	3	90%	50%	60%	30%	MC
		5	Sensores de muestreo para la medición de gases	9	3	90%	50%	60%	42%	C
		6	Junta flexible con conexiones bridadas	6	3	90%	50%	60%	33%	MC
		7	Drenes,	5	3	90%	50%	60%	30%	MC
		8	Soporteria	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		9	Aislante térmico con protección	3	3	90%	50%	60%	24%	
		10	Mata chispas	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		11	Empaques para todas las uniones bridadas y tornillería.	4	3	90%	50%	60%	27%	MC

Fuente: Autores.

4.4.6. Análisis de Criticidad N°5. Sistema de Enfriamiento




Tabla 14. Análisis de Criticidad. Sistema de Enfriamiento. Componentes Críticos

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO 										
ANALISIS DE CRITICIDAD UNIDADES DE GENERACION ELECTRICA DIESEL										
SISTEMA	COMPONENTE PRINCIPAL	ITEM	COMPONENTES SECUNDARIOS	Cantidad de Fallas	MTFS	% DR	% CMP	% EFECTIVIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACION
ENFRIAMIENTO		1	Radiador tipo industrial	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		2	Bomba de agua tipo centrifuga	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		3	Ventilador para enfriamiento	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		4	Termostato.	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		5	Protección por alta temperatura de refrigerante	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		6	Protección por bajo nivel de refrigeran	4	3	90%	50%	60%	27%	MC
		7	Cubierta metálica protectora para radiador y ventilador	3	3	90%	50%	60%	24%	NC
		8	Anticongelante o Refrigerante	11	3	90%	50%	60%	48%	C

Fuente: Autores.

4.4.7. Análisis de Criticidad N°6. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y otros.

Tabla 15. Análisis de Criticidad. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y otros.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO										
 										
ANÁLISIS DE CRITICIDAD										
UNIDADES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DIESEL										
SISTEMA	COMPONENTE PRINCIPAL	ITEM	COMPONENTES SECUNDARIOS	Cantidad de Fallas	MTFS	% DR	% CMP	% EFECTIVIDAD	CRITICIDAD	CLASIFICACIÓN
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	GENERADOR	1	Tablero de control	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		2	Tablero de transferencia	7	3	90%	50%	60%	36%	C
		3	Generador eléctrico	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		4	Batería o acumulador	11	3	90%	50%	60%	48%	C
		5	Alternador	9	3	90%	50%	60%	42%	C
		6	Cableado	3	2	90%	50%	70%	21%	NC
		7	Bobina de Ignición.	5	2	90%	50%	70%	27%	MC

Fuente: Autores.

4.5. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA A.M.E.F

Con las funciones principales y secundarias identificadas, el siguiente paso del proceso de RCM es el análisis de modos de falla y efecto.

El análisis de modos de falla y efecto es un proceso esquematizado en donde para cada función se determinan sus fallas funcionales, sus modos de falla y sus efectos. El proceso de análisis de modos de falla y efecto se describe en la figura siguiente:

Figura 13. Activos a mantener. Unidad de Generación Eléctrica.



Fuente: Autores.

Las fallas funcionales se definen como la incapacidad de un sistema para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado, en este caso, la incapacidad de cumplir con las horas de operación planeadas por el equipo técnico de la superintendencia de operaciones del Río.

Los modos de falla son los eventos que pueden causar una pérdida de función o una falla funcional.

Los modos de falla deben ser determinados bajo los siguientes factores:

- Deben ser razonablemente probables de ocurrir.
- Deben incluirse los modos de falla que han ocurrido previamente, los que son prevenidos con el plan de mantenimiento actual y los que no han ocurrido pero son razonablemente probables de ocurrir.

- Se debe incluir los modos de falla relacionados con el desgaste, defectos de diseño y errores humanos durante la operación y mantenimiento.

Los efectos de las fallas, indican lo que pasaría si ocurriera cada modo de falla. Se debe considerar los siguientes factores cuando se describen los efectos de las fallas:

- Se debe describir el efecto de un modo de falla como si ninguna tarea específica se estuviera haciendo para anticiparse o prevenir la falla.
- Se debe incluir la evidencia de que el modo de falla se haya presentado.
- Se debe describir como podría el modo de falla poner en riesgo la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente.
- Se debe describir como podría el modo de falla tener un efecto adverso sobre la operación.
- Se debe indicar los pasos para restaurar la función del sistema luego que funcional.



A continuación se describen los principales modos y efectos de falla resultantes del proceso de investigación desarrollado con el apoyo de los departamentos de operaciones y de mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones del Rio, y otras gerencias, en el cual se realizaron encuestas y cuestionarios con las empresas contratistas y funcionarios de ECOPETROL S.A, encargados del Mantenimiento de las Unidades de Generación Diesel. Mediante la recolección de estos datos se consolida una base de información sólida, la cual puede ser consultada en el momento de determinar una falla fortuita, ya que algunas de las fallas presentadas en otras áreas diferentes a la SOR, también están incluidas a fin de obtener un insumo genérico para el mantenimiento de estos equipos.

En tal sentido se diseñó una hoja de información, en la cual se describe: El sistema, el subsistema y el equipo objeto de análisis.

Esta hoja es el insumo principal para iniciar el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

4.5.1. Análisis AMEF N°1. Sistema Mecánico. Motor. Primera parte.



Tabla 16. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor (Primera parte).

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		MECANICO		
		SUBSISTEMA:		MOTOR DE ARRANQUE		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna.	MOTOR	El motor no arranca o arranca a baja velocidad	1	Bateria con carga insuficiente Borne de terminal de la batería defectuoso o batería defectuosa Conexiones eléctricas defectuosas Solenoide defectuoso Circuito de partida abierto Grado Incorrecto del aceite lubricante	El motor no arranca, lo cual genera retrasos y pérdidas de producción.
			El motor de gira pero falla al arrancar	1	No hay combustible en el estanque Aire en el sistema de combustible Agua en el sistema de combustible Filtros de combustible obstruidos Bujías(s) defectuosa(s) Líneas de combustible que van a los inyectores obstruidas Falla de la bomba de combustible	El motor no arranca, lo cual genera retrasos y pérdidas de producción.
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna.	MOTOR	El motor gira, engrana, pero falla después de unos segundos	1	Aceite lubricante demasiado espeso Caída de voltaje en el o los cables del motor.	El motor no arranca, lo cual genera retrasos y pérdidas de producción.
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna	MOTOR	El motor no se apaga	1	Conexión a tierra suelta Solenoide de combustible mal asentado	El motor no se apaga

Fuente: Autores.

4.5.2. Análisis AMEFNº2. Sistema Mecánico. Motor (Segunda parte).



Tabla 17. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor. (Segunda parte).

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		MECANICO		
		SUBSISTEMA:		MOTOR DE ARRANQUE		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna	MOTOR	El motor se detiene después de unas cuantas rotaciones	1	No hay combustible en el estanque. Filtro de combustible restringido. Depurador de aire o manguera restringidos. Dispositivo de seguridad abierto. Circuito de cableado al solenoide de combustible abierto. Solenoide de combustible defectuoso. Suministro de combustible restringido. Falla de la bomba de combustible. Interruptor de presión de aceite defectuoso Filtración en el sistema de combustible. Boquilla(s) del inyector defectuosa(s). Bomba de inyección defectuosa. Sobrecargas Internas del generador abiertas.	El motor arranca y luego se detiene
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión.	MOTOR	El motor no gira o gira muy lento	1	Batería con carga Insuficiente. Conexiones del cable de la batería sueltas u oxidadas. Cables de la batería defectuosos. Escobillas en corto circuito Escobillas Inactivas, defectuosas o sin contacto. Solenoide defectuoso Interruptor de encendido defectuoso. Aceite lubricante demasiado espeso	Desperfecto del motor
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión.	MOTOR	El motor gira pero el piñón no engrana	1	Piñón o corona dentada obstruida o gastada	Desperfecto del motor

Fuente: Autores.



4.5.3. Análisis AMEFNº3. Sistema Mecánico. Motor (Tercera parte).

Tabla 18. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor. (Tercera parte).

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		MECANICO		
		SUBSISTEMA:		MOTOR DE ARRANQUE		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión.	MOTOR	Motor no se desengancha después de que se ha soltado el Interruptor	1	Interruptor de encendido defectuoso Solenoides del motor defectuosos	Desperfecto del motor
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna	MOTOR	El piñón no se desengancha después de que el motor está funcionando	1	Partidor defectuoso	Desperfecto del motor
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna	MOTOR	No pasa energía al solenoides del motor	1	Batería defectuosa Conexiones eléctricas sueltas	Desperfecto en el circuito de partida del motor
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión.	MOTOR	El solenoides del combustible no se energiza o no permanece energizado	1	Batería defectuosa Conexiones eléctricas sueltas Interruptor de presión de aceite defectuoso Interruptor de seguridad de temperatura del agua abierto Solenoides de combustible defectuosos Interruptor de encendido defectuoso	Desperfecto en el circuito de partida del motor
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna	MOTOR	Vibración	1	Base de montaje anti vibratoria del motor defectuosa. Compresión deficiente.	Falta de tubería flexible (manguera) entre el motor y las líneas de combustible

4.5.4. Análisis AMEF N°4. Sistema Mecánico. Motor (Cuarta parte).



Tabla 19. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico. Motor. (Cuarta parte).

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL							
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN			SISTEMA:	MECANICO			
			SUBSISTEMA:	MOTOR DE ARRANQUE			
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla	
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión interna	MOTOR	Sobrecalentamiento	1	Restricción del depurador de aire	El motor aspira aire del entorno sin pasar por el filtro, debido a mangueras rotas o agrietadas o conexiones flojas.	
					Restricción del tubo de escape	El motor es operado sin filtro generando que el polvo y la suciedad actúen como	
					Restricción en la cámara de agua	un abrasivo produciendo el sobrecalentamiento..	
					Restricción en el radiador		
					Nivel de refrigerante demasiado bajo		
					Correa trapecoidal de la bomba de agua / alternador suelta		
					Termostato defectuoso		
Bomba de agua defectuosa							
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión.	MOTOR	Presión excesiva en el cigüeñal	1	Línea de ventilación del cigüeñal obstruida	El aire admitido por el motor es sucio y caliente lo cual predispone las líneas para el taponamiento, además No existe	
						Una conducción de aire externa para recibir aire limpio y fresco.	
MECANICO	Poner en funcionamiento el motor de combustión.	MOTOR	Pérdida de energía	1	Restricción del depurador de aire	El motor aspira aire del entorno sin pasar por el filtro, debido a mangueras rotas o agrietadas o conexiones flojas.	
					Aire en el sistema de combustible	El motor es operado sin filtro generando que el polvo y la suciedad actúen como	
					Respiradero restringido	un abrasivo produciendo el sobrecalentamiento..	
					Líneas de combustible restringidas		
					Bomba de inyección del combustible defectuosa		
					Inyector(es) defectuoso(s) o de tipo Incorrecto		
					Sincronización Incorrecta de la bomba de inyección de combustible		
					Sincronización Incorrecta de la válvula		
Compresión deficiente							

Fuente: Autores.

4.5.5. Análisis AMEF N°5. Sistema Mecánico. Sistema de Combustible y Lubricación. Aceite y/o Lubricante.




Tabla 20. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema de Combustible y Lubricación. Aceite y/o Lubricante.

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		DE COMBUSTIBLE		
		SUBSISTEMA:		ACEITE Y LUBRICACIÓN		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA DE COMBUSTIBLE Y LUBRICACION	Entregar un suministro de combustible limpio y continuo, respaldado por un depósito de combustible de acuerdo a la potencia del Motor-Generador.	ACEITE Y/O LUBRICANTE	Alto consumo de aceite	1	Fuga de aceite Aceite fuera de especificación Tiempos largos entre cambios de aceite Sobrecalentamiento del Motor Desgaste natural del motor	No se han cambiado las juntas o sellos y/ o el aceite utilizado esta fuera de especificaciones técnicas.
			Baja presión de aceite	2	Bajo nivel de aceite Mala selección del aceite Bomba dañada o con desgaste	Lubricante faltante (cambio de aceite) y/ o el aceite utilizado esta fuera de especificaciones técnicas. La bomba ya cumplió su vida útil y/o esta fuera de especificaciones.
SISTEMA DE COMBUSTIBLE Y LUBRICACION	Entregar un suministro de combustible limpio y continuo, respaldado por un depósito de combustible de acuerdo a la potencia del Motor-Generador.	ACEITE Y/O LUBRICANTE	Alta temperatura del aceite	1	Motor sobre calentado Mala selección del aceite Aceite degradado	No se ha realizado un cambio de aceite total y/o se ha utilizado aceite trabajado. El aceite utilizado esta fuera de especificaciones técnicas.

Fuente: Autores.

4.5.6. Análisis AMEFNº6. Sistema de Lubricación y Control



Tabla 21. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema de Lubricación y Control

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p>  						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		LUBRICACIÓN Y CONTROL		
		SUBSISTEMA:		Líneas y Parámetros de Control		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
LUBRICACIÓN Y CONTROL	Entregar un suministro de combustible limpio y continuo, respaldado por un depósito de combustible de acuerdo a la potencia del Motor-Generador.	Líneas y Parámetros de Control	Bajo nivel de aceite		Revisar nivel de aceite.	PARO DE LA UNIDAD DE GENERACION POR BAJA PRESION DE ACEITE
			Perdida de lubricante, por mangueras rotas o juntas deterioradas		Revisar fugas de aceite.	
			Parámetro de baja presión del motor, en el control esta en un valor adecuado		Revisar los parámetros de alarma y paro por baja presión de aceite en el control	
			Ajuste alto del acelerador		En motores de inyección mecánica, revisar el ajuste del acelerador	
			Picos de sobre velocidad al tomar la carga o al retirarla		Falla del gobernador de velocidad	

Fuente: Autores.

4.5.7. Análisis AMEF N°7. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Primera Parte

Tabla 22. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico.

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL </p> 					
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA : ELECTRICO Y/O ELECTRONICO			
		COMPONENTE : BATERIA – FUSIBLE			
SISTEMA	FUNCIÓN	Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO	Almacenar energía química y transformarla en energía eléctrica.	Batería con carga Insuficiente		Cables defectuosos, bornes sucios o terminales corroídos Correa suelta o rota Escobillas gastadas o rotas Sistema de alternador defectuoso Arnés de cableado defectuoso Escobilla rota Alternador defectuoso	Anomalías en el alternador de carga de la batería
		Batería con carga excesiva – uso excesivo de agua.		Sistema del alternador defectuoso	Anomalías en el alternador de carga de la batería
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO		La batería se carga con el motor funcionando (sin carga), pero se descarga en condiciones de carga	1	Deslizamiento de correa Alternador defectuoso	Anomalías en el alternador de carga de la batería
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO		El fusible de entrada se quema cuando se enciende el cargador		Corto en el cableado de 12 V que causa sobrecarga del cargador	Anomalías en el alternador de carga de la batería

Fuente: Autores.

4.5.8. Análisis AMEF N°8. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Segunda Parte



Tabla 23. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico.

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL </p> 				
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA : ELECTRICO Y/O ELECTRONICO		
		COMPONENTE : BATERIA – FUSIBLE		
SISTEMA	FUNCIÓN	Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO	Almacenar energía química y transformarla en energía eléctrica, mediante el completamiento de un circuito de placas negativas y positivas, conectados en serie.	El fusible de entrada se quema reiteradamente, aún cuando no este conectado	Corto Interno	Cargador de la batería (estado sólido)
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO	Almacenar energía química y transformarla en energía eléctrica, mediante el completamiento de un circuito de placas negativas y positivas, conectados en serie.	El cargador no funciona	Disyuntor del circuito de entrada abierto El cargador no recibe alimentación de CA La salida del cargador no está conectada a una batería de 12 V Cargador defectuoso	Cargador de la batería (estado sólido)
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO		Bajo Voltaje de salida, medido a lo largo de la salida del cargador	Batería no conectada a un cargador. Es normal medir 12 volts o menos a lo largo de la salida del cargador cuando la batería no está conectada	Cargador de la batería (estado sólido)
SISTEMA ELECTRICO Y/O ELECTRONICO		La conexión de polaridad de Inversa a la batería ha causado que el cargador deje de funcionar	Fusible Interno de CC quemado y posibles daños a los componentes que conducen corriente	Cargador de la batería (estado sólido)

Fuente: Autores.

4.5.9. Análisis AMEF N°9. Generador Eléctrico. Primera Parte.



Tabla 24. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Primera Parte)

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p> 					
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		ELECTRICO Y/O ELECTRONICO	
		COMPONENTE		GENERADOR ELECTRICO	
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional	Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica.	GENERADOR ELECTRICO	No hay voltaje	1 Pérdida del magnetismo residual en el campo del excitador Disyuntor del circuito disparado Abierto en el bobinado del estator Abierto o corto en los rectificadores giratorios En corto circuito Abierto en el campo del alternador Corto circuito en el inducido del excitador	No se genera energía eléctrica.
			Bajo voltaje	2 Velocidad baja del motor Carga excesiva Conexiones ce resistencia alta – conexiones tibias o calientes Campo en corto circuito	No se genera energía eléctrica.
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO		GENERADOR ELECTRICO	Voltaje con fluctuaciones (puede ser indicado por el parpadeo de las luces)	1 Velocidad fluctuante Velocidad irregular del motor Conexiones ce terminal o de carga sueltas Rodamiento defectuoso que cause separación de aire dispareja	No se genera energía eléctrica.
ELECTRICO Y ELECTRONICO		GENERADOR ELECTRICO	Alto voltaje	1 Velocidad excesiva del motor	No se genera energía eléctrica.

Fuente: Autores.

4.5.10. Análisis AMEF N°10. Generador Eléctrico (Segunda Parte)

Tabla 25. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Segunda Parte)

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		ELECTRICO Y/O ELECTRONICO		
		COMPONENTE		GENERADOR ELECTRICO		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica.	GENERADOR ELECTRICO	Sobrecalentamiento	1	Generador sobrecargado Filtros de ventilación obstruidos Alta temperatura en el área del generador Circulación Insuficiente Carga no balanceada Rodamiento seco	No se genera energía eléctrica.
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica.	GENERADOR ELECTRICO	Ruido mecánico	1	Rodamiento defectuoso El rotor roza en el estator Laminaciones sueltas Acopio suelto mal alineado	No se genera energía eléctrica.
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica.	GENERADOR ELECTRICO	El bastidor del generador produce choque al tocarlo		Carga estática Introducido de la bobina de campo conectado a tierra	No se genera energía eléctrica.



4.5.11. Análisis AMEF N°11. Generador Eléctrico. Tercera Parte.

Tabla 26. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Tercera Parte)

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACION ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:			ELECTRICO Y/O ELECTRONICO	
		SUBSISTEMA:			GENERADOR ELECTRICO	
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
		GENERADOR ELECTRICO	Batería(s) en mal estado.	1	Conexiones flojas y/o sulfatadas.	Generador No arranca
				2	Conexiones rotas.	
				3	Alternador o cargador de baterías en mal estado	
			Mal funcionamiento del Motor de arranque	1	Cables dañados. Ausencia de Voltaje en la bobina de solenoide auxiliar.	
				2	Falso contacto en la terminal del control del contacto de marcha	
			Falta de combustible.	1	Válvula solenoide no opera. (solenoide de combustible)	
				2	La salida del control no tiene alimentación en el tiempo de marcha.	
				3	Presencia de Aire en la línea de alimentación o en el sistema de combustible	
		4		Bajo nivel de combustible del tanque.		
		5		Válvula de alimentación de combustible no este cerrada		

4.5.12. Análisis AMEF N°13. Generador Eléctrico. Cuarta Parte.



Tabla 27. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Generador Eléctrico (Cuarta Parte)

 <p style="text-align: center;"> GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL </p> 						
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:			ELECTRICO Y/O ELECTRONICO	
		SUBSISTEMA:			GENERADOR ELECTRICO	
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica.	GENERADOR ELECTRICO	Conexiones sueltas o flojas.	1	Conexiones en mal estado	GENERADOR NO GENERA
			Regulador dañado.	2	Voltaje inadecuado en la salida del regulador F+ y F-.	
			Sistema de rectificación de generador dañado.	3	Alimentación de batería con el regulador desconectado y la máquina trabajando en F+ (positivo) y F- (negativo).	
			Bobina de excitación y fuerza dañadas.	4	Inadecuada resistencia de las bobinas	

Fuente: Autores.

4.5.13. Análisis AMEF N°14. Transferencia y Control. Primera Parte.

Tabla 28. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Transferencia y Control. (Primera Parte)




	GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL	
---	---	---

RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		ELECTRICO y EEELECTRONICO		
		SUBSISTEMA:		Transferencia y Control		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica.	Transferencia Y Control	Ausencia de alimentación en la Red de Normal	1	Salida de línea del voltaje en la entrada del interruptor de normal.	Ausencia de alimentación en la Red de Normal
			Circuito sensitivo de voltaje en el control no funciona (Integrado en controlador). OSensor de voltaje dañado (externo).	1	Mala calibración el los ajustes de protección de voltaje en el control	Circuito No funciona – No se genera voltaje.
				2	Inadecuada revisión de los fusibles de alimentación del sensor de voltaje.	No se genera voltaje
				3	Inadecuada revisión del sensor de voltaje	No se genera voltaje
			Interruptor termomagnético de transferencia normal no opera.	1	No se genera voltaje de alimentación de la bobina.	No se genera voltaje
				2	Interruptor termomagnético disparado.	Cambiador de fuerza No genera voltaje
			Interruptor electromagnético.	1	Contactos de fuerza del interruptor en mal estado	Reponer.
				2	Inadecuada operación de motor de energía almacenada.	Revisar ajuste de micros, contactos y conexiones de acuerdo al diagrama.

Fuente: Autores.

4.5.14. Análisis AMEF N°15. Transferencia y Control. Segunda Parte.



Tabla 29. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Transferencia y Control. (Segunda Parte)

	<p>GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO</p> <p>ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL</p>	 
---	--	---

RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		ELECTRICO y EELECTRONICO		
		SUBSISTEMA:		Transferencia y Control		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica	Transferencia Y Control	Conexiones sueltas o flojas.	1	Conexiones en mal estado	SISTEMA DE EMERGENCIA NO OPERA
			Máquina no arranca.	2	Conexiones en mal estado	
			Máquina no genera.	3	Conexiones en mal estado	
			Contactores de fuerza No Operan	1	Fusibles de control en mal estado.	
				2	Bajo voltaje de alimentación de la bobina.	
			Interruptor de protección de máquina.	1	Bajo voltaje de alimentación de la bobina.	
				2	Mal estado de los contactos de fuerza del contactor.	
				3	Inadecuada operación del interruptor.	
			Interruptor de transferencia no opera.	1	El Interruptor se encuentra disparado.	
				2	Mal estado de los contactos de fuerza del interruptor.	
			Interruptor electromagnético de transferencia no opera.	1	Inadecuada operación de motor de energía almacenada.	
				2	Los bloqueos del interruptor de normal no dispara	
			Circuito sensitivo de voltaje (integrado en el controlador) O Sensor de voltaje (externo)	1	Mala calibración el los ajustes de protección de voltaje en el control	
				2	Inadecuada revisión de los fusibles de alimentación del sensor de voltaje.	

4.5.15. Análisis AMEF N°16. Transferencia y Control. Tercera Parte.

Tabla 30. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico y Electrónico. Transferencia y Control. (Tercera Parte)

	<p>GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO</p> <p>ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA - AMEF SISTEMAS DE GENERACIÓN ELECTRICA DIESEL</p>	
---	--	---

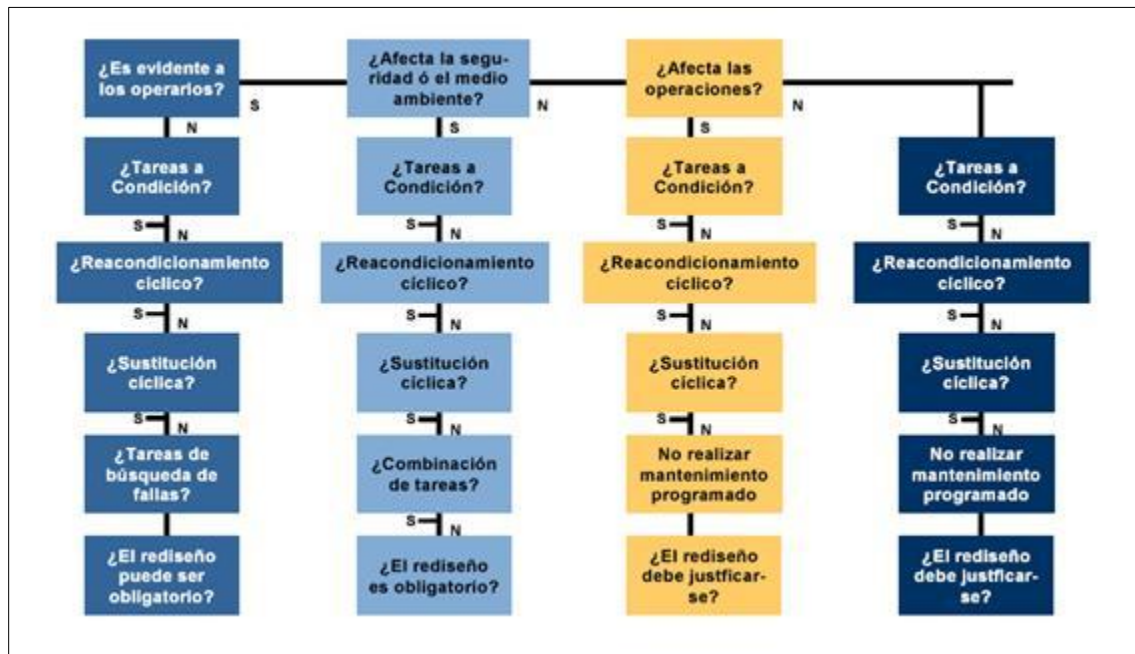
RCM – HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA:		COMBINADOS		
		SUBSISTEMA:		Transferencia y Control		
SISTEMA	FUNCIÓN		Falla Funcional		Modo de Falla	Efecto de la Falla
COMBINADOS: ELECTRICO Y MECANICO	Producir el Voltaje requerido según los requerimientos de la operación y transformar la energía mecánica producida en los motores en energía eléctrica	CONTROL Y PROTECIÓN	Conexiones sueltas o flojas.	1	Conexiones en mal estado.	EL GRUPO NO PARA DESPUÉS DE HABERSE RESTABLECIDO LA RED DE NORMAL
			Enfriamiento Excesivo	1	Largo tiempo de enfriamiento	
			Solenoides de paro no opera.	1	Inadecuada continuidad de la bobina del solenoide	
			Módulo de protección	1	Falta de Mantenimiento del relevador de combustible del control	
			Arranque y paro no opera (controlador).	1	Falta de verificación de la salida del controlador.	

Fuente: Autores.

4.6. ÁRBOL LÓGICO DE DECISIÓN.

Para determinar el tipo de mantenimiento más adecuado para cada modo de falla, se recurrió al árbol lógico de decisiones. Para desarrollar esta etapa se utilizó El flujograma de preguntas del Diagrama de decisión, en el cual los usuarios tienen la posibilidad de ir respondiendo y ponderando las preguntas de acuerdo a su especialidad.

Figura 14. Árbol Lógico de Decisiones.




Fuente: Autores.

Para resolver las interrogantes que propone el diagrama, se aplicaron entrevistas con el personal de mantenimiento y reuniones con el Equipo natural de trabajo, y así llegar a la acción más satisfactoria. El estudio consistió en realizarle las preguntas a cada modo de falla, siguiendo el flujograma hasta tener una respuesta determinante, es decir tener una acción a implementar, para luego asentar los resultados de cada modo de falla.

Para asentar los datos reflejados por el flujograma de preguntas, se utilizó una hoja de decisión de Elaboración propia. Las características de la hoja de decisión se muestran en la figura 15.

4.6. 1. Hoja de Decisión.

Figura 15. Hoja de Decisión diseñada en Excel.

<p>Sistema de Estudio</p> <p>Sistema: <input type="text"/></p> <p>Equipo al que se le aplica el análisis: </p> <p>Equipo: <input type="text"/></p> <p>Tag: <input type="text"/></p> <p>Codigo de Equipo: <input type="text"/></p> <p>Datos del AMEF aplicado a cada componente: <input type="text"/></p>										<p>GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO</p> <p>SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR</p> <p>DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO</p> <p>YARIGUI - CANTAGALLO</p> <p>HOJA DE DECISION</p>					<p>Universidad Industrial de Santander</p> <p>Persona que realizó la compilación e hizo la redacción de ideas y fecha de elaboración: <input type="text"/></p> <p>Recopilado por: <input type="text"/></p> <p>Fecha: <input type="text"/></p> <p>Revisado por: <input type="text"/></p> <p>Fecha: <input type="text"/></p> <p>Aprobado por: <input type="text"/></p> <p>Fecha: <input type="text"/></p> <p>Hoja 1/6</p> <p>Persona que examinó la compilación y la fecha: <input type="text"/></p> <p>Persona que certificó la recopilación y la fecha: <input type="text"/></p> <p>Hoja actual sobre hojas totales: <input type="text"/></p>				
<p>Componente al que se le aplica el análisis:</p> <p>COMPONENTE</p> <p>Funciones del Componente</p> <p>Fallas Funcionales</p> <p>Modo de falla</p> <p>¿El modo de falla es evidente?</p> <p>¿El modo de falla afecta a las personas?</p> <p>¿El modo de falla afecta al ambiente?</p> <p>¿El modo de fallo afecta a la producción?</p>		<p>REFERENCIA DE INFORMACIÓN</p> <p>F FF FM</p>		<p>EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS</p> <p>H S E O</p>			<p>TAREAS "a falta de"</p> <p>H1 H2 H3 H4 H5</p> <p>S1 S2 S3 H4 H5 S4</p> <p>E1 E2 E3</p> <p>O1 O2 O3</p>			<p>TAREAS PROPUESTAS</p> <p>Breve descripción de la acción propuesta</p> <p>Frecuencia inicial recomendada</p> <p>Personal a realizar la actividad</p>			<p>FRECUENCIA INICIAL</p> <p>A REALIZAR POR:</p>						
<p>¿Conviene realizar una tarea a condición?</p> <p>¿Es apropiado el reacondicionamiento ciclico?</p> <p>¿Conviene hacer una rehabilitación ciclica?</p>		<p>¿Conviene realizar la tarea de búsqueda de fallo?</p> <p>¿El modo de falla no evidente afecta la seguridad o el ambiente?</p>			<p>¿Combinación de tareas es la acción más recomendable?</p>														

Fuente: Autores.

4.6.2. Hoja de decisión N° 1. Sistema Mecánico. Motor

Tabla 31. Hoja de Decisión. Sistema Mecánico. Motor

Sistema:	SISTEMA MECANICO			GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO				Recopilado por: Freddy A. Ruiz - Jose L. Bonnet.	Fecha:	Hoja 1/6
Equipo:	MOTOR			HOJA DE DECISION				Revisado por: ECOPETROL S.A - UIS	Fecha:	
Tag:	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				Aprobado por:	Fecha:	
COMPONENTE	F	FF	FM	H	S	E	O	TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	
FILTRO DE ACEITE	1	A	1	N	N	S	S	Cambio de Filtros	720	MECANICO
ACEITE	1	A	1	S	S	S	S	Cambio de Aceite	250	MECANICO
	2	B	2	S	N	N	S	Inspeccionar la calidad y aspecto del Aceite	MENSUAL	MECANICO
	3	C	3	S	N	N	N	Monitear la presion del aceite del motor	SEMANTAL	MECANICO
	4	D	4	N	N	N	N	Inspeccionar el Nivel de aceite en el cárter	DIARIO	MECANICO
AIRE	1	A	1	S	S	N	S	Asegurar el suministro de Aire limpio y fresco	SEMANTAL	MECANICO
	2	B	2	S	N	N	N	Asegurar las facilidades necesarias para evitar el ingreso de tierra y polvo	SEMANTAL	MECANICO
	3	C	3	N	N	N	N	Revise si la correa trapezoidal está deshilachada o agrietada y si tiene la tensión correcta, ajuste si es necesario	MENSUAL	MECANICO
ADITIVO DE CORROSION INTERNA	1	A	1	S	N	S	S	Cambiar aditivo de corrosion Interna	SEMANTAL	MECANICO
TORNILLERIA	1	A	1	S	S	N	S	Verificar el estado de torsion en tornillos y tuercas.	MENSUAL	MECANICO
ARRANQUE	1	A	1	S	S	S	S	Arrancar el motor por lo menos una vez a la semana por un lapso de 30 minutos, para mantener bien cargado el acumulador	SEMANTAL	MECANICO
CARBURADOR	1	A	1	S	N	N	S	Inspeccionar sistema de carburación	MENSUAL	MECANICO
BOMBA DE INYECCION	1	A	1	S	N	N	N	Verificar operatividad y estado de la Bomba de Inyeccion	MENSUAL	MECANICO
BOMBA DE ALIMENTACION DE ACPM	1	A	1	N	N	N	N	Verificar operatividad y estado Bomba de Alimentacion de Combustible	MENSUAL	MECANICO

Fuente: Autores.

4.6.3. Hoja de decisión N° 2. Sistema Mecánico. Motor

Tabla 32 Hoja de Decisión. Sistema de Lubricación. Bomba y Filtro de Aceite- Carter.

Sistema:	SISTEMA DE LUBRICACIÓN			GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR				Recopilado por: Freddy A. Ruiz - Jose L. Bonnet.		Fecha:	
	Equipo:	BOMBA-FILTRO-CARTER			DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO				Revisado por: ECOPEPETROL S.A - UIS		Fecha:
Tag:					  HOJA DE DECISIÓN				Aprobado por:		Fecha:
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:	
	F	FF	FM	H	S	E	O				
BOMBA DE ACEITE	1	A	1	S	S	N	S	Verificar operatividad de la Valvula de Descarga	SEMANTAL	MECANICA	
FILTRO DE ACEITE	1	A	1	S	S	N	S	Inspeccionar estado de contaminacion del filtro, empaques y sellos	SEMANTAL	MECANICA	
FILTRO DE COMBUSTIBLE	1	A	1	S	S	S	S	Inspeccionar estado de contaminacion del filtro, empaques y sellos	SEMANTAL	MECANICA	
CARTER	1	A	1	S	N	N	S	Verificar Empaques y estado del Tapon de drenaje	SEMANTAL	MECANICA	

Fuente: Autores.

4.6.4. Hoja de decisión N° 3. Sistema de Enfriamiento.




Tabla 33. Hoja de Decisión. Sistema de Enfriamiento.

Sistema:	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					Recopilado por: Freddy A. Ruiz - Jose L. Bonnet.	Fecha:	Hoja 1/6
Equipo:								Revisado por: ECOPELROL S.A - UIS	Fecha:	
Tag:								Aprobado por:	Fecha:	
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
	F	FF	FM	H	S	E	O			
RADIADOR	1	A	1	S	N	N	S	Verificar Niveles de Agua	SEMANAL	MECANICO
	2	B	2	S	N	S	S	Sacar de operación la Unidad para Limpieza del Radiador.Utilizar un chorro de vapor o agua a baja presiónutilizando mezcla de agua-detergente. Dirigir siempre el chorro de vapor o agua, desde la parte frontal del radiador hacia el ventilador para no forzar los depósitos acumulados hacia el interior del radiador. Limpiar en la dirección de las rejillas, para mantener la forma del metal.	SEMESTRAL	MECANICO
	3	C	3	S	S	N	S	Verificar condiciones del tapon y empaque de hermeticidad	MENSUAL	MECANICO
TERMOSTATO	1	A	1	S	N	N	N	Verificar operatividad y estado del Termostato	SEMANAL	MECANICO
VENTILADOR	1	A	1	S	S	N	S	Verificar operatividad y estado del Ventilador	SEMANAL	MECANICO

Fuente: Autores.

4.6.5. Hoja de decisión N° 4. Sistema de Escape y Ventilación. Silenciador y Convertidor Catalítico.

Tabla 34. Hoja de Decisión. Sistema de Escape y Ventilación. Silenciador y Convertidor Catalítico.

Sistema:	SISTEMA DE ESCAPE Y VENTILACION			GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO				Recopilado por: Freddy A. Ruiz - Jose L. Bonnet.	Fecha:	
Equipo:	Silenciador Convertidor Catalítico.			 YARIGUI - CANTAGALLO  				Revisado por: ECOPEPETROL S.A - UIS	Fecha:	
Tag:				HOJA DE DECISION				Aprobado por:	Fecha:	Hoja 1/6
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
	F	FF	FM	H	S	E	O			
SILENCIADOR	1	A	1	N	N	N	N	Medir Niveles de Ruido	MENSUAL	MECANICA
	2	B	2	S	N	S	S	Verificar que el silenciador y la tubería del escape estén firmemente soportadas, para eliminar el esfuerzo en el múltiple de escape el cual puede producir grietas.	MENSUAL	MECANICA
	3	C	3	S	S	N	S	Verificar operatividad y estado	MENSUAL	MECANICA
CONVERTIDOR CATALITICO	1	A	1	S	S	S	S	Medir el Nivel y composición de emisiones las contaminantes (HC y CO)	MENSUAL	MECANICA

Fuente: Autores.

4.6.6. Hoja de decisión N° 5. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y Tablero de Control y Transferencia.

Tabla 35. Hoja de Decisión. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Generador y Tablero de Control y Transferencia.

Sistema:	SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO		GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO					Recopilado por: Freddy A. Ruiz - Jose L. Bonnet.		Fecha:	
Equipo:	Generador y Control de Transferencia		SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO					Revisado por: ECOPETROL S.A - UIS		Fecha:	
Tag:			 YARIGUI - CANTAGALLO HOJA DE DECISIÓN						Aprobado por:	Fecha:	Hoja 1/6
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:	
	F	FF	FM	H	S	E	O				
GENERADOR	1	A	1	S	N	S	S	Inspeccionar Bobina de excitación y fuerza y Sistema de rectificación	MENSUAL	ELECTRICO	
	2	B	2	S	S	N	S		MENSUAL	ELECTRICO	
	3	C	3	S	N	N	N	Revise si hay conexiones eléctricas sucias o sueltas, cables o conexiones rebanados y aislación en mal estado	MENSUAL	ELECTRICO	
	4	D	4	S	S	N	S	Pruebas Dinamicas y Estaticas	CADA 4 AÑOS	ELECTRICO	
	5	E	5	N	N	N	N	Revise (en su posición) la base de montaje antivibratoria del motor / generador	MENSUAL	ELECTRICO	
	6	F	6	S	N	S	S	Revise con un voltímetro la tension de salida del generador.	SEMANAL	ELECTRICO	
	7	G	7	S	S	N	S	Medicion de Aislamiento	MENSUAL	ELECTRICO	
	8	H	8	S	S	N	S	Medicion de Vibraciones	ANUAL	ELECTRICO	
	9	I	9	S	S	N	S	Termografia Terminales de Salida	ANUAL	ELECTRICO	
	10	J	10	N	N	N	S	Engrase de Rodamientos	8760	MECANICO	
TABLERO DE CONTROL Y TRANSFERENCIA	1	A	1	S	S	S	S	Apretar todas las conexiones eléctricas en la caja de controles	MENSUAL	INSTRUMENTACION	
	2	B	2	S	S	N	S	Revisar estado de la tarjeta de estado sólido	MENSUAL	INSTRUMENTACION	
	3	C	3	S	N	N	N	Revisar estado del cargador de baterías	MENSUAL	ELECTRICO	
	4	D	4	S	S	N	S	Medicion de Aislamiento, Breaker e Interruptores y cables.	MENSUAL	ELECTRICO	
	5	E	5	S	S	N	S	Termografia a Breaker e Interruptores y cables.	MENSUAL	ELECTRICO	

Fuente: Autores.

4.6.7. Hoja de decisión N° 6. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Batería y Alternador.

Tabla 36. Hoja de Decisión. Sistema de Eléctrico y Electrónico. Batería y Alternador.

Sistema:	SISTEMA DE ELECTRICO Y ELECTRONICO		GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO					Recopilado por: Freddy A. Ruiz - Jose L. Bonnet.		Fecha:	
	Equipo:	Bateria - Alternador	SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR					Revisado por: ECOPETROL S.A - UIS		Fecha:	
Tag:			REFERENCIA DE INFORMACIÓN		EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:
	F	FF	FM	H	S	E	O				
											Hoja 1/6
BATERIA	1	A	1	S	S	S	S	Revisión y medición de los niveles de agua y la densidad del electrolito. Debe comprobarse tanto el valor de cada celda, como que los valores entre celdas no sean dispares. Verificando Fugas y Existencia de Partículas de suciedad.	MENSUAL	ELECTRICO	
	2	B	2	S	N	S	S	Revisión visual exterior de las conexiones, cargador, etc.	MENSUAL	ELECTRICO	
	3	F	6	S	S	S	S	Limpieza de las Baterías. Aflojar la Terminal y lijar el poste y la pinza removiendo la suciedad con un trapo húmedo con una solución de Bicarbonato y agua en relación 1:4.	MENSUAL	ELECTRICO	
	4	J	10	S	S	S	S	Comprobar el estado de carga de las baterías. Se debe dejar reposar las baterías durante un corto periodo de tiempo con el cargador desconectado. Después comprobar el peso específico de cada celda utilizando un densímetro.	MENSUAL	ELECTRICO	
EXCITRATIZ	1	A	1	S	N	N	N	Limpieza en general de la Excitratiz	ANUAL	ELECTRICO	
	2	G	7	S	N	N	S	Realizar una Prueba de diodos, a través del ohmetro (en busca de un diodo abierto), reemplazarlos según condición.	ANUAL	ELECTRICO	

4.7 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO EN UNIDADES DE GENERACION DIESEL

4.7.1. Mantenimiento Preventivo. La vida útil de los equipos se prolonga con un buen mantenimiento preventivo, que puede ser por horas de trabajo o por tiempo. Se recomienda por lo menos cada 200 horas de operación o 6 meses, lo que ocurra primero.

Figura 16. Mantenimiento Preventivo. Unidades de Generación Diesel.



Fuente: Carlos Andres Saldarriaga. Técnico Mecánico. CONFIPETROL S.A. Superintendencia de Operaciones del RIO. ECOPETROL S.A. 2012.

Este mantenimiento preventivo consiste fundamentalmente en:

- Cambio de aceite y filtros
- Cambio de anticongelante
- Revisión y medición de densidad en electrolito de baterías
- Revisión y/o cambio de mangueras y bandas
- Reapriete de conexiones mecánicas y eléctricas
- Ajuste de voltaje y frecuencia así como prueba de protecciones
- Ajuste y reapriete de conexiones eléctricas al tablero de transferencia
- Limpieza en general (lavado con hidrolavadora)
- Pruebas en vacío, con carga, en manual y automático

Figura 17. Limpieza General Unidades de Generación Diesel.



Fuente: Personal Servicios de Mantenimiento. Superintendencia de Operaciones del RIO. ECOPETROL S.A. 2012.

Figura 18. Revisión Motor. Unidades de Generación Diesel.



Fuente: Personal Servicios de Mantenimiento. Superintendencia de Operaciones del RIO. ECOPETROL S.A. 2012.

4.7.2. Mantenimiento Correctivo. Cuando un equipo falla es necesario tener un stock de refacciones y/o personal capacitado para resolver cualquier contingencia a cualquier hora, cualquier día, en cualquier lugar.

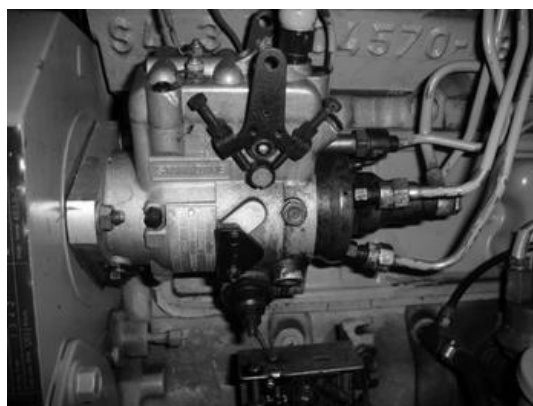
Figura 19. Revisión Sistema Eléctrico y Electrónico. Unidades de Generación.



Fuente: Personal Instrumentación. Superintendencia de Operaciones del RIO. Mecanicos Asociados S.A. ECOPETROL S.A. 2012.

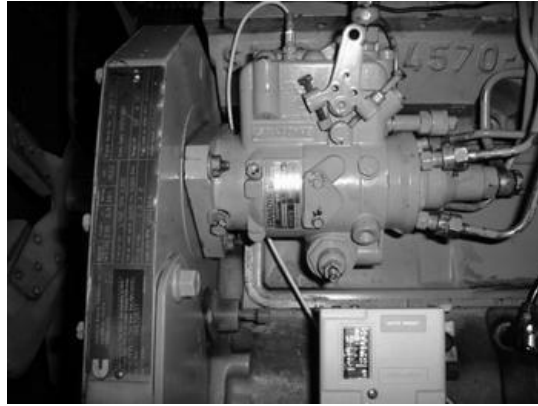
Normalmente se presenta que la unidad: No arranca, No genera o No transfiere, etc.

Figura 20. Motor Sin Mantenimiento



Fuente: Motor CUMMINS SM-450- 500.

Figura 21. Motor Con Mantenimiento Asociados S.A. ECOPETROL S.A. 2012



Superintendencia de Operaciones del RIO. Mecanicos

4.7.3. Plan de Mantenimiento.

Una vez aplicado el AMEF y el ALD, se asentó de manera ordenada las actividades o tareas de mantenimiento a realizar, sumado a esto, en esta etapa se agregó las horas hombres estimadas para realizar cada actividad en el plan de mantenimiento, estas se determinaron según indicaciones de los expertos en el área de mantenimiento y reparación de las Unidades de Generación Eléctrica Diesel, tomando en cuenta todos los factores que influyen en el tiempo de reparación del sistema.


Para comenzar a organizar las actividades, se creó un plan de operación para el sistema de Compresión, donde se asignó el tiempo que van a estar en servicio y a su vez fuera de servicio, esto por recomendación del departamento de mantenimiento y se diseño de acuerdo a un acuerdo del Equipo Natural de Trabajo.

En las tablas 37, 38, 39, 40 y 41, se muestra el plan de mantenimiento genérico diseñado para unidades de generación diesel, con actividades realizadas con una frecuencia de cada 1000 horas y actividades de mantenimiento programadas cada 3000 horas, el cual documenta las tareas a realizar en el pre-arranque, durante el arranque y después del arranque.

En las tablas 42, 43, 44, 45 y 46, se documenta el Plan de Mantenimiento por equipos, tomando como insumo los resultados obtenidos en el análisis de criticidad, el análisis de modos y efectos de falla y las tareas consignadas en la hoja de decisión diseñada, el cual muestra, el tipo de tareas, ya sea esta preventiva, predictiva o correctiva, la frecuencia de mantenimiento y las horas requeridas para el desarrollo de las actividades.


4.7.3.1 Plan de Mantenimiento Genérico. Tareas de Pre- Arranque de la Unidad. Primera Parte

Tabla 37. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Primera Parte

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
PLAN DE MANTENIMIENTO RCM - UNIDADES DE GENERACIÓN DIESEL					
ITEM	TAREAS DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES A REALIZAR ANTES DEL ARRANQUE	MANTENIMIENTOS GENERICOS		MANTENIMIENTOS
			FRECUENCIA		FRECUENCIA
			Cada 1000 Horas	Una vez al año o cada 3000 horas	Una vez al año o cada 3000 horas
1	Revisar la base de montaje antivibratoria del motor/generador por si presenta grietas, cortes, abrasión o ensanchamiento.	X			
2	Revisar la lubricación del motor, el filtro del combustible y las conexiones por si hay filtraciones	X	X		X
3	Revisar el nivel del aceite lubricante del motor, agregue si es necesario	X	X		X
4	Revisar si la correa trapecoidal está deshilachada o agrietada y si tiene la tensión correcta, ajuste si es necesario	X	X		X
5	Revisar si hay filtraciones en las mangueras del radiador, revise el nivel de refrigerante y la mezcla al 50/50	X	X		X
6	Verificar si están limpios el serpentín del radiador y la entrada del aire del generador (limpie con aire comprimido, revierta la dirección de flujo de aire)	X	X		X


4.7.3.2 Plan de Mantenimiento Genérico. Tareas de Pre- Arranque de la Unidad. Segunda Parte

Tabla 38. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Segunda Parte

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
PLAN DE MANTENIMIENTO RCM - UNIDADES DE GENERACIÓN DIESEL					
ITEM	TAREAS DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES A REALIZAR ANTES DEL ARRANQUE	MANTENIMIENTOS GENERICOS		MANTENIMIENTOS
			FRECUENCIA		FRECUENCIA
			Cada 1000 Horas	Una vez al año o cada 3000 horas	Una vez al año o cada 3000 horas
7	Revisar el depurador de aire				
7a	Sumerjir el filtro de aire en un baño de aceite. Revise si está sucio y limpie (cuerpo del filtro y malla interna), cambie el aceite cada 250 horas	X	X		X
7b	Filtro de aire de elemento seco con soporte de filtro. Revisar si está sucio y limpie/reemplace como indica el soporte de filtro	X	X		X
8	Vaciar el agua del sumidero del estanque de combustible y del receptáculo del filtro del combustible	X	X		X
9	Llenar el estanque del combustible con combustible diesel, revise el funcionamiento del medidor de combustible	X	X		X
10	Revisar el amperaje de las bujías	X	X		X
11	Revisar si los terminales de las baterías están firmes y limpios (Limpie y aplique sellador de terminales de batería)	X	X		X
12	Revisar si hay conexiones eléctricas sucias o sueltas, cables o conexiones rebanados y aislación en mal estado	X	X		X
13	Apriete todos los accesorios (soportes, etc)	X	X		X


4.7.3.3 Plan de Mantenimiento Genérico. Tareas de Pre- Arranque de la Unidad. Tercera Parte

Tabla 39. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Tercera Parte

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
PLAN DE MANTENIMIENTO RCM - UNIDADES DE GENERACIÓN DIESEL					
ITEM	TAREAS DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES A REALIZAR ANTES DEL ARRANQUE	MANTENIMIENTOS GENERICOS		MANTENIMIENTOS
			FRECUENCIA		FRECUENCIA
			Cada 1000 Horas	Una vez al año o cada 3000 horas	Una vez al año o cada 3000 horas
13	Apriete todos los accesorios (soportes, etc)	X	X		X
14	Cambiar de aceite lubricante y el o los filtros (Vea la Nota 1)		X		X
15	Sumerjir el cuerpo del filtro de aire y la malla interna en un baño de aceite limpio.		X		X
16	Limpiar el filtro interno de la bomba de combustible de alzamiento mecánico	X	X		X
17	Aprieta los pernos de montaje del motor y del generador		X		X
18	Aprieta todas las conexiones eléctricas en la caja de controles		X		X


4.7.3.4 Plan de Mantenimiento Genérico. Tareas de Pre- Arranque de la Unidad. Cuarta Parte

Tabla 40. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Cuarta Parte

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO					
PLAN DE MANTENIMIENTO RCM - UNIDADES DE GENERACIÓN DIESEL					
ITEM	TAREAS DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES A REALIZAR ANTES DEL ARRANQUE	MANTENIMIENTOS GENERICOS		MANTENIMIENTOS
			FRECUENCIA		FRECUENCIA
			Cada 1000 Horas	Una vez al año o cada 3000 horas	Una vez al año o cada 3000 horas
19	Verifique el funcionamiento de dispositivos de protección del motor		X		X
20	Revise el amparaje de salida del cargador de la batería		X		X
21	Revise el juego longitudinal del rodamiento de la bomba de agua		X		X
22	Cambie el filtro del combustible				X
23	Limpie el respiradero del cigüeñal			X	X
24	Revise la base de montaje antivibratoria del motor/generador por si presenta grietas, cortes, partiduras, abrasión o ensanchamiento			X	X
25	Revise la correa trapezoidal y reemplácela si es necesario			X	X
26	Limpie y enjuague el sistema de refrigerante			X	
27	Revise el estado del partidor			X	X
28	Revise la compresión del motor			X	X
29	Revise y ajuste las boquillas del inyector			X	X
30	Realice el mantenimiento del generador			X	X

4.7.3.5 Plan de Mantenimiento Genérico. Tareas de Pre- Arranque de la Unidad. Cuarta Parte

Tabla 41. Plan de Mantenimiento. Unidades de Generación Diesel. Cuarta Parte

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO							
PLAN DE MANTENIMIENTO RCM - UNIDADES DE GENERACIÓN DIESEL							
ITEM	TAREAS DE MANTENIMIENTO	ACTIVIDADES A REALIZAR ANTES DEL ARRANQUE	MANTENIMIENTOS GENERICOS				MANTENIMIENTOS
			FRECUENCIA				FRECUENCIA
			Cada 1000 Horas	Una vez al año o cada 3000 horas			Una vez al año o cada 3000 horas
Después de hacer arrancar el grupo generador, haga lo siguiente:							
31	Revise el funcionamiento del contador horario toral (deje funcionar el motor durante 10 minutos)	X					
32	Escuche si hay ruidos anormales de los rodamientos	X					
33	Revise si hay filtraciones en líneas de combustible, líneas de aceite lubricante y filtros	X					
34	Revise si hay filtraciones en el sistema de escape	X					
35	Revise con un voltímetro. La salida del generador debería ser de 467 V CA (+/- 10%) sin carga (motor, 1820 – 1840 RPM). Encienda la unidad de refrigeración y revise que el generador gire a 1710 RPM mínimo con carga plena (430 V +/- 10%).	X					

4.7.4 Plan de Mantenimiento por Sistemas.

Teniendo en cuenta los análisis realizados con base a la metodología RCM, tales como Análisis de funciones de los componentes, Análisis de criticidad, Análisis de modos y efectos de falla y la documentación de las tareas de mantenimiento consignadas en la hoja de decisión diseñada, el cual muestra, el tipo de tareas, ya sea esta preventiva, predictiva o correctiva, la frecuencia de mantenimiento y las horas requeridas para el desarrollo de las actividades.

En las tablas 41, 42, 43, 44 y 45, se documenta el Plan de Mantenimiento de los siguientes sistemas y equipos:

1. Sistema Mecánico

Equipo Crítico: Motor

2. Sistema de Lubricación.

Equipos Críticos

- Bomba de Aceite
- Filtro de Aceite
- Filtro de Combustible
- Carter.

3. Sistema de Enfriamiento

Equipos Críticos

- Radiador
- Termostato Ventilador
- Tanque de Reserva
- Líneas de Abastecimiento
- Refrigerante
- Aditivo del Refrigerante

4. Sistema de Escape

Equipos Críticos

- Silenciador
- Convertidor Catalítico



5. Sistema de Eléctrico

Equipos Críticos

- Generador
- Tablero de transferencia y control.
- Batería
- Excitatriz

4.7.4.1 Plan de Mantenimiento Sistema Mecánico.



Tabla 41. Plan de Mantenimiento. Sistema Mecánico

		GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO						
PLAN DE MANTENIMIENTO- SISTEMA MECANICO								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FRECUENCIA INICIAL	UNIDAD	A REALIZAR POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH (Mes)
TORNILLERIA	Inspeccion Funcional	Verificar el estado de torsion en tornillos y tuercas.	PREV	2	MENSUAL	MECANICO	1	2
MOTOR	Inspeccion Funcional	Arrancar el motor por lo menos una vez a la semana por un lapso de 30 minutos, para mantener bien cargado el acumulador	PREV	1	MENSUAL	MECANICO	0,5	2
MOTOR	Inspeccion Funcional	Calibracion de valcula de limpieza de inyectores	PREV	2	MENSUAL	MECANICO	0,5	1
MOTOR	Inspeccion Funcional	Medicin de la compresion en Cilindros	PREV	2	MENSUAL	MECANICO	0,5	1

Fuente: Autores

4.7.4.2 Plan de Mantenimiento Sistema de Combustible



Tabla 42. Plan de Mantenimiento. Sistema de Combustible

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO 								
PLAN DE MANTENIMIENTO- SISTEMA DE COMBUSTIBLE								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FRECUENCIA INICIAL	UNIDAD	A REALIZAR POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH (Mes)
BOMBA DE INYECCION	Inspeccion Funcional	Verificar operatividad y estado de la bomba de inyeccion	PREV	1	MENSUAL	MECANICA	0,5	1
BOMBA DE ALIMENTACION DE ACPM	Inspeccion Funcional	Verificar operatividad y estado de la bomba de alimentacion de combustible	PREV	1	MENSUAL	MECANICA	0,5	1
FILTRO DE COMBUSTIBLE	Inspeccion Funcional	Inspeccionar estado de contaminacion del filtro, empaques y sellos	PREV	1	SEMANAL	MECANICA	0,5	1
TANQUES/MANGUERAS	Inspeccion Funcional	Drenar tanque de combustible y verificar estado de las mangueras	PREV	1	MENSUAL	MECANICA	1	1

Fuente: Autores

4.7.4.3 Plan de Mantenimiento Sistema de Lubricación



Tabla 43. Plan de Mantenimiento. Sistema de Enfriamiento

		GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO						
PLAN DE MANTENIMIENTO- SISTEMA DE LUBRICACIÓN								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FRECUENCIA INICIAL	UNIDAD	A REALIZAR POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH (Mes)
BOMBA DE ACEITE	Inspeccion Funcional	Verificar indicador de presion de la Bomba	PREV	1	MENSUAL	MECANICA	0,5	2
FILTRO DE ACEITE	Inspeccion Funcional	Inspeccionar estado de contaminacion del filtro, empaques y sellos	PREV	1	SEMANAL	MECANICA	0,5	2
CARTER	Inspeccion Funcional	Verificar empaques y estado del tapon de drenaje	PREV	1	SEMANAL	MECANICA	0,5	2
FILTRO DE ACEITE	Cambiar por Condición	Cambio de Filtros	PREV	720	Horas	MECANICO	3	6
ACEITE	Cambiar por Condición	Cambio de Aceite	PREV	250	Horas	MECANICO	3	6
	Inspeccion Funcional	Inspeccionar la calidad y aspecto del Aceite	PREV	2	MENSUAL	MECANICO	0,5	0,5
	Inspeccion Funcional	Monitear la presion del aceite del motor	PREV	4	SEMANAL	MECANICO	0,5	4,5
	Inspeccion Funcional	Inspeccionar el Nivel de aceite en el cárter	PREV	1	DIARIO	MECANICO	0,5	1

Fuente: Autores

4.7.4.4 Plan de Mantenimiento Sistema de Ventilación y Escape.


Tabla 44. Plan de Mantenimiento. Sistema de Ventilación y Escape.

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO 								
PLAN DE MANTENIMIENTO- SISTEMA DE ESCAPE Y VENTILACIÓN								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FRECUENCIA INICIAL	UNIDAD	A REALIZAR POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH (Mes)
SILENCIADOR	Inspeccion Funcional	Verificar que el Silenciador y la tubería de escape este firmemente soportada y verificar su buen funcionamiento.	PREV	1	MENSUAL	MECANICA	2	2
AIRE	Pruebas Dinamicas y Estaticas	Verificar el estado del filtro de Aire	PREV	1	MENSUAL	MECANICA	0,5	1
		Cambio del Filtro de Aire	PREV	1	SEMESTRAL	MECANICA	0,5	1

Fuente: Autores

4.7.4.4 Plan de Mantenimiento Sistema de Enfriamiento


Tabla 44. Plan de Mantenimiento. Sistema de Enfriamiento.

		SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO						
PLAN DE MANTENIMIENTO - SISTEMA DE ENFRIAMIENTO								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FRECUENCIA INICIAL	UNIDAD	A REALIZAR POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH (MES)
RADIADOR	Inspeccion Funcional	Verificar Niveles de Refrigerante y adicionar si es necesario	PREV	1	DIARIO	MECANICO	1	2
	Inspeccion Funcional	Verificar condiciones del tapon y empaque de hermeticidad identificando posibles fugas.	PREV	1	MENSUAL	MECANICO	0,5	0,5
	Inspeccion Funcional	Sacar de operaciòn la Unidad para Limpieza del Radiador.U	CO	1	Semestral	MECANICO	8	16
VENTILADOR	Inspeccion Funcional	Verificar operatividad y estado del Ventilador	PREV	1	DIARIO	2MECANICO	0,5	1
		Revisar correas, poleas, su alineacion y tension	PREV	1	MENSUAL	MECANICO	2	4
TANQUE DE RESERVA	Inspeccion Funcional	Verificar Niveles de Refrigerante y adicionar si es necesario	PREV	1	Semestral	MECANICO	0,5	1
LINEAS DE ABASTECIMIENTO	Inspeccion Funcional	Revisar las abrazaderas y las mangueras del radiador.	PREV/CO	1	MENSUAL	MECANICO	1	2

Fuente: Autores

4.7.4.5 Plan de Mantenimiento Sistema Eléctrico y Electrónico.

Tabla 45. Plan de Mantenimiento. Sistema Eléctrico y Electrónico. Primera Parte

 GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO 								
PLAN DE MANTENIMIENTO- SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FREC.	UNIDAD	REALIZADA POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH
GENERADOR	Engrase	Engrase de Rodamientos	PREV	8760	Horas	ELECTRICO	1	2
	Inspeccion Equipo	Revise con un voltímetro la tension de salida del generador.	PREV	1	SEMANAL	ELECTRICO	0,17	0,33
	Inspeccion Equipo	Revise si hay conexiones eléctricas sucias o sueltas, cables o conexiones rebanados.	PREV	1	MENSUAL	ELECTRICO	0,5	2
	Monitoreo	Medicion de Aislamiento	CBM	1	Semestral	ELECTRICO	1	1
	Inspeccion Funcional	Inspeccionar Bobina de excitación y fuerza Sistema de rectificación	PREV	1	ANUAL	ELECTRICO	4	8
	Monitoreo	Medicion de Vibraciones	CBM	1	ANUAL	ELECTRICO	1	2
	Monitoreo	Termografia Terminales de Salida	CBM	1	ANUAL	ELECTRICO	0,5	1
	Pruebas Dinamicas y Estaticas	Pruebas Dinamicas y Estaticas	PRED	1	CADA 4 AÑOS	ELECTRICO	4	8
TABLERO DE CONTROL Y TRANSFERENCIA	Inspeccion Funcional	Revisar estado del cargador de baterías	PREV	1	SEMANAL	ELECTRICO	1	2
	Inspeccion Equipo	Revise si hay conexiones eléctricas sucias o sueltas, cables o conexiones rebanados, verificar elementos de control en generador y transferencia	PREV	1	MENSUAL	ELECTRICO	1	2
	verificacion	Apretar todas las conexiones eléctricas en el tralero y generador	PREV	1	ANUAL	ELECTRICO	2	4
	Monitoreo	Medicion de Aislamiento, Breaker e Interruptores y cables.	CMB	1	ANUAL	ELECTRICO	1	1
	Monitoreo	Termografia a Breaker e Interruptores y cables.	CMB	1	ANUAL	ELECTRICO	1	1

Fuente: Autores

4.7.4.6 Plan de Mantenimiento Sistema Eléctrico y Electrónico.

Tabla 46. Plan de Mantenimiento. Sistema Eléctrico y Electrónico. Segunda Parte

 <p style="text-align: center;">GERENCIA REGIONAL MAGDALENA MEDIO SUPERINTENDENCIA DE OPERACIONES DEL RIO - SOR DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO YARIGUI - CANTAGALLO</p> 								
PLAN DE MANTENIMIENTO- SISTEMA ELECTRICO Y ELECTRONICO								
COMPONENTE	NOMBRE DE LA TAREA	DESCRIPCIÓN DE LA TAREA	TIPO	FREC.	UNIDAD	REALIZADA POR:	DURACIÓN DE LA TAREA (Horas)	TOTAL HH
BATERIA	Inspeccion Funcional	Revisión visual exterior de las conexiones y trabajo del cargador.	PREV	1	SEMANAL	ELECTRICO	0,5	1
	Inspeccion Funcional	Revisión y medición de los niveles de agua y la densidad del electrolito. Debe comprobarse tanto el valor de cada celda, como que los valores entre celdas no sean dispares. Verificando Fugas y Existencia de Partículas de suciedad.	PREV	1	MENSUAL	ELECTRICO	1	2
	Inspeccion Funcional	Limpieza de las Baterías. Aflojar la Terminal y lijar el poste y la pinza removiendo la suciedad con un trapo húmedo con una solución de Bicarbonato y agua en relación 1:4.	PREV	1	MENSUAL	ELECTRICO	2	4

Fuente: Autores

CONCLUSIONES

Aplicar los conceptos de Mantenimiento Basado en Confiabilidad en la Superintendencia de Operaciones del Rio, fue una tarea gratificante en la medida en que se transfirió conocimiento a técnicos y profesionales con gran experiencia en las especialidades mecánica, eléctrica e instrumentación, consolidando el conocimiento científico, con base en la información empírica y cotidiana que cada cual tiene acerca del mantenimiento.

Se pudo establecer que en ocasiones, no es fácil describir las tareas a desarrollar para la mitigación de fallas funcionales, en ocasiones, el conocimiento empírico en la materia, prevalece, planeando el mantenimiento de manera tradicional. El presente trabajo es una forma clara de cómo se puede integrar un equipo de trabajo encaminado hacia la aplicación de nuevas estrategias de mantenibilidad de equipos.

Las unidades de generación diesel son sistemas complejos de mantener y mediante técnicas como la del mantenimiento centrado en confiabilidad, podemos de manera sistemática, definir las funciones de cada componente a fin de entender claramente las metas funcionales del equipo, estableciendo parámetros de planeación acordes con la vida útil de los equipos.

El análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF, permitió expandir la visión en cuanto a fallas se refiere, ya que se organizaron 56 fallas adicionales a las que aparecían registradas en los registros del departamento de mantenimiento de la Superintendencia de Operaciones del Rio. Logrando identificar oportunidades de mejora en el proceso de planeación del mantenimiento de las unidades de Generación Diesel.

Una unidad de Generación diesel, está conformada por más de 600 partes integradas entre sí. Mediante la aplicación del RCM, se pueden establecer los componentes objetivos que presentan mayor criticidad de falla, a fin de concentrar esfuerzos y reducir tiempo y costo en el mantenimiento.

La definición de los equipos críticos, permite a los planeadores, establecer tareas de mantenimiento acordes a la operatividad del equipo, permitiendo reducir la frecuencia de mantenimientos y el porcentaje de producción diferida de la SOR.

La no correcta aplicación de un plan de mantenimiento estructurado, genera pérdidas económicas a cualquier empresa que requiera fuentes de generación externas de respaldo.

La Metodología planteada, permite una validación académica, mediante la aplicación de los conceptos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, para el desarrollo de un plan de mantenimiento.

Se implementaron diferentes plantillas durante el desarrollo de la metodología para estructurar, presentar y procesar la información.

En el desarrollo de esta monografía en donde se aplicaron los conceptos de mantenimiento basado en confiabilidad se pudieron implementar 41 rutinas de mantenimiento, las cuales se clasificaron en tiempo (diaria , semanal, mensual y anual) y tipo de mantenimiento(preventivo, predictivo y por condición)

El plan de Mantenimiento formulado está estructurado para ser usado de forma fácil por el personal operacional en la toma de decisiones. Además, puede ser aplicado en casos específicos donde se requiera tomar decisiones con alto nivel de incertidumbre.

El trabajo desarrollado, permitió establecer la criticidad de los componentes del sistema de manera eficaz, generándose 26 componentes críticos, de los cuales 8 estaban catalogados como de mantenimiento mayor pero no se les había realizado análisis de criticidad.

El AMEF determinó (44) funciones, (62) fallas funcionales, (184) modos de falla y efecto de falla a los componentes críticos del sistema, proporcionando información relevante para la elaboración del plan de mantenimiento.

Se determinó el tipo de mantenimiento a aplicar mediante el Árbol Lógico de Decisiones (ALD). En cuanto a las tareas de mantenimiento preventivas se implementarán sustitución cíclica (12%), reacondicionamiento cíclico (19%) y tarea a condición (30%) y las tareas “a falta de” o correctivas se efectuarán búsqueda de falla (14%) y ningún mantenimiento preventivo (25%).

La metodología RCM integrada al Análisis de Modos y Efectos de Falla y el análisis de Criticidad, son estrategias de mantenibilidad, con un gran porcentaje de desconocimiento de parte del personal operativo de la Superintendencia de Operaciones del Rio, por lo cual es necesario, fortalecer los procesos de formación en este sentido.

El mantenimiento basado en Confiabilidad, es una metodología simple, que de forma clara y concisa nos permitió entender la forma en la que opera un sistema, pero sobre todo la forma en la que falla.

Se identifican las mejores oportunidades para el mantenimiento.

Para la planeación del mantenimiento basado en un FMECA o AMFEC, es necesario tomar en cuenta que ahora el plan es en función de los modos de falla de un equipo y no necesariamente del equipo mismo.

Es de vital importancia que en el proceso de análisis deben participar expertos en todas las disciplinas involucradas y no solamente de mantenimiento, personal con conocimientos de las disciplinas de análisis de riesgo, proceso y confiabilidad, entre otras.

BIBLIOGRAFIA

AGUILAR OTERO José R. Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad. Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V. Editorial Tecnología y ciencia. 2010.

AMENDOLA, L. Modelos Mixtos de Confiabilidad. Valencia, España. (2002).

BOTERO Ernesto, Mantenimiento Preventivo, Universidad Industrial de Santander. 2005.

BOEING COMPANY. Empresa aeronáutica y de defensa de los Estados Unidos, es el segundo mayor fabricante de aviones y equipos aeroespaciales del mundo.

BLOOM. N. "Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple". McGraw Hill. 2005

CALDERÓN W. Juan Manuel, "Metodología de mantenimiento para garantizar la operatividad y la confiabilidad de los equipos rotativos del centro de almacenamiento y transporte de crudo de la Vicepresidencia de Transporte VIT-ECOPETROL S.A., (2010).

GONZÁLEZ B., Carlos R. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2006.

GUTIERREZ J. "Desarrollo de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión en alta tensión". Tesis de pregrado. Ingeniería Eléctrica. Universidad Tecnológica de Pereira. 2008.

HAMMAN. J. "Experience with the use of RCM in a transmission maintenance environment". Second International Conference on the Reliability of Transmission and Distribution Equipment, Mar 1995 Pag 192.

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Edición en Español. Gran Bretaña: Aladon. 2004.

J. AUGUS. "RCM Guidebook: Building a Reliable Plant Maintenance Program". PennWell Corporation. 2004

MOUBRAY J.. "Reliability-Centered Maintenance" Second Edition. Industrial Press Inc. 1997

ORTIZ PLATA, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga. 2008 CD. Posgrado gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander.

REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de equipos. Ingeniería de Mantenimiento. Staff técnico ABB. 2005

SAE JA1011, Evaluación de Criterios en procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Estandar. Society of AutomotiveEngineers, 1998.

SAE JA1012, Una Guia para el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) Norma Estandar. Society of AutomotiveEngineers, 2002. (Sociedad de Ingenieros Automotores).

SUAREZ D., “Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico”, Universidad de Oriente. Núcleo de Anzoátegui. Departamento de Mecánica. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas.(2010).

STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. “Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance” CIED Valencia (1999)

ANEXOS

ANEXO A. Registro rutinas de mantenimiento para plantas diesel eléctricas

REGISTRO RUTINAS DE MANTENIMIENTO PARA PLANTAS DIESEL ELÉCTRICAS

INTERVALO DE MANTENIMIENTO REQUERIDO: MENSUAL APLICACIÓN: USO CONTINUO
O CADA 400 HRS. EN APLICACIÓN EMERGENCIA.

- | | | |
|--|---|--|
| <p>A. Estado la Planta de Emergencia.</p> <p>Verificar niveles básicos:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Nivel de aceite en el motor.<input type="checkbox"/> Nivel de diesel en el tanque de combustible.<input type="checkbox"/> Nivel de agua en el radiador.<input type="checkbox"/> Nivel de electrolito en las baterías de arranque.<input type="checkbox"/> Sello del tapón en el radiador.<input type="checkbox"/> Falso contacto en todas las conexiones eléctricas tanto en el motor, generador, así como en el tablero de transferencia.<input type="checkbox"/> Voltaje de flotación de las baterías de arranque.<input type="checkbox"/> Limpieza en las terminales de las baterías de arranque.<input type="checkbox"/> Corriente de flotación e igualación del cargador de baterías. Checar.<input type="checkbox"/> Aparatos de medición.<input type="checkbox"/> Fugas de agua en el motor y radiador.<input type="checkbox"/> Fugas de aceite en el motor.<input type="checkbox"/> Fugas de diesel en el motor, tuberías de alimentación, retorno y tanque de combustible.<input type="checkbox"/> Estado en que se encuentran las mangueras de agua del motor y radiador.<input type="checkbox"/> Estado en que se encuentran las mangueras del aceite del motor.<input type="checkbox"/> Verificar estado y tensión las bandas del motor.<input type="checkbox"/> Estado y verificación de amortiguadores.<input type="checkbox"/> Estado en que se encuentran las mangueras de diesel del motor y tanque de combustible.<input type="checkbox"/> Limpieza general del equipo. | <p>B. Pruebas de Operación en manual (sin carga).</p> <p>Verificar los parámetros de operación del equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Voltaje generación entre fases (AB, BC, CA).<input type="checkbox"/> Voltaje generación entre fase y neutro (AN, BN; CN).<input type="checkbox"/> Voltaje de excitación del regulador (F+, F-).<input type="checkbox"/> Frecuencia.<input type="checkbox"/> Voltaje de excitación del alternador.<input type="checkbox"/> Voltaje de salida del alternador. Checar.<input type="checkbox"/> Fugas de agua en el motor y radiador.<input type="checkbox"/> Fugas de diesel en el motor, tuberías de alimentación, retorno y tanque de combustible.<input type="checkbox"/> Fugas de aceite en el motor.<input type="checkbox"/> Fugas de gases en el múltiple de escape, tuberías y silenciador. <p>NOTA: De ser necesario se deben de ajustar y corregir los parámetros anteriores.</p> <p>C. Simulación de fallas.</p> <p>Ajuste del arranque, paro y protecciones de la planta de emergencia.</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Arranque en automático.<input type="checkbox"/> Falla de largo tiempo de arranque.<input type="checkbox"/> Falla de baja presión de aceite.<input type="checkbox"/> Falla de sobretemperatura.<input type="checkbox"/> Falla de bajo voltaje.<input type="checkbox"/> Falla de sobrevelocidad.<input type="checkbox"/> Falla de sobrecorriente. | <p>D. Pruebas con carga simulando una ausencia de alimentación (CFE).</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> El tablero de transferencia hace su cambio de normal a emergencia para que la planta de emergencia tome la carga.<input type="checkbox"/> Checar el tiempo que tarda en tomar la carga la planta de emergencia.<input type="checkbox"/> Voltaje de salida entre fases (AB, BC, CA).<input type="checkbox"/> Voltaje de salida entre fase y neutro (AN, BN, CN).<input type="checkbox"/> Frecuencia.<input type="checkbox"/> Corriente por fase (A,B,C).<input type="checkbox"/> Corriente neutro.<input type="checkbox"/> Corriente tierra.<input type="checkbox"/> Porcentaje de carga (KW) al que está operando el equipo <p>E. Pruebas de transferencia y retransferencia.</p> <ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Tiempo de transferencia.<input type="checkbox"/> Tiempo de desfogue |
|--|---|--|

Fecha:	Orden de Venta: _____	Orden de Trabajo: _____
Técnico:	Vendida:	Firma IGSA
Observaciones:	Nombre Cliente:	
	Cargo:	
	Área:	
	Firma de Conformidad:	SELO CLIENTE

REGISTRO RUTINAS DE MANTENIMIENTO PARA PLANTAS DIESEL ELÉCTRICAS

INTERVALO DE MANTENIMIENTO REQUERIDO: **ANUAL**

A. Estado de la Planta de Emergencia.

- Verificar niveles básicos:
- Nivel de aceite en el motor.
 - Nivel de diesel en el tanque de combustible.
 - Nivel de agua en el radiador.
 - Nivel de electrolito en las baterías de arranque.
 - Sello del tapón en el radiador.
 - Falso contacto en todas las conexiones eléctricas tanto en el motor, generador, así como en el tablero de transferencia.
 - Voltaje de flotación de las baterías de arranque.
 - Limpieza en las terminales de las baterías de arranque.
 - Corriente de flotación e igualación del cargador de baterías. Checar.
 - Aparatos de medición.
 - Fugas de agua en el motor y radiador.
 - Fugas de aceite en el motor.
 - Fugas de diesel en el motor,

B. Pruebas de Operación en manual (sin carga).

- Verificar los parámetros de operación del equipo:
- Voltaje generación entre fases (AB, BC, CA).
 - Voltaje generación entre fase y neutro (AN, BN; CN).
 - Voltaje de excitación del regulador (F+, F-).
 - Frecuencia.
 - Voltaje de excitación del alternador.
 - Voltaje de salida del alternador. Checar.
 - Fugas de agua en el motor y radiador.
 - Fugas de diesel en el motor, tuberías de alimentación, retorno y tanque de combustible.
 - Fugas de O25 aceite en el motor.
 - Fugas de gases en el múltiple de escape, tuberías y silenciador.

NOTA: De ser necesario se deben de ajustar y corregir los parámetros anteriores.

C. Pruebas con carga simulando una ausencia de alimentación (CFE).

- El tablero de transferencia hace su cambio de normal a emergencia para que la panta de emergencia tome la carga.
- Checar el tiempo que tarda en tomar la carga la planta de emergencia.
- Voltaje de salida entre fases (AB, BC, CA).
- Voltaje de salida entre fase y neutro (AN, BN, CN).
- Frecuencia.
- Corriente por fase (A,B,C).
- Corriente neutro.
- Corriente tierra.
- Porcentaje de carga (KW) al que está operando el equipo

tuberías de alimentación, retorno y tanque de combustible.

- Estado en que se encuentran las mangueras de agua del motor y radiador.
- Estado en que se encuentran las mangueras del aceite del motor.
- Verificar estado y tensión las bandas del motor.
- Estado y verificación de amortiguadores.
- Estado en que se encuentran las mangueras de diesel del motor y tanque de combustible.
- Limpieza general del equipo.

D. Mantenimiento de la Planta de emergencia.

- Cambio de aceite.
- Cambio de filtros de aire.
- Cambio de filtros de agua.
- Cambio de anticongelante.
- Pintura de tuberías de diesel.
- Pintura de tuberías de gases de escape.
- Pintura del patín o base del equipo.
- Limpieza interior del tanque de combustibles.

E. Simulación de fallas.

Ajuste del arranque, paro y protecciones:

- Arranque en automático.
- Falla de largo tiempo de arranque.
- Falla de baja presión de aceite.
- Falla de sobretemperatura.
- Falla de bajo voltaje.
- Falla de sobrevelocidad.
- Falla de sobrecorriente.

F. Pruebas de transferencia y retransferencia.

- Tiempo de transferencia.
- Tiempo de desfogue

Fecha:

Orden de Venta: _____

Orden de

Técnico:

Vendida:

Trabajo:

Firma IGSA

Observaciones:

Nombre de Cliente:

Cargo:

Área:

Firma de
Conformidad:

SELLO
CLIENTE

