

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL TURBOGAS TG-2961 DE LA
REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

MARIA ESTEFANIA MARTINEZ MENESES
RUBÉN DARÍO ZARATE MORENO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO
BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL TURBOGAS TG-2961 DE LA
REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA

MARÍA ESTEFANÍA MARTÍNEZ MENESES
RUBÉN DARÍO ZARATE MORENO

Proyecto presentado como requisito para optar al título de
Especialista en Gerencia del Mantenimiento

DIRECTOR
JUAN CARLOS HERNÁNDEZ BOHÓRQUEZ
Especialista en Gerencia de Mantenimiento

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2019

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirnos gozar de salud y sabiduría para aprender cada día y retroalimentar nuestros conocimientos en el área objeto estudio desde nuestro campo profesional y laboral, a nuestras familias por su consideración y apoyo incondicional en valorar el tiempo dedicado a potencializar nuestra preparación y a nuestra Universidad Industrial de Santander – UIS y sus docentes por su dinamismo y amplia cátedra reconocida a nivel país.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. GENERALIDADES	19
1.1 GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	19
1.1.1 Reseña Histórica.....	19
1.1.2 Estructura Organizacional de Ecopetrol S.A.	21
1.1.3 Refinería complejo Barrancabermeja.....	22
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.3 OBJETIVOS.....	24
1.3.1 Objetivo general.....	24
1.3.2 Objetivos específicos.	24
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	26
2.1 ANTECEDENTES.....	26
2.2 MANTENIMIENTO.....	28
2.2.1 Objetivos de mantenimiento.....	29
2.2.2 Tipos de mantenimiento.....	29
2.2.2.1 Mantenimiento Preventivo.....	29
2.2.2.2 Mantenimiento correctivo.	30
2.2.3 Sistema de Mantenimiento.....	31
2.2.4 Planificación y programación del Mantenimiento.	31
2.2.5 Tipos de planes.....	31
2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	32
2.3.1 Clasificación de los equipos según su criticidad.	32
2.3.2 Metodología para determinar criticidad.....	32
2.3.3 Criticidad en el área de mantenimiento.....	33

2.4 ASPECTOS BÁSICO DEL PROCESO RCM	35
2.4.1 Definición formal de RCM.	35
2.4.2. Ventajas y beneficios del mantenimiento centrado en confiabilidad.	35
2.4.3 Equipo natural de trabajo.	36
2.4.4 Contexto operacional.	37
2.4.5 Premisas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad.	37
2.4.6 Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF).....	38
2.4.6.1 Funciones y estándares de funcionamiento.....	39
2.4.6.2 Fallas funcionales.	39
2.4.6.3 Modo de fallas.....	39
2.4.6.4 Efecto de fallas.	39
2.4.7 Árbol lógico de decisiones (ALD).	39
2.4.7.1 Consecuencia de las fallas.	40
2.4.7.2 Tareas de Mantenimiento preventivo.	41
2.4.7.3 Tareas a.....	42
 3. MARCO METODOLÓGICO	 43
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	43
3.1.1 Nivel de la investigación.....	43
3.1.2 Diseño de la investigación.	44
3.1.3 Propósito de investigación.	45
3.2 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN, RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	45
3.2.1 Observación directa.	45
3.2.2 Entrevistas con el personal.	45
3.2.3 Encuestas.	46
3.2.4 Graficas.....	46
3.2.5 Análisis de criticidad.	46
3.3 POBLACIÓN MUESTRA.....	46
3.4 METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	47
3.5 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN	48

3.5.1 Fase 1: Revisión Bibliográfica.....	48
3.5.2 Fase 2: Identificación y diagnóstico del sistema (Turbogas).....	49
3.5.3 Fase 3: Determinación de los componentes relevantes del sistema.	49
3.5.4 Fase 4: Aplicación de análisis de modos y efecto de fallas (AMEF).	50
3.5.5 Fase 5: construir el árbol lógico de decisiones.	50
3.5.6 Fase 6: Diseño de plan de mantenimiento.....	51
 4. DESARROLLO DEL TRABAJO	52
4.1 EQUIPO NATURAL DE TRABAJO	52
4.1.1 Estructura del equipo.	52
4.2 CONTEXTO OPERACIONAL	52
4.2.1 Descripción de un sistema de generación Turbogás.	52
4.2.1.1 Clasificación de un sistema de Turbogás.....	53
4.2.1.2 Componentes principales de un equipo turbogás.	54
4.2.1.3 Características principales a especificar de una planta de generación de energía Turbogás.....	55
4.2.1.4 Características de la unidad de turbogás.....	55
4.2.1.5 Ubicación típica de los componentes en un Turbogás.....	56
4.3 DEFINICIÓN DE ACTIVOS Y SELECCIÓN DE SISTEMAS.....	57
4.3.1 Definición de funciones.....	58
4.3.1.1 Funciones del sistema mecánico.	58
4.3.1.2 Funciones del sistema eléctrico.	60
4.3.1.3 Funciones del sistema de instrumentación.	61
4.3.1.4 Funciones del sistema operador.	66
4.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	68
4.4.1 Identificación de los componentes críticos del sistema.....	68
4.4.2 Análisis de criticidad N°1. Sistema mecánico	70
4.4.3 Análisis de criticidad N°2. Sistema eléctrico.	71
4.4.4 Análisis de criticidad N°3. Sistema de instrumentación.....	73
4.4.5 Análisis de criticidad N°4. Sistema operador.	73

4.4.6 Análisis de criticidad N°5. Sistema CBM.....	74
4.5 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)	75
4.6 ANÁLISIS AMEF N°1. SISTEMA MECÁNICO	77
4.6.1 Análisis AMEF N°2. Sistema eléctrico.....	78
4.6.2 Análisis AMEF N°3. Sistema de instrumentación.....	79
4.6.3 Análisis AMEF N°4. Sistema operador.....	80
4.6.4 Análisis AMEF N°5. Sistema CBM.	81
4.7 PLAN DE MANTENIMIENTO.....	81
4.7.1 Árbol lógico de decisiones.	81
4.7.2 Hoja de decisiones del plan de mantenimiento.....	83
4.7.3 Hoja de decisiones N°1. Sistema mecánico.....	84
4.7.4 Hoja de decisiones N°2. Sistema eléctrico.....	84
4.7.5 Hoja de decisiones N°3. Sistema de instrumentación.....	85
4.7.6 Hoja de decisiones N°4. Sistema operador.....	85
4.7.7 Hoja de decisiones N°5. Sistema CBM	86
4.8 PLAN DE MANTENIMIENTO POR SISTEMAS.....	86
4.8.1 Plan de mantenimiento sistema mecánico.....	87
4.8.2 Plan de mantenimiento sistema eléctrico.....	87
4.8.3 Plan de mantenimiento sistema de instrumentación.....	88
4.8.4 Plan de mantenimiento sistema operador.....	89
4.8.5 Plan de mantenimiento sistema CBM	90
5. CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFÍA.....	94

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estructura Organizacional de Ecopetrol S.A.....	21
Figura 2. Diagrama General de la Refinería de Barrancabermeja.....	22
Figura 3. Categorías de Mantenimiento.....	29
Figura 4. Proceso de Análisis de Criticidad	33
Figura 5. Representación Típica de un Grupo de Trabajo de RCM.....	36
Figura 6. Diagrama del Árbol Lógico de Decisiones.	40
Figura 7. Distribución de Componentes. Turbogas.....	56
Figura 8. Activos a mantener. Unidad de Turbogas.....	57
Figura 9. Matriz de Criticidad	69
Figura 10. Activos a mantener. Unidad Turbogas.....	75
Figura 11. Diagrama Lógico del Árbol de Decisiones.	82
Figura 12. Hoja de Decisión del Plan de Mantenimiento	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Funciones del Sistema Mecánico TURBOGAS TG-2961	58
Tabla 2. Funciones Sistema Eléctrico. Turbogas TG-2961.....	60
Tabla 3. Funciones Sistema Instrumentación. Turbogas TG-2961	61
Tabla 4. Funciones Sistema Operador Turbogas TG-2961	66
Tabla 5. Criterios para el análisis de criticidad.....	68
Tabla 6. Análisis de Criticidad. Sistema Mecánico. Turbogas TG-2961	70
Tabla 7. Análisis de Criticidad. Sistema Eléctrico.	71
Tabla 8. Análisis de Criticidad. Sistema Instrumentación.	73
Tabla 9. Análisis de Criticidad. Sistema Operador.....	73
Tabla 10. Análisis de Criticidad. Sistema CBM	74
Tabla 11. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico.	77
Tabla 12. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico.	78
Tabla 13. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Instrumentación	79
Tabla 14. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Operador.....	80
Tabla 15. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema CBM.....	81
Tabla 16. Hoja de Decisión. Sistema Mecánico.....	84
Tabla 17. Hoja de Decisión. Sistema de Eléctrico	84
Tabla 18. Hoja de Decisión. Sistema de Instrumentación.....	85
Tabla 19. Hoja de Decisión. Sistema Operador	85
Tabla 20. Hoja de Decisión. Sistema CBM	86
Tabla 21. Plan de Mantenimiento. Sistema Mecánico	87
Tabla 22. Plan de Mantenimiento. Sistema Eléctrico.....	87
Tabla 23. Plan de Mantenimiento. Sistema de Instrumentación	88
Tabla 24. Plan de Mantenimiento. Sistema Operador	89
Tabla 25. Plan de Mantenimiento. Sistema CBM.....	90

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarse en la base de datos de la Biblioteca UIS)

Anexo A. Plan Mantenimiento

Anexo B. Tablas Funciones Criticidad AMEF y PLAN

RESUMEN

TÍTULO: METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN CONFIABILIDAD (RCM) PARA EL TURBOGAS TG-2961 DE LA REFINERÍA DE BARRANCABERMEJA*.

AUTORES: MARTÍNEZ MENESES MARÍA E. - ZARATE MORENO RUBÉN D**.

PALABRAS CLAVES: Mantenimiento centrado en confiabilidad, equipo rotativo, análisis causa raíz, análisis de modos de falla, efectos y criticidad.

DESCRIPCIÓN:

En la presente monografía se formuló un plan de mantenimiento proactivo (predictivo y preventivo) utilizando la metodología Reliability Centred Maintenance (RCM), para asegurar la confiabilidad de los equipos contemplados del turbo-generador de la U2960 de la Refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A., con fines de optimizar los procesos de mantenimiento, asegurando la disponibilidad y confiabilidad de los equipos vinculados a los sistemas bajo estudio. Inicialmente se describieron los subsistemas, equipos y elementos que componen la unidad Turbogas TG-2961, con el fin de caracterizar cada uno de los sistemas que la conforman. Una vez caracterizada la unidad, se procedió a realizar un análisis de criticidad del equipo Turbogas TG-2961, mediante el cual se determinaron las fallas y los modos de falla más relevantes, estableciendo sus fallas funcionales y sus efectos de falla. Con esta información se diseñaron hojas de decisión, en las cuales se documentaron las tareas preventivas y las propuestas para la mitigación de los modos de fallas encontrados. Finalmente se formuló el Plan de Mantenimiento basado en el análisis de criticidad, modos de falla y la distribución por número de tareas de acuerdo a la especialidad (mecánica, eléctrica y de instrumentación, entre las cuales figuran tareas preventivas, correctivas, proactivas y de reparación, donde el sistema de instrumentación generó la mayor cantidad de ellas.

* Trabajo de grado

** Facultad Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Juan Carlos Hernández Bohórquez, Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

ABSTRACT

TITLE: METHODOLOGY FOR THE ELABORATION OF A MAINTENANCE PLAN BASED ON RELIABILITY (RCM) FOR THE TURBOGAS TG-2961 OF THE BARRANCABERMEJA REFINERY*.

AUTHORS: MARTINEZ MENESES MARIA E. - ZARATE MORENO RUBÉN D**.

KEY WORDS: Maintenance centered on reliability, rotary equipment, root cause analysis, fault mode analysis, effects and criticality.

DESCRIPTION:

In the present monograph, a proactive maintenance plan was formulated (predictive and preventive) using the Reliability Centred Maintenance (RCM) methodology, to ensure the reliability of the equipment contemplated of the turbo-generator of the U2960 of the Barrancabermeja Refinery of ECOPETROL S.A., in order to optimize the maintenance processes, ensuring the availability and reliability of the equipment linked to the systems under study. Initially the subsystems, equipment and elements that make up the Turbo gas TG-2961 unit were described, in order to characterize each of the systems that comprise it. Once the unit was characterized, a criticality analysis of the Turbo gas TG-2961 was carried out, through which the most relevant faults and failure modes were determined, establishing their functional faults and their failure effects. With this information decision sheets were designed, in which the preventive tasks and the proposals for the mitigation of the failure modes found were documented. Finally, the Maintenance Plan was formulated based on the analysis of the criticism, the modes of failure and the distribution by the number of tasks according to the specialty (mechanical, electrical and instrumentation, among which are the preventive, corrective tasks, proactive and repair), where the instrumentation system generated the largest number of them.

* Degree work

** Faculty of Physicomechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Specialization in Maintenance Management. Director: Juan Carlos Hernández Bohórquez, Maintenance Management Specialist.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años el departamento de mantenimiento de ECOPETROL S.A., y en específico en el Complejo Refinería de Barrancabermeja se han experimentado cambios sustanciales de tipo tecnológico, organizacional, documental y económico. Esto como consecuencia de la importancia de las estrategias de mantenimiento para la continuidad operativa de las plantas y procesos del complejo industrial.

En la búsqueda de oportunidades de mejora 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 fue la base para la formulación del plan de mantenimiento propuesto en la presente monografía.

Teniendo en cuenta lo anterior, la empresa ECOPETROL S.A. desde la Gerencia de producción de la Refinería de Barrancabermeja, se encuentra implementado políticas de mantenimiento actualizadas y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), es una de las estrategias que definiría un marco de ruta para el logro de estos objetivos. En esta medida la elaboración de un Plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) contribuirá al aseguramiento de la disponibilidad de los equipos y en específico los relacionados con el turbo-generador de la Unidad 2960 de la Refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A., el cual aporta en promedio 42 MW de suministro eléctrico a la Unidad de Balance, por lo cual es de vital importancia para la mantenibilidad operativa de los procesos que requieren un constante suministro de energía.

En esta medida, el diseño y elaboración de un plan que contenga las tareas de mantenimiento preventivo y predictivo, las tareas de corrección y reparación, así mismo como las actividades de monitoreo de condición, es de carácter prioritario para alcanzar las metas y objetivos propios de la organización.

La presente monografía consta de cuatro capítulos, los cuales están directamente relacionados con los objetivos específicos planteados en el plan de trabajo, los cuales se describen a continuación:

En el primer capítulo, denominado Generalidades, se describe brevemente las generalidades de la empresa ECOPETROL S.A., documentando su historia y estructura, pasando por la descripción de sus operaciones, hasta llegar al complejo Industrial de la Refinería de Barrancabermeja, lugar de realización de la presente investigación. Adicional se enuncia el planteamiento del problema, el objetivo general y los objetivos específicos.

En el segundo capítulo, Fundamentos Teóricos, se formulan, describen y estructuran los aspectos teóricos, conceptuales y técnicos relacionados con la presente monografía, se documentan los conceptos de mantenimiento, análisis de criticidad, modos de falla, hasta llegar al marco general que define el mantenimiento centrado en confiabilidad. Una vez descritos los términos principales, se realiza una descripción de los subsistemas, equipos y elementos que componen la unidad Turbogas TG-2961, caracterizando cada uno de los sistemas y componentes significativos que la componen.

En el tercer capítulo, denominado Marco Metodológico, se mencionan los tipos de investigación que abarca la monografía desarrollada, las técnicas y métodos de recolección de información empleados y los instrumentos aplicados.

El capítulo 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.

1. 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 2006², regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos de manera integral en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007³, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.

1.1.1 Reseña Histórica⁴. 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 Oil Company 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.

¹ FORBES. # 300 Ecopetrol [en línea]. Forbes Media LLC, 2019. (Recuperado el 02 de septiembre del 2019). Disponible en <https://www.forbes.com/companies/ecopetrol/#26003a842524>

² COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA FUNCIÓN PÚBLICA. Escritura Pública No. 5314 (14 de diciembre de 2007). Estatutos sociales de Ecopetrol S.A: Estatutos 1 de 2015.

³ COLOMBIA. EL CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1118 (Diciembre 27 de 2006). Por la cual se modifica la naturaleza jurídica de Ecopetrol S. A. y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial, de 27 de diciembre de 2006, No. 46.494.

⁴ WPADMIN. Nuestra Historia [en línea]. Ecopetrol, 2014. (Recuperado el 02 de septiembre del 2019). Disponible en <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia>

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar las reservas de petróleo y gas 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.

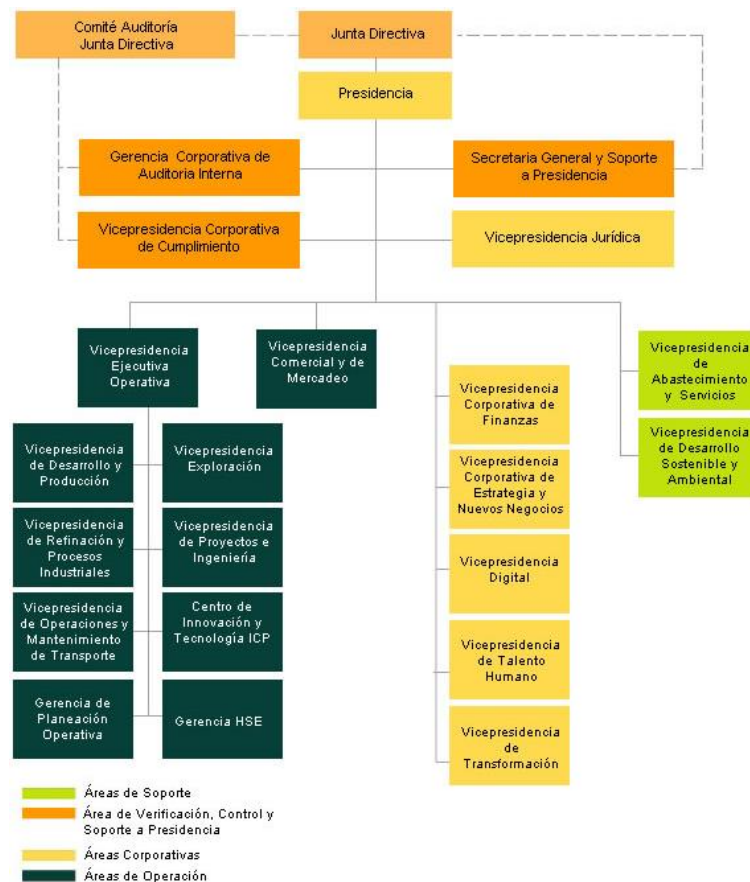
En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los campos gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company. El 26 de Junio de 2003, mediante la expedición del Decreto 1760, el gobierno colombiano reestructuró 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 16 Vicepresidencias y 3 Gerencias que se encargan de los procesos operativos y administrativos. La vicepresidencia de Refinación y procesos industriales, se encuentra vinculada a la Vicepresidencia Ejecutiva Operativa.

Figura 1. Estructura Organizacional de Ecopetrol S.A.



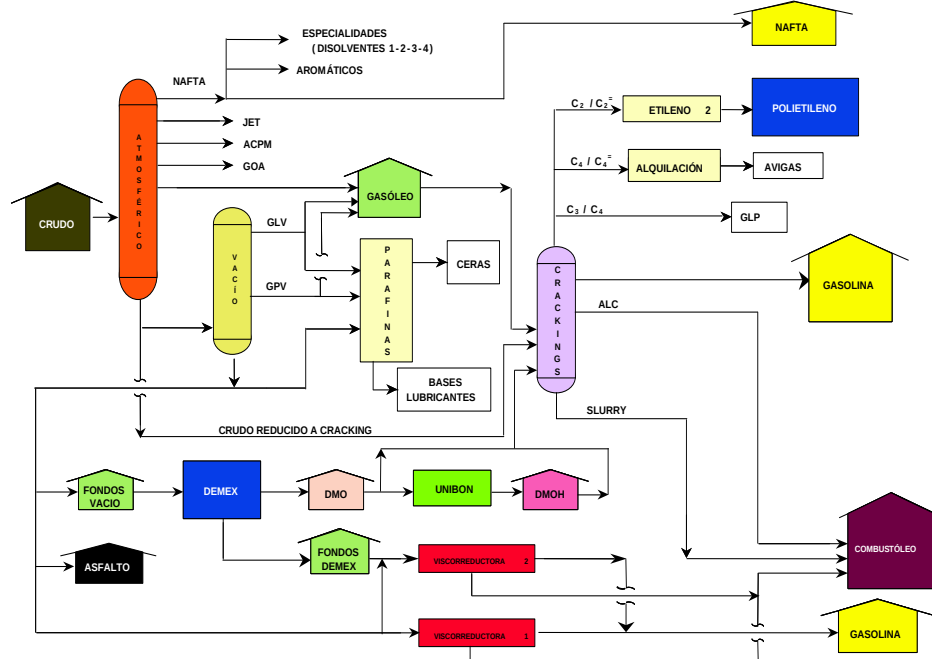
Fuente: ECOPETROL. Estructura Organizacional: Organigrama [en línea]. 2018. (Recuperado el 02 de septiembre del 2019). Disponible en <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional>

1.1.3 Refinería complejo Barrancabermeja. La Refinería de Barrancabermeja se encuentra ubicada a orillas del río Magdalena, una de las primeras zonas en las que comenzó la explotación petrolera a principios del siglo XX, inició las operaciones con unos alambiques traídos en 1922 desde Talara en el Perú.

A partir de una capacidad instalada inicial de 1.500 barriles por día se inició la construcción de esta inmensa infraestructura.

Posee una capacidad instalada para la refinación de 250.000 barriles por día (BPD) de crudo para obtener productos como: gasolina, jet, diésel y productos petroquímicos como el polietileno, propileno, benceno, ciclo hexano, entre otros. Se extiende en un área de 254 hectáreas, en las que se distribuyen más de cincuenta plantas y unidades de proceso, tratamiento, servicios y control ambiental.

Figura 2. Diagrama General de la Refinería de Barrancabermeja



Fuente: CABALLERO, Jorge y HIGUERA, Lina. Estudio de pre-factibilidad para la construcción de un sistema cerrado de recuperación de hidrocarburos en las unidades de refinación de crudos de la Gerencia Refinería Barrancabermeja GRB [tesis de grado]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2015.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad en el complejo industrial de la Refinería de Barrancabermeja existen unidades de generación de energía eléctrica que operan 24 horas del día para asegurar el suministro eléctrico a cada una de las plantas encargadas de las actividades y subprocesos propios de la refinación de los hidrocarburos.

En este sentido, la planta de Servicios Industriales Balance, dispone de un turbo gas, que actualmente genera alrededor de 42 MW de los 105 MW que consume ECOPETROL, en este sentido sería el 40% que se requiere para abastecer la Refinería de Barrancabermeja, la falla del equipo conlleva a la parada emergente de plantas que dependen del suministro de energía del mismo o la compra de energía que genera gran afectación económica.

Este equipo se encuentra conformado por una turbina aero - derivativa acoplada a un generador eléctrico; la turbina aero derivativa está compuesta por dos compresores uno de alta y otro de baja y dos turbinas una de alta y una de baja y el combustor, que aprovechan la energía de los gases de combustión para mover una turbina de potencia acoplada a un generador eléctrico y generar el suministro eléctrico necesario, y sus gases son aprovechados para generar vapor en una caldera.

En los últimos años la Gerencia de producción se ha retado al aumento de la disponibilidad de sus equipos, basados en una política de mantenibilidad Proactiva del 80% y correctiva del 20%, sin embargo al cierre de 2018, el Informe de Excelencia Operacional 2018, indicó que sí bien es cierto se han mejorado algunos indicadores de disponibilidad y seguridad de procesos, las metas de eficiencia en términos de mantenibilidad se encuentran por debajo de las expectativas fijadas, lo cual evidencia una oportunidad de mejora por parte de la Gerencia de producción

de ECOPETROL S.A en la elaboración y diseño de planes y/o metodologías de mantenimiento.

En relación a los resultados anteriores y teniendo en cuenta las variables que indican en los procesos de mantenimiento se pueden establecer: fallas repetitivas en los equipos generadores de energía, así como en los sistemas estáticos y rotativos auxiliares al sistema, inadecuada planeación en el diseño y aplicación de rutinas, tendencias y actividades de mantenimiento, definición de actividades generales y no específicas por cada subsistema de las unidades o plantas, procedimientos desactualizados o genéricos que describen procesos generales pero que no caracterizan las fallas de los sistemas, altos costos por el impacto de mantenimientos correctivos no planeados. Dentro del panorama anterior se hace necesario asegurar la confiabilidad de los equipos contemplados del turbo-generador de la U2960 de la Refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A., el cual debe estar basado en la estadística de mantenimiento y en las oportunidades de mejora detectadas con el fin de establecer las tareas de mantenimiento proactivo, las tareas de reparación, y el monitoreo de condición que requiere cada subsistema.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general. Elaborar un plan de mantenimiento proactivo (predictivo y preventivo) utilizando la metodología Reliability Centred Maintenance (RCM), para asegurar la confiabilidad de los equipos contemplados del turbo-generador TG-2961 de la Refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Describir los subsistemas, equipos y elementos que componen la unidad Turbogas TG-2961, con el fin de caracterizar cada uno de los sistemas y componentes significativos que la componen.

- Realizar un análisis de criticidad a los equipos que componen el turbo-generator de la U-2960, específicamente el equipo Turbogas TG-2961
- Determinar las fallas y los modos de falla más relevantes del Turbogas TG-2961, 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.
- Diseñar el Plan de Mantenimiento basado en el análisis de criticidad, modos de falla y la distribución por número de tareas de acuerdo a la estrategia planteada.

2. 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 NASA* y Boeing**, 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 acumulando⁵. 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 sistematizado⁶⁻⁷. Este es el motivo principal por el cual se aprecia la importancia de aplicar y ajustar la teoría de mantenimiento RCM a las tareas de control y planeación del grupo turbogas utilizados en la generación de energía requerida para las plantas de la Refinería de Barrancabermeja.

* Siglas 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.

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

⁵ BLOOM, N. Reliability Centered Maintenance (RCM): Implementation Made Simple. McGraw Hill, 2005.

⁶ HAMMAN, J. Experience with the use of RCM in a transmission maintenance environment. Second International Conference on the Reliability of Transmission and Distribution Equipment, 1995, p 192.

⁷ GUTIERREZ, J. Desarrollo de una metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para líneas de transmisión en alta tensión [tesis de pregrado]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, Ingeniería Eléctrica, 2008.

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

Montaño 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 obligatorio⁸.

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 correctivas⁹.

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

⁸ MONTAÑO, 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]. Neiva: Universidad Sur Colombiana, Ingeniería Mecánica, 2008.

⁹ TORRES, Ronald. Estrategias Basadas en el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) para el Mejoramiento del Plan de Mantenimiento de las Bombas de Doble Tornillo de la planta de Inyección de Agua PIA, Superintendencia de Operaciones Putumayo. [Trabajo de especialización]. Mocoa: Universidad Corporativa, Ecopetrol S.A., 2009.

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 sustitución¹⁰.

Hernández y González, en la tesis denominada Modelo de mantenimiento para la U-2950 de la Refinería de Barrancabermeja, utilizó la metodología RCM para la planta de Balance, estableciendo los niveles de criticidad de la planta, estableciendo las tareas a condición, las actividades de planificación y los elementos requeridos para las actividades de reparación¹¹.

Roa J. y Gómez J. en la tesis denominada Optimización del plan de mantenimiento centrado en Confiabilidad para los equipos rotativos en la planta “aromáticos” de la GRB de ECOPETROL, a través de la cual se diagnosticó la situación actual y se identificaron las fallas más frecuentes en los equipos rotativos en la planta de “Aromáticos” y los componentes de los equipos rotativos de mayor relevancia en la planta; aplicando un análisis de criticidad¹².

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 pierde¹³.

¹⁰ CALDERÓN, Juan. 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.

¹¹ HERNÁNDEZ, Juan y GONZÁLEZ, Omar. Modelo de mantenimiento para la U-2950 de la refinería de Barrancabermeja utilizando metodología RCM [Tesis de grado]. Bucaramanga: Universidad de Santander, 2012.

¹² ROA, José y GOMEZ, José. Optimización del plan de mantenimiento centrado en Confiabilidad para los equipos rotativos en la planta “aromáticos” de la GRB de Ecopetrol [Tesis de grado]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.

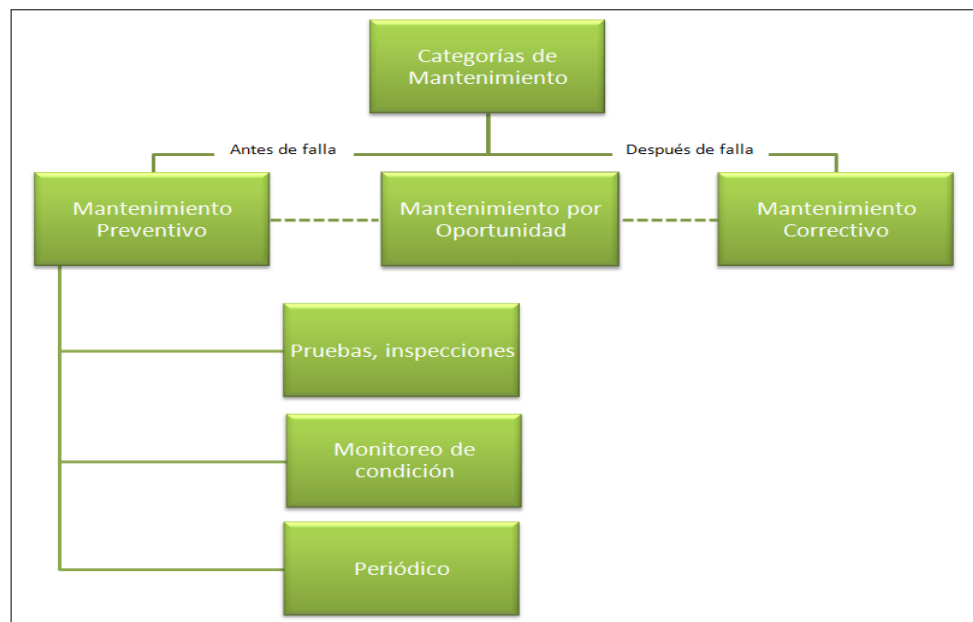
¹³ SUAREZ, D. Guía Teórico – Práctico de Mantenimiento Mecánico. Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoátegui, Departamento de Mecánica, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, 2010.

2.2.1 Objetivos de 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.

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 mantenimiento¹⁴.

Figura 3. Categorías de Mantenimiento



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

¹⁴ SUAREZ, D. Óp. Cit.

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.
 - 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 calidad¹⁵.
-
- **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 admisibilidad¹⁶.

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, por medio de restauración, remplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgaste, daños o roturas¹⁷.

¹⁵ BOTERO, Ernesto. Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2005.

¹⁶ GONZÁLEZ, Carlos. Principios de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006.

¹⁷ ORTIZ, Daniel. Organizaciones del Mantenimiento: Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, CD. Posgrado gerencia de Mantenimiento, 2008.

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 conveniente¹⁸.

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.

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).

¹⁸ BOTERO, Ernesto. Óp. Cit.

- 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 cuenta¹⁹.

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 Categorías²⁰:

- No crítico.
- Medianamente Critico
- Crítico

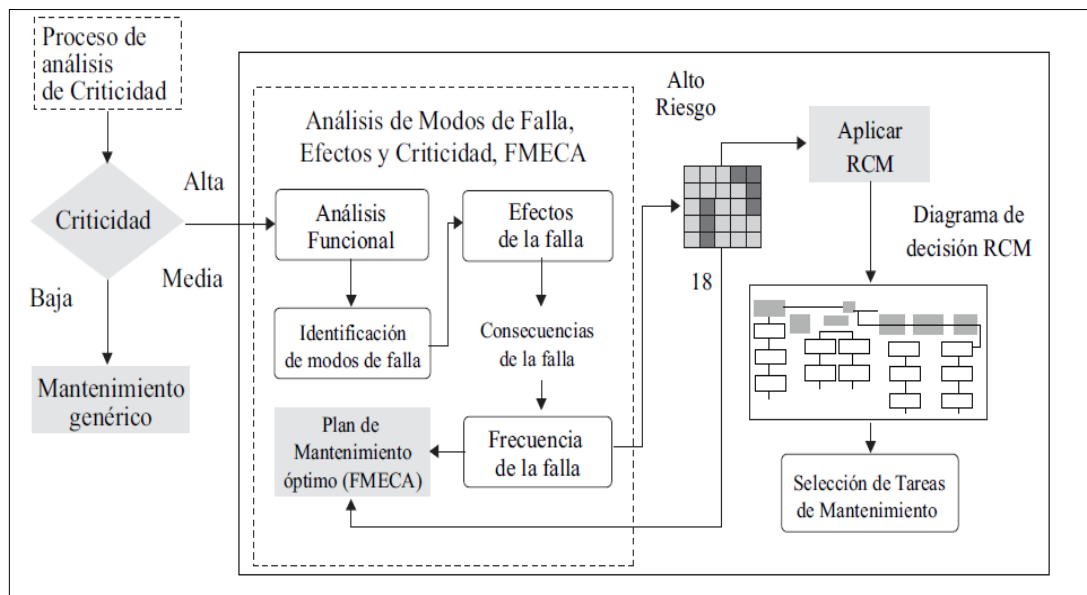
2.3.2 Metodología para determinar criticidad. La incorporación de criterios de riesgo y confiabilidad en la planeación del mantenimiento es una tendencia global, que requiere la incorporación no solo de nuevas tecnologías en el proceso de mantenimiento sino en la planeación misma del mantenimiento. La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

¹⁹ REPSOL YPF. Estudio de Criticidad de equipos. Ingeniería de Mantenimiento. Staff técnico ABB, 2005.

²⁰ Ibid.

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. Estudio de Criticidad de equipos. Ingeniería de Mantenimiento. Staff técnico ABB, 2005.

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

2.3.3 Criticidad en el área de mantenimiento.

- **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

$$MTFS = \frac{\sum_{i=1}^n TFS}{N} = \frac{TFS_1 + TFS_2 + TFS_3}{3}$$

Ecuación 1

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

$$DR = \frac{CantidadSatisfecha}{CantidadDemandada} * 100$$

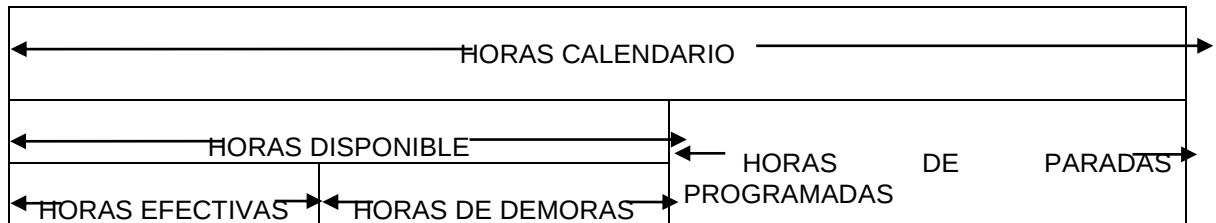
Ecuación 2

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

$$MP = \frac{ODT Ejecutadas}{ODT Emitidas} * 100$$

Ecuación 3

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



$$Efectividad = \frac{Horas Efectivas}{Horas Disponibles} * 100$$

Ecuación 4

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

$$Backlog = \frac{H - H \text{ de las Ordenes de Trabajo Pendientes por Ejecución}}{H - H \text{ Disponibles por Semanas}}$$

Ecuación 5

2.4 ASPECTOS BÁSICO 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 operacional.^{21 22}

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 actual²³.

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 reportar.²⁴

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.

²¹ AUGUS, J. RCM Guidebook: Building a Reliable Plant Maintenance Program. PennWell Corporation, 2004.

²² MOUBRAY, J. Reliability-Centered Maintenance (Second Edition). Industrial Press Inc., 1997.

²³ Ibid.

²⁴ STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance. Valencia: CIED, 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 del Curso de Formación de Reability Center Maintenance. Valencia: CIED, 1999.

2.4.4 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 indicadores²⁵.

2.4.5 Premisas para el análisis del mantenimiento centrado en confiabilidad.

Según la norma SAE JA-101126, 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?

²⁵ STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. Óp. Cit.

²⁶ SAE JA1011. Evaluación de Criterios en procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (MCC). Estándar. 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.

2.4.6 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 fallas²⁷.

²⁷ SAE JA1011. Óp. Cit.

2.4.6.1 Funciones y estándares de funcionamiento. Dan 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 operacional²⁸.

- **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.

2.4.6.2 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.

2.4.6.3 Modo 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.

2.4.6.4 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.

2.4.7 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 preguntas básicas del

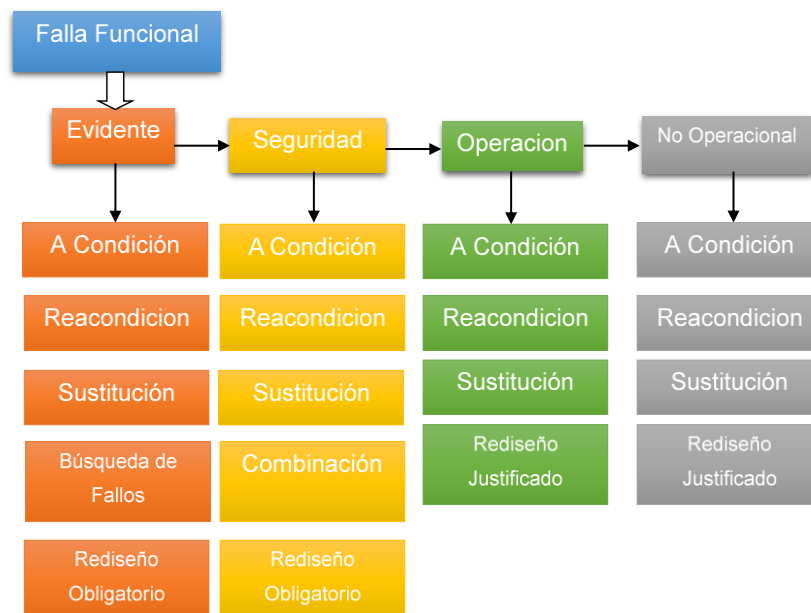
²⁸ SAE JA1011. Óp. Cit.

RCM, Basándose en un Flujograma de preguntas. El tipo de pregunta busca jerarquizar las actividades.

2.4.7.1 Consecuencia de las fallas. Para el ALD pueda decidir sobre las tareas de mantenimiento a realizar, es importante que se tengan las consecuencias de las 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 Ocultas.** 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 otras fallas cuyas consecuencias serían más graves, y a menudo catastróficas. Suelen ser hasta la mitad de los modos de falla de los equipos complejos modernos²⁹.

Figura 6. Diagrama del Árbol Lógico de Decisiones.



Fuente: Adaptado de STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance. Valencia: CIED, 1999.

²⁹ STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. Óp. Cit.

- **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.

2.4.7.2 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 tarea³⁰.

- **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 Reacondicionamiento.** Consiste en revisar a intervalos fijos un elemento o componente, independientemente de su estado original. La frecuencia de una tarea de reacondicionamiento cíclico está determinada por la

³⁰ BOTERO, Ernesto. Óp. Cit.

edad en que el elemento o componente exhibe un incremento rápido de la probabilidad condicional de falla:

- **Tareas de Sustitución Cíclicas.** Consisten en remplazar 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.

2.4.7.3 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. MARCO METODOLÓGICO

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”³¹.

En relación con el problema planteado, el cual plantea la necesidad de la formulación de un plan de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) para el Turbogas TG-2961 ubicado en la Refinería de Barrancabermeja, 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 que: 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 investigar³².

Según con lo enunciado por los autores, se deduce que la presente monografía se desarrollará en base a un nivel de investigación de tipo Descriptivo ya que se detallan las condiciones actuales del sistema Turbogas, así como describe e interpreta el problema actual, por lo tanto, requirió técnicas específicas para su análisis, así como de criterios y formatos de recolección de información, entrevistas directas con el personal y documentación.

³¹ CERVO, A. y BERVIAN, P. Metodología científica. México: McGraw Hill, 1980.

³² HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación (sexta edición). México: McGraw-Hill, 2006.

3.1.2 Diseño de la investigación. Según, Arias: “El diseño es la estrategia adoptada por el investigador para responder al problema planteado”³³.

La presente monografía incluye las modalidades de investigación documental y de campo. Ya que siguen los preceptos argumentados por Arias cuando manifiesta que: “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”.

Y queda enmarcada como investigación de campo, en la medida de que se ajusta a lo conceptuado por el autor cuando enuncia que:

La investigación de campo 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.

De esta manera, la presente investigación se enmarca desde el enfoque documental y de campo. En primera instancia porque utiliza textos, manuales, revistas, guías, normas, bitácoras y registros documentados por las diferentes empresas contratistas que han participado en los análisis de fallas de las unidades Turbogas y en segundo enfoque, investigación de campo ya que los problemas se describen y analizan en forma directa, utilizando métodos y técnicas para inspeccionar los Sistemas que conforman una Unidad de Turbogas tanto en el área de operaciones como en la teoría.

³³ ARIAS, Fidias. El Proyecto de Investigación (cuarta edición). Caracas: Ed. Episteme, 2004, p. 79

3.1.3 Propósito de investigación. El propósito de esta investigación es aplicado, debido a que la monografía se encuentra encaminada a dar solución al problema que presenta la falta de planes de mantenimiento basados en confiabilidad para las Unidades Turbogas, 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”*.³⁴

En el desarrollo de la presente monografía se recolectaron datos e información relevante 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 para el Turbogas TG-2961 ubicado en la Refinería de Barrancabermeja. 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 Turbogas en la unidad de Balance, 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 con los operadores, mecánicos, electricistas e instrumentistas de la Refinería de Barrancabermeja y él envió de

³⁴ ARIAS, Fidias. Óp. Cit. p. 67

correos corporativos a departamentos de Mantenimiento de otras gerencias 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 directa con los funcionarios del área técnica y de ingeniería, básicamente se indagó sobre las causas de parada, los modos de falla y las variables críticas en el funcionamiento del Turbogas. Esta información sirvió de base para documentar los análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), así mismo para las tareas a condición definidas en el Plan de mantenimiento basado en confiabilidad.

3.2.4 Graficas. Se utilizaron para facilitar la explicación, análisis e interpretación de los datos y resultados.

3.2.5 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 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 estudio³⁵.

Mientras que la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población”.³⁶

El desarrollo de esta investigación se realizó en la Refinería de Barrancabermeja, perteneciente a la Gerencia Complejo de Refinación de Barrancabermeja, adscrita a la Vicepresidencia de Refinación y procesos Industriales de ECOPETROL S.A.

El estudio se ejecutó específicamente al Sistema de Turbogas de la Unidad de balance, el cual aporta en promedio 42 MW de suministro eléctrico requerido.

Como población se tomaron, todos los equipos y componentes del sistema de Turbogas, mientras que la muestra estudiada estuvo 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 Refinería de Barrancabermeja, 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, las cuales cuentan con técnicos electricistas, instrumentistas, mecánicos y operadores con más de 20 años de experiencia.

3.4 METODOLOGÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Esta técnica es la fuente principal del desarrollo de la presente investigación, se fundamenta en un análisis sistemático, objetivo y documentado del problema. Se

³⁵ ARIAS, Fidias. Óp. Cit. p. 81

³⁶ ARIAS, Fidias. Óp. Cit. p. 83

encarga de estudiar a profundidad los activos, con el fin de ir analizando el problema hasta obtener posibles soluciones a los mismos.

El análisis mediante esta metodología se divide en dos técnicas: el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF) y el Árbol Lógico de decisiones (ALD), el primero estudia el problema en función de las fallas, los modos y los efectos de las fallas de los activos, mientras que la segunda busca detectar las acciones necesarias para resolver los inconvenientes. De esta manera y considerando que los planes de mantenimiento son dinámicos y pueden 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 basado en confiabilidad (RCM) para el Turbogas TG-2961 de la Refinería de Barrancabermeja, que constituya el punto de partida para unidades de Turbogas con especificaciones distintas, teniendo en cuenta las variaciones que pueden existir entre estos sistemas.

3.5 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la presente monografía y en aras de formular una solución a la problemática descrita, se llevaron a cabo 6 fases, las cuales son consecuentes con los objetivos específicos planteados. A continuación, se describen los principales elementos de cada una de ellas:

3.5.1 Fase 1: Revisión Bibliográfica. Esta fase 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 conceptos: 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 Turbogas, 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 y normas relacionadas con el mantenimiento de estos equipos.

3.5.2 Fase 2: Identificación y diagnóstico del sistema (Turbogas).

Esta fase se desarrolló en dos momentos:

- **Identificación:** Se especifica el estado de la unidad de Turbogas y de sus sistemas y componentes. Se consultaron datos técnicos y de proceso de los equipos mediante los manuales de los fabricantes y los de ECOPETROL S.A.
- **Diagnóstico:** Consistió en realizar visitas a la unidad de balance con el fin de verificar los sistemas y su funcionamiento.

3.5.3 Fase 3: Determinación de los componentes relevantes del sistema. Esta etapa consistió en jerarquizar los componentes de los equipos asociados al estudio, para así enfocar el análisis hacia los componentes más representativos del sistema. Se desarrolló en 3 momentos:

Momento 1. 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.

Momento 2. Teniendo en cuenta de que no existían registros de caracterización de los equipos, se realizaron entrevistas al personal de los diferentes departamentos (Mantenimiento y Producción). Consistió en responder los interrogantes básicos del RCM (Ver numeral 2.4.5). Estos cuestionamientos se realizaron al personal de mantenimiento, específicamente al vinculado a las especialidades de Mecánica, Electricidad e Instrumentación.

Momento 3. La información recolectada en el momento 2, se consolidó en hojas de cálculo (Excel). Se diseñaron formatos bajo los nombres de: “Definición de Funciones”; “Críticidad”; Modos y Efectos de Falla AMEF y “Hoja de decisión”.

3.5.4 Fase 4: Aplicación de análisis de modos y efecto de fallas (AMEF). Una vez determinados los equipos y componentes críticos del sistema (fase 3), se realizó 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. En esta fase se realizaron consultas bibliográficas, entrevistas con el personal operativo, revisión de manuales, consulta de documentos técnicos entre otros, que dieron respuesta a los requisitos exigidos para la caracterización de un análisis 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. Finalmente los resultados se consolidaron en Excel bajo el nombre de “Tablas Funciones Críticidad AMEF y PLAN” en donde se realizó la identificación de los componentes objeto de estudio.

3.5.5 Fase 5: construir el árbol lógico de decisiones. Esta etapa se fundamentó en determinar las acciones necesarias a implementar para el sistema, mediante el método del Flujoograma de preguntas del Árbol lógico de Decisiones. La técnica empleada fueron reuniones con el Equipo Natural de Trabajo y entrevistas con el personal de experiencia.

Esta actividad consistió en someter a cada modo de falla al Flujoograma de preguntas del Árbol Lógico de decisiones, hasta llegar a una respuesta positiva para 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 Fase 6: Diseño de plan de mantenimiento. Una vez determinadas las actividades a realizar, al igual que su frecuencia y departamento responsable, la etapa del diseño del plan de mantenimiento consistió en describir y documentar las actividades de una manera ordenada y eficaz dentro del plano de ejecución de mantenimiento, agregando las horas hombres que requiere cada actividad según su especialidad. El desarrollo de esta fase estuvo representado en 4 momentos.

- **Momento 1.** Se realizó una reunión con los planeadores de mantenimiento y los técnicos de revisión y monitoreo del Horómetro de los equipos, para conocer sus horas promedio de operación y de esta manera asignar un presupuesto de horas aproximado a la operación real de cada componente del sistema.
- **Momento 2.** En este momento se realizaron entrevistas con el personal de mayor experiencia en el área de mantenimiento, donde se procedió a distribuir las actividades, describiendo las que se pueden realizar de manera conjunta, pero que no generan tiempos excesivos de mantenimiento. El plan cuenta con actividades genéricas para el mantenimiento de cualquier Unidad Turbogas, para las cuales se consultaron actividades realizadas en otras gerencias y en otras empresas que requieren del servicio de estos equipos.

4. DESARROLLO DEL TRABAJO

4.1 EQUIPO NATURAL DE TRABAJO

Para el desarrollo de los objetivos planteados los autores conformaron un equipo de apoyo multidisciplinario, con el cual se realizaron reuniones sistemáticas, en las que se identificaron los modos de falla, la criticidad del sistema que se requerían para estructurar el Plan de Mantenimiento. El equipo estuvo conformado por funcionarios de las áreas de Mantenimiento y Producción.

4.1.1 Estructura del equipo. El equipo estuvo conformado en el área de Mantenimiento por dos investigadores de la especialización en gerencia del mantenimiento, un auxiliar técnico para la recopilación de la información y un especialista en Mantenimiento de ECOPETROL S.A. En el área de Operaciones participó (1) Planeador, (1) Programador y (3) técnicos operadores de las especialidades eléctrica, mecánica y de instrumentación, los cuales tienen experiencia en el manejo y operatividad de equipos, condiciones de procesos, manejo de variables.

4.2 CONTEXTO OPERACIONAL

Debido a la importancia que representa la generación de energía para los procesos de Refinación 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 Turbogas. A continuación, se argumentará como se clasifican y como está conformado un equipo turbogas:

4.2.1.1 Clasificación de un sistema de Turbogas. Las plantas de generación de energía se clasifican de la siguiente manera:

a) De acuerdo al tipo de combustible.

- Con motor a gas (LP) o natural.
- Con motor a gasolina.
- Con motor a diésel.
- Sistema Bifuel (diésel/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 documentarán las plantas de generación de energía, específicamente la turbina de gas LM6000 que es estacionaria, aéreo-derivativa (una turbina de gas desarrollada primero como un motor de vuelo, después rediseñada para uso industrial). Así mismo se aclara que la operación del turbogas es un método semiautomático, el operador debe de realizar un conjunto de actividades diarias para su operación, realización de rondas de inspección y monitoreo para su correcto funcionamiento. Su aplicación es de uso

continuo, el turbogas es un equipo crítico de la refinería la cual debe de cumplir con una generación de 42MW para abastecer las condiciones óptimas operacionales.

4.2.1.2 Componentes principales de un equipo turbogas. Las plantas de emergencia automáticas están compuestas principalmente de:

1. Alabes guías móviles a la entrada del LPC (VIGV).
2. Compresor de baja presión (LPC) de cinco etapas.
3. Compresor de alta presión (HPC) de catorce etapas.
4. Combustor anular.
5. Turbina de alta presión (HPT) con dos etapas.
6. Turbina de baja presión (LPT) con cinco etapas.
7. Caja de velocidades accesoria (AGB).

- **Alabes guías móviles a la entrada del LPC (VIGV).** Los álabes son guías móviles que permiten el flujo de aire hacia la zona del compresor de baja realizando transformación de la presión estática y velocidad del aire.

- **Compresor de baja presión (LPC) de cinco etapas.** Comprime el aire a una proporción de aproximadamente 2.4:1 dirigiendo el flujo al compresor de alta.

- **Compresor de alta presión (HPC) de catorce etapas.** Comprime el aire a una proporción de aproximadamente 12:1 y es enviado a la sección del dispositivo de combustión.

- **Combustor anular.** Existe una cámara de combustión en la que el combustible se mezcla con aire a alta presión y se quema dicha mezcla produciendo un gas a alta temperatura para hacer girar la turbina.

- **Turbina de alta presión (HPT) con dos etapas.** Los gases calientes resultantes de la combustión pasan a la HPT la cual impulsa el HPC.

- **Turbina de baja presión (LPT) con cinco etapas.** Los gases se expanden en la LPT e impulsan al LPC y este a su vez mueve la carga.

- **Caja de velocidades accesoria (AGB).** Está montada debajo del generador de gas, permitiendo el arranque del motor, la lubricación y la monitorización de la velocidad del eje del rotor del HP.

4.2.1.3 Características principales a especificar de una planta de generación de energía Turbogas.

- Potencia (En HP)
- La velocidad, que dependiendo del número de polos del generador da la frecuencia; pudiendo ser por ejemplo, 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 Características de la unidad de turbogas.

a. El rango de capacidades. El turbo generador está en la capacidad mínima y máxima de 2 MW (2000 KVA) a 47MW (47000 KVA) en uso continuo, 60 Hz, 3600 r/min, f.p. 0,8, con una tensión de generación de 13.800 V

b. Arranque. El sistema de arranque hidráulico del LM6000 suministra una presión hidráulica al motor del arranque hidráulico. Esta presión es usada para girar el compresor HP durante las palancas de baja velocidad, palancas de alta velocidad, y el arranque.

c. La capacidad. El generador con una temperatura ambiental de 15 0C, el generador puede proporcionar 71 MW de potencia. Por condiciones climáticas en la

locación del turbogas, teniendo en cuenta la temperatura y humedad su capacidad máxima es de 47MW.

d. Temperatura. El grupo turbogas 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.

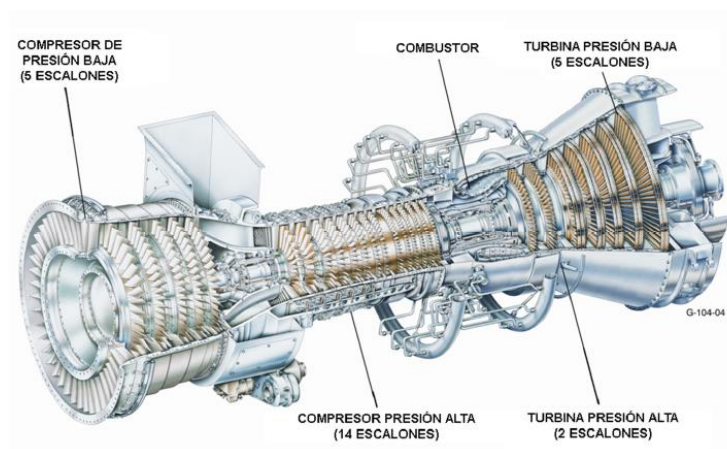
e. Humedad relativa. El grupo turbogas debe operar del 10 por ciento y el 95 por ciento de humedad relativa sin condensación.

f. 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.

g. 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 prorrato en 1 por ciento en exceso de cada 100 m.

4.2.1.5 Ubicación típica de los componentes en un Turbogas.

Figura 7. Distribución de Componentes. Turbogas



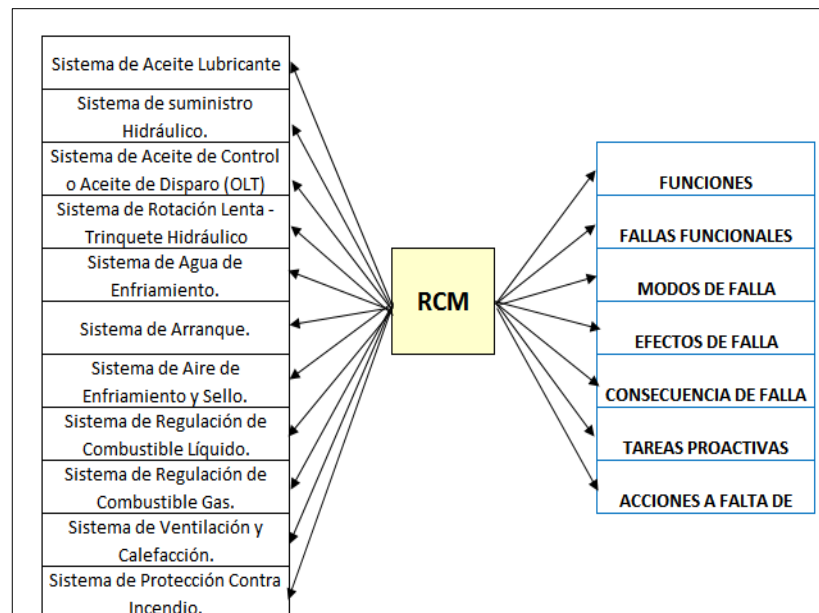
Fuente: ECOPETROL. Manual del equipo GE LM6000 Gas Turbine. 2012.

4.3 DEFINICIÓN DE ACTIVOS Y SELECCIÓN DE SISTEMAS

Una turbina de gas (TG), se puede subdividir en 12 sistemas para constituir así los activos destinados a mantener, y por tanto a considerar en el proceso RCM, tal como se presenta en la figura 8.

- Sistema de Aceite Lubricante.
- Sistema de suministro Hidráulico.
- Sistema de Aceite de Control o Aceite de Disparo (OLT)
- Sistema de Rotación Lenta - Trinquete Hidráulico
- Sistema de Agua de Enfriamiento.
- Sistema de Arranque.
- Sistema de Aire de Enfriamiento y Sello.
- Sistema de Regulación de Combustible Líquido.
- Sistema de Regulación de Combustible Gas.
- Sistema de Ventilación y Calefacción.
- Sistema de Protección Contra Incendio.

Figura 8. Activos a mantener. Unidad de Turbogas



4.3.1 Definición de funciones.

4.3.1.1 Funciones del sistema mecánico.

Tabla 1. Funciones del Sistema Mecánico TURBOGAS TG-2961

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	N	Componentes	Funcion
SISTEMA MECÁNICO	El sistema mecánico es el encargado de dar funcionamiento al turbogas a través de la introducción del aire, su compresión, combustión y expulsión.	1	Aeroenfriador del sistema hidraulico de arranque. Hayden	Enfriar el aceite de retorno del motor de arranque de turbina
		2	Bomba auxiliar de lubricacion del generador	Suministrar aceite a los cojinetes del generador
		3	Bomba centrifuga horizontal serie ssh	Sistema de Ionizacion del Agua de la Turbina
		4	Bomba centrifuga media presion	Bombear agua desionizada hacia el skid del sistema sprint
		5	Bomba centrifuga roto jet de alta presion	Enviar agua desmineralizada a la turbina para control del Nox
		6	Bomba centrifuga sistema edi	Sistema de Ionizacion del Agua de la Turbina
		7	Bomba principal de lubricacion del generador	Suministrar aceite a los cojinetes en una emergencia, garantizar lubricación en los cojinetes en las etapas de parada y llenar los Run Down de aceite para permisivo de arranque.
		8	Bomba reciprocante doble, alta presion	Encargada de suministrar presión de aceite a los cojinetes del generador para los arranques del turbogruppo
		9	Bomba recuperacion de aceite turbina a gas Im6000	Suministrar el aceite a los sumideros de la turbina y hacer retorno del aceite al reservorio
		10	Caja de velocidades de transferecniya turbina a gas Im6000	Transmitir movimiento al sistema de lubricación, control variable geometrica y arranque hidraulico.
		11	Camara de combustion turbina a gas Im6000	Mezclar el aire y el combustible para realizar la combustión
		12	Camara plena filtracion	Tomar y filtrar el aire para funcionamiento de turbina y refrigeración del generador
		13	Compresor de alta de turbina a gas Im6000	Comprimir el aire en su segunda etapa de la turbina
		14	Compresor de baja de turbina a gas Im6000	Comprimir el aire en la primera etapa de la turbina
		15	Enfriador de aire para condensar aceite	Enfriar el aire/aceite para condensar el aceite
		16	Filtro de aceite sistema lubricacion de turbina	Filtrar antes de ingresar a los rodamientos de la turbina
		17	Filtro duplex sistema lubricacion generador	Filtrar el aceite de suministro a los cojinetes
		18	Filtro sistema lubricacion generador	Filtrar y ventear la mezcla aire/aceite que se aloja en el tanque de lubricación
		19	Filtro sistema lubricacion turbina	Filtrar y ventear la mezcla aire/aceite que se aloja en el tanque de lubricación
		20	Generador electrico conjunto turbogas	Generar 13,8 KVA para suministro de energia eléctrica a servicios auxiliares y demanda de plantas de proceso

Tabla 1. Funciones del Sistema Mecánico Turbogas TG-2961 (Continuación)

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	N	Componentes	Función
SISTEMA MECÁNICO	El sistema mecánico es el encargado de dar funcionamiento al turbogas a través de la introducción del aire, su compresión, combustión y expulsión.	21	Incrementador bomba roto jet	INCREMENTADOR DE VELOCIDAD
		22	Motor electrico de la bomba de arranque hidraulico	Actuar la bomba hidráulica para suministrar presión al motor hidraulico para los procesos de arranque, parada y lavado de la turbina
		23	Separador de aceite remante del aire	Separar y filtrar el aceite remanente del aire
		24	Separador primario aire-aceite	Separar aire y aceite en la etapa primaria
		25	Tanque rundown lubricación generador sistema de lubricación. Steward	Brindar soporte y respaldo al sistema de lubricación del generador en caso de emergencia
		26	Turbina de alta de turbina a gas Im6000	Recibir los gases de la combustión para transmitir movimiento al HPC
		27	Unidad de control hidraulico turbina a gas Im6000	Controlar la geometria variable del sistema VBV, VSV y VIGV
		28	Valvula control flujo bypass variable (vbv)	Regular la entrada de aire al compresor de alta
		29	Valvula control flujo de inyeccion de agua	Controlar la posición de los alabes variables del estator del HPC
		30	Ventilador aerofriador del sistema lubricacion de turbina y generador	Suministrar aire para refrigerar el aceite proveniente de la turbina y el generador
		31	Ventilador axial balanceado 10000cfm 7.5 spwg, 3600 rpm	Extraer particulas en suspensión en el aire de entrada a los filtros inerciales
		32	Ventilador axial balanceado 45000cfm 6.5 spwg, 1409 rpm	Suministrarle aire al compartimiento del generador para refrigeración
		33	Ventilador axial balanceado 60000cfm 6.5 spwg, 1409 rpm	Extraer el aire caliente del compartimiento de la turbina
		34	Ventilador centrifugos 1500 cfm 23.9 spwg, 3600 rpm	Mantener aire de enfriamiento al sello de la compuerta del diverter

4.3.1.2 Funciones del sistema eléctrico.

Tabla 2. Funciones Sistema Eléctrico. Turbogas TG-2961

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	N	Componentes	Función
SISTEMA ELÉCTRICO	Generador eléctrico: Permite obtener el voltaje necesario para el desempeño del turbogas, a través de la regulación del voltaje de arranque.	1	Enfriador de aire para condensar aceite	Enfriar el aire/aceite para condensar el aceite
		2	Cámara de combustión turbina a gas Im6000	Suministrar alto voltaje a los ignitores
		3	Bomba centrífuga media presión	Bombear agua desionizada hacia el skid del sistema sprint
		4	Generador eléctrico conjunto turbogas	Generar 13,8 KVA para suministro de energía eléctrica a servicios auxiliares y demanda de plantas de proceso
		5	Motor eléctrico de la bomba de arranque hidráulico	Actuar la bomba hidráulica para suministrar presión al motor hidráulico para los procesos de arranque, parada y lavado de la turbina
		6	Motor de la bomba de lubricación del generador	Actuar bomba auxiliar de lubricación del generador
		7	Motor eléctrico baldor para la p-2970	Sistema de Ionización del Agua de la Turbina
		8	Motor eléctrico para bomba alta presión	Enviar agua desmineralizada a la turbina para control del Nox
		9	Motor eléctrico para bomba media presión	Bombear agua desionizada hacia el skid del sistema sprint
	El sistema de control de motores: ya sea manual o automático permite el control de circuitos de alta potencia en bajos voltajes.	10	Motor eléctrico para bomba reciprocante	Actuar bomba jacking del generador
		11	Motor 7.5 hp enfriador de aceite del generador	Actuar ventilador de refrigeración de aceite del turbogrupo
		12	Motor eléctrico severy duty 3600 rpm, 10 hp	Motor Ventilador tiro inducido calderas recuperadoras
		13	Motor eléctrico severy duty 1800 rpm	Actuar el ventilador para extraer el aire caliente del compartimiento de la turbina
		14	Ventilador axial balanceado 10000cfm 7.5 spwg, 3600 rpm	Extraer partículas en suspensión en el aire de entrada a los filtros inerciales
		15	Transformador de potencia 30/40 mva	Transformar un nivel de tensión de 13,8 Kv a 34,5 Kv

4.3.1.3 Funciones del sistema de instrumentación.

Tabla 3. Funciones Sistema Instrumentación. Turbogas TG-2961

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	No.	Componentes	Función
SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN		1	Cámara de combustion turbina a gas Im6000	Suministrar alto voltaje a los ignitores
		2	Detector de viruta magnetica 1 turbina a gas Im6000	Magnetiza particulas metalicas presentes en el aceite
		3	Detector de viruta magnetica 2 turbina a gas Im6000	Magnetiza particulas metalicas presentes en el aceite
		4	Detector de viruta magnetica 3 turbina a gas Im6000	Magnetiza particulas metalicas presentes en el aceite
		5	Bomba reciprocante doble, alta presion	Suministrar presión al motor hidraulico para los procesos de arranque, parada y lavado de la turbina
		6	Procesador de control -cpu	Sistema de Control del turbogruppo
		7	Valvula control de flujo del gas natural	Controlar el flujo de gas hacia el combustor de la turbina
		8	Valvula control flujo de inyeccion de agua	Controlar la posición de los alabes variables del estator del HPC
		9	Valvula control agua desmineralizada	Control de flujo de agua a la LPC
		10	Valvula control de flujo del enfriador	Regular el flujo de aceite hacia el cooler del sistema de lubricación
		11	Medidor de flujo agua desmineralizada	Monitorear el flujo de agua sprint a la turbina
		12	Tranmisor de flujo de agua desmineralizada	Monitorear el flujo de agua desmineralizada a la turbina
		13	Transmisor de flujo del gas combustible	Monitorear el flujo de gas hacia la turbina
		14	Valvula de control de flujo	Regular el flujo de aceite hacia el cooler del sistema de lubricación
		15	Resistencia calentadora del reservorio	Mantener el aceite con la temperatura adecauada de operación
		16	Control de deteccion puntual termica enclosure de la turbina	Enviar una señal de alarma a sala de control por alta temperatura
		17	Control de deteccion puntual termica rodamientos del generador	Enviar una señal de alarma a sala de control por alta temperatura
		18	Control de temperatura del gas de suministro	Monitorear temperatura del gas
		19	Control temperatura de agua en el manifold	Monitorear temperatura del agua

Tabla 3. Funciones Sistema Instrumentación. Turbogas TG-2961. (Continuación)

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	N	Componentes	Función
SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN		20	Switch de control por bajo nivel	Indicar nivel del tanque con base al setting
		21	Switch de control de nivel bajo de aceite	Indicar nivel del tanque con base al setting
		22	Switch control nivel de reservorio	Indicar nivel del tanque con base al setting
		23	Switch presion diferencial sistema de filtro	Enviar señal de alarma presión diferencial alta filtro de agua sprint
		24	Switch presion diferencial del separador aire-aceite	Enviar señal de alarma de la diferencial de presión del separador de aire-aceite
		25	Switch de presion diferencial alta sistema de filtracion	Enviar señal de alarma de alta alta presión diferencial del filtro duplex de suministro de aceite a la turbina
		26	Modulo microne de control	Monitorear y controlar la turbina
		27	Panel de control local del sistema edi	Controlar variables locales de la unidad EDI
		28	Switch control de alta presion aceite scavenge	Enviar señal de presión alta de descarga de la bomba de barrido de aceite
		29	Switch de control de alta presion del gas	Enviar señal al cuarto de control por alta presión de gas combustible
		30	Switch de control de presion agua desmineralizada	Envia señal de baja presión de descarga de bomba de agua sprint
		31	Switch de control presion baja de aceite	Enviar señal de alarma de baja presión de aceite en la succión de la bomba Jacking
		32	Switch control de baja presion	Enviar señal de presión baja baja de suministro de aceite
		33	Switch control de presion baja-baja	Enviar señal de presión baja baja de suministro de aceite
		34	Switch de control por baja-baja presion	Enviar señal de disparo por baja baja presión de lubricación del generador
		35	Switch de control presion baja-baja de aceite	Enviar señal de disparo de baja baja presión de aceite en la succión de la bomba Jacking
		36	Switch control baja-baja presion a p-2963	Enviar señal de alarma de baja baja presión retorno bomba principal arrancador hidraulico
		37	Valvula de seguridad y relevo del reservorio	Proteger la integridad de la bomba principal de lubricación
		38	Valvula control presion tanque de agua	Proteger la integridad del tanque de lavado fuera de línea por una sobrepresión (>75 PSI)
		39	valvula de seguridad alta presion bomba de lubricacion	Proteger la integridad de la bomba de alta presión Jacking Oil
		40	Transmisor de presion combustible liquido en manifold	Monitorear presión de entrada de combustible liquido

Tabla 3. Funciones Sistema de Instrumentación Turbogas TG-2961 (Continuación)

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	No	Componentes	Función
SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN	Grupo de componentes que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables del proceso de generación eléctrica	20	Switch de control por bajo nivel	Indicar nivel del tanque con base al setting
		21	Switch de control de nivel bajo de aceite	Indicar nivel del tanque con base al setting
		22	Switch control nivel de reservorio	Indicar nivel del tanque con base al setting
		23	Switch presion diferencial sistema de filtro	Enviar señal de alarma presión diferencial alta filtro de agua sprint
		24	Switch presion diferencial del separador aire-aceite	Enviar señal de alarma de la diferencial de presión del separador de aire-aceite
		25	Switch de presion diferencial alta sistema de filtracion	Enviar señal de alarma de alta alta presión diferencial del filtro duplex de suministro de aceite a la turbina
		26	Modulo microne de control	Monitorear y controlar la turbina
		27	Panel de control local del sistema edi	Controlar variables locales de la unidad EDI
		28	Switch control de alta presion aceite scavenge	Enviar señal de presión alta de descarga de la bomba de barrido de aceite
		29	Switch de control de alta presion del gas	Enviar señal al cuarto de control por alta presión de gas combustible
		30	Switch de control de presion agua desmineralizada	Envia señal de baja presión de descarga de bomba de agua sprint
		31	Switch de control presion baja de aceite	Enviar señal de alarma de baja presión de aceite en la succión de la bomba Jacking
		32	Switch control de baja presion	Enviar señal de presión baja baja de suministro de aceite
		33	Switch control de presion baja-baja	Enviar señal de presión baja baja de suministro de aceite
		34	Switch de control por baja-baja presion	Enviar señal de disparo por baja baja presión de lubricación del generador
		35	Switch de control presion baja-baja de aceite	Enviar señal de disparo de baja baja presión de aceite en la succión de la bomba Jacking
		36	Switch control baja-baja presion a p-2963	Enviar señal de alarma de baja baja presión retorno bomba principal arrancador hidraulico
		37	Valvula de seguridad y relevo del reservorio	Proteger la integridad de la bomba principal de lubricación
		38	Valvula control presion tanque de agua	Proteger la integridad del tanque de lavado fuera de línea por una sobrepresión (>75 PSI)
		39	valvula de seguridad alta presion bomba de lubricacion	Proteger la integridad de la bomba de alta presión Jacking Oil
		40	Transmisor de presion combustible liquido en manifold	Monitorear presión de entrada de combustible liquido

Tabla 3. Funciones Sistema de Instrumentación Turbogas TG-2961 (Continuación)

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	No	Componentes	Función
SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN	Grupo de componentes que sirven para medir, convertir, transmitir, controlar o registrar variables del proceso de generación eléctrica	41	Transmisor de presión gas de suministro	Monitorear presión de entrada de gas
		42	Transmisor de presión manifold de la máquina	Monitorear presión de suministro de gas en el manifold
		43	Transmisor de presión descarga aceite scavenge	Monitorear la presión de suministro de aceite a la turbina
		44	Transmisor de presión de entrada de aceite	Monitorear la presión de suministro de aceite al generador
		45	Transmisor de presión, rango 0-600 psia- ps3	Monitorear presión de descarga del compresor de alta
		46	Transmisor de presión total, rango 0-200 psia- p48	Monitorear presión de descarga de la turbina de alta
		47	Transmisor de presión- po, rango 0-16 psia	Monitorear presión de entrada (presión estática) de aire al compartimiento de la turbina
		48	Transmisor de presión (ptb1), rango 0-500 psia	Monitorear la presión de balance de la turbina
		49	Transmisor de presión agua desmineralizada en manifold	Monitorear la presión de entrada de agua desmineralizada
		50	Transmisor de presión rosemount 3051tg	Monitorear la presión de salida de agua del filtro
		51	Elemento de medición de velocidad (magnetic pick-up)- xn25	Sensar la velocidad del compresor de alta
		52	Elemento de medición de velocidad (magnetic pick-up)- xnsd	Sensar la velocidad de la turbina de baja
		53	Valvula solenoide control suministro de gas	Asegurar el corte del flujo de gas a la entrada del manifold de gas de la turbina
		54	Valvula solenoide control venteo de gas	Ventear el gas entre las dos valvulas de corte
		55	Valvula solenoide control suministro de aire	Permitir el suministro de aire al tanque de lavado fuera de línea
		56	Valvula solenoide control drenaje de gas del manifold	Asegurar el drenaje de gas en el manifold de combustible de la turbina
		57	Valvula solenoide control agua desmineralizada	Asegurar el flujo de agua desmineralizada a la turbina. Rango de operación: 0-1320 PSI
		58	Valvula solenoide drenaje combustible líquido	Drenaje de agua-gas sistema de combustible
		59	Valvula solenoide sistema purga sprint	Purgar línea de agua hacia el LPC
		60	Valvula solenoide sistema purga de aire	Pugar aire del skid sprint

Tabla 3. Funciones Sistema de Instrumentación Turbogas TG-2961 (Continuación)

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripción	No	Componentes	Función
SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN		61	Valvula solenoide, purga de aire del enfriador	Suministro de aire de refrigeración para los sumideros
		62	Termostato control temperatura reservorio	Mantener el aceite con la temperatura adecuada de operación
		63	Valvula de control de flujo de aceite	Controlar la mezcla de aceite por un setting de temperatura
		64	Sensor de temperatura aceite lubricante turbina	Monitorear temperatura de aceite de la AGB Scavenge
		65	Sensor de temperatura suministro de aceite	Monitorear temperatura del aceite de suministro al generador
		66	Control temperatura entrada compresor baja presion- t2	Monitorear temperatura entrada compresor de baja
		67	Control temperatura entrada compresor alta presion- t25	Monitorear temperatura entrada compresor de alta
		68	Control temperatura descarga del compresor alta presion- p25	Monitorear temperatura descarga compresor de alta
		69	Control temperatura entrada de gas a turbina baja presion - t48	Monitorear temperatura descarga turbina de alta. Sensar la temperatura con 8 termocuplas A, B, C, D, E, F, G y H.
		70	Indicacion y control tempertura rodamientos del generador	Monitorear temperatura del aceite y de los rodamientos del generador
		71	Switch control alta temperatura	Enviar una señal de alarma a sala de control por alta temperatura
		72	Switch control de baja temperatura en el reservorio	Enviar una señal de alarma a sala de control por baja temperatura
		73	Switch control baja temperatura	Enviar una señal de alarma a sala de control por baja temperatura
		74	Sistema monitoreo de la turbina	Registrar y monitorear las vibraciones de la turbina y generador
		75	Transductor sistema monitoreo	Acondicionar señal
		76	Sensor de proximidad sistema monitoreo	Sensar el desplazamiento del eje
		77	Sensor de vibraciones sistema monitoreo	Sensar la vibración TRF
		78	Skid de electro-ionizacion - edi	Electrodesionización del agua permeada
		79	Sensor de conductividad agua desionizada	Sensar resistividad de agua desionizada
		80	Transmisor flujo agua desionizada	Monitorear el flujo de agua desionizada
		81	Transmisor flujo agua lavado de electrodo	Monitorear el flujo de agua lavado electrodo
		82	Valvula de control agua desionizada	Controlar el flujo de agua desionizada
		83	Actuador valvula de control	Apertura y cierre de agua desionizada
		84	Regulador de aire de instrumentos	Regular la presión de aire de los instrumentos
		85	Transmisor presion agua desionizada	Monitorear presión de agua desionizada

4.3.1.4 Funciones del sistema operador.

Tabla 4. Funciones Sistema Operador Turbogas TG-2961

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER  				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripcion	No	Componentes	Funcion
SISTEMA OPERATIVO		1	Enfriador de aire para condensar aceite	Enfriar el aire/aceite para condensar el aceite
		2	Separador primario aire-aceite	Separar aire y aceite en la etapa primaria
		3	Separador de aceite remante del aire	Separar y filtrar el aceite remanente del aire
		4	Tanque rundown lubricación generador sistema de lubricación. Steward	Brindar soporte y respaldo al sistema de lubricación del generador en caso de emergencia
		5	Filtro de aceite sistema lubricacion de turbina	Filtrar antes de ingresar a los rodamientos de la turbina
		6	Turbina a gas, axial, multietapa Im6000 pc	Suministrar potencia al generador
		7	Unidad de control hidraulico turbina a gas Im6000	Controlar la geometria variable del sistema VBV, VSV y VIGV
		8	Compresor de alta de turbina a gas Im6000	Comprimir el aire en su segunda etapa de la turbina
		9	Turbina de alta de turbina a gas Im6000	Recibir los gases de la combustión para transmitir movimiento al HPC
		10	Compresor de baja de turbina a gas Im6000	Comprimir el aire en la primera etapa de la turbina
		11	Caja de velocidades de transferecna turbina a gas Im6000	Transmitir movimiento al sistema de lubricación, control variable geometrica y arranque hidraulico.
		12	Bomba recuperacion de aceite turbina a gas Im6000	Suministrar el aceite a los sumideros de la turbina y hacer retorno del aceite al reservorio
		13	Bomba auxiliar de lubricacion del generador	Suministrar aceite a los cojinetes del generador
		14	Bomba principal de lubricacion del generador	Suministrar aceite a los cojinetes en una emergencia, garantizar lubricación en los cojinetes en las etapas de parada y llenar los Run Down de aceite para permisivo de arranque.
		15	Bomba centrifuga roto jet de alta presion	Enviar agua desmineralizada a la turbina para control del Nox
		16	Bomba reciprocante doble, alta presion	Encargada de suministrar presión de aceite a los cojinetes del generador para los arranques del turbogruppo
		17	Camara plena filtracion	Tomar y filtrar el aire para funcionamiento de turbina y refrigeración del generador
		18	Filtro duplex sistema lubricacion generador	Filtrar el aceite de suministro a los cojinetes
		19	Ventilador aeroenfriador del sistema lubricacion de turbina y generador	Refrigerar el aceite proveniente de la turbina y el generador
		20	Incrementador bomba roto jet	Incrementar la velocidad

Tabla 4. Funciones Sistema Operador Turbogas TG-2961 (Continuación)

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 				
DEFINICIÓN DE FUNCIONES TURBOGAS TG-2961				
Activo	Descripcion	No	Componentes	Funcion
SISTEMA OPERATIVO		21	Valvula control agua desmineralizada	Control de flujo de agua a la LPC
		22	Switch de control de alta presion del gas	Enviar señal al cuarto de control por alta presión de gas combustible
		23	Switch de control de presion agua desmineralizada	Envia señal de baja presión de descarga de bomba de agua sprint
		24	Transmisor de presion descarga aceite scavenge	Monitorear la presión de suministro de aceite a la turbina
		25	Transmisor de presion de entrada de aceite	Monitorear la presión de suministro de aceite al generador
		26	Transmisor de presion rosemount 3051tg	Monitorear la presión de salida de agua del filtro
		27	Termostato control temperatura reservorio	Mantener el aceite con la temperatura adecuada de operación
		28	Sistema monitoreo de la turbina	Registrar y monitorear las vibraciones de la turbina y generador
		29	Generador electrico conjunto turbogas	Generar 13,8 KVA para suministro de energia eléctrica a servicios auxiliares y demanda de plantas de proceso
		30	Motor electrico de la bomba de arranque hidraulico	Actuar la bomba hidráulica para suministrar presión al motor hidraulico para los procesos de arranque, parada y lavado de la turbina
		31	Motor de la bomba de lubricacion del generador	Actuar bomba auxiliar de lubricación del generador
		32	Motor electrico baldor para la p-2970	Sistema de Ionizacion del Agua de la Turbina
		33	Motor electrico para bomba alta presion	Enviar agua desmineralizada a la turbina para control del Nox
		34	Motor electrico para bomba media presion	Bombear agua desionizada hacia el skid del sistema sprint
		35	Motor electrico para bomba reciprocante	Actuar bomba jacking del generador
		36	Motor 7.5 hp enfriador de aceite del generador	Actuar ventilador de refrigeración de aceite del turbogruppo
		37	Motor electrico severy duty 3600 rpm, 10 hp	Motor Ventilador tiro inducido calderas recuperadoras
		38	Motor electrico severy duty 1800 rpm	Actuar el ventilador para extraer el aire caliente del compartimiento de la turbina
		39	Ventilador axial balanceado 10000cfm 7.5 spwg, 3600 rpm	Extraer particulas en suspensión en el aire de entrada a los filtros inerciales
		40	Transformador de potencia 30/40 mva	Transformar un nivel de tensión de 13,8 Kv a 34,5 Kv

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 tienen una frecuencia de fallas mayor, con el propósito de identificar cuales tienen un nivel de criticidad alto, medio y bajo, con el fin de asegurar las tareas que se formularan en el Plan de mantenimiento propuesto. Los criterios empleados para la obtención de la criticidad total del sistema, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Criterios para el análisis de criticidad

FRECUENCIA DE FALLAS		
Criterio	Impacto	Valor
Más de 3 Fallas /Año	Grave	5
Entre 1 y 2 Fallas/Año	Severo	4
1 Falla cada 5 años	Importante	3
1 Falla en 10 años	Marginal	2
No ha ocurrido en la GRB	Nulo	1

IMPACTO OPERACIONAL		
Parada Total del Equipo	Grave	10
Parada parcial del equipo y repercute en varios componentes de un sistema	Severo	7 a 9
Impacta a nivel de producción o calidad	Importante	5 a 6
Repercute en costos operacionales asociados a la disponibilidad	Marginal	2 a 4
No genera ningún efecto significativo	Nulo	1

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL		
No existe repuesto o equipo de remplazo	Deficiente	4
El equipo puede seguir funcionando	Aceptable	2 a 3
Existe repuesto o equipo stand by	Excelente	1

COSTO DE MANTENIMIENTO		
Mayor o igual a 60.000 USD	Alto	3
Mayor a 30.000 USD y menor de 60.000 USD	Medio	2
Inferior a 30.000 USD	Bajo	1

IMPACTO A LA SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE (HSE)		
Accidente Catastrofico	Grave	8
Accidente Mayor	Severo	5 a 7
Accidente o Incidente medio	Importante	3 a 5
Cuasi - accidente ó incidente menor	Marginal	1 a 3
No provoca ningún tipo de riesgo	Nulo	0

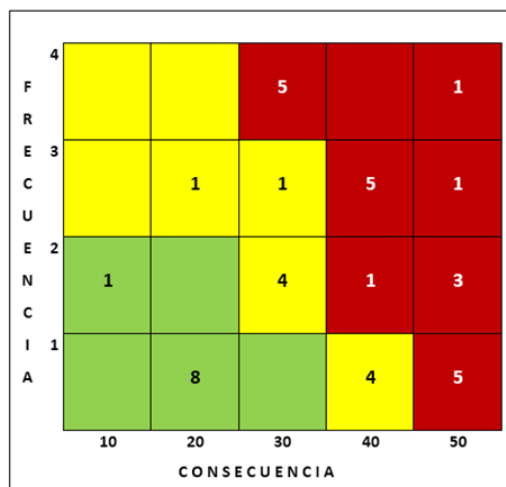
En este análisis se jerarquizaron los componentes principales que componen la unidad TG-2961, con la finalidad de optimizar su funcionamiento mediante la mejora de su mantenimiento.

Los criterios empleados fueron:

- ✓ Frecuencia de fallas.
- ✓ Impacto operacional.
- ✓ Flexibilidad operacional.
- ✓ Costo de mantenimiento.
- ✓ Impacto HSE en Seguridad, Salud Ocupacional y medio ambiente.

Una vez se tienen establecidos los criterios estipulados en la tabla 11, se aplica la ecuación de riesgo y agrupando los resultados se observan en la matriz de criticidad, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 9. Matriz de Criticidad



Criticidad total= Frecuencia de falla x Consecuencia

Frecuencia = Número de fallas en un tiempo determinado

Consecuencia = (Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo Mtto.+Impacto HS

4.4.2 Análisis de criticidad N°1. Sistema mecánico

Tabla 6. Análisis de Criticidad. Sistema Mecánico. Turbogas TG-2961

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mtto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	FxC	Valor
1 Aeroenfriador del sistema hidraulico de arranque. Hayden	1	4	2	3	3	14	14	L
2 Bomba auxiliar de lubricacion del generador	2	6	3	3	5	26	52	VH
3 Bomba centrifuga horizontal serie ssh	1	6	2	3	5	20	20	L
4 Bomba centrifuga media presion	1	6	3	3	5	26	26	L
5 Bomba centrifuga roto jet de alta presion	2	6	1	3	5	14	28	L
6 Bomba centrifuga sistema edi	1	6	1	3	5	14	14	L
7 Bomba principal de lubricacion del generador	1	6	1	3	5	14	14	L
8 Bomba reciprocante doble, alta presion	1	6	1	3	5	14	14	L
9 Bomba recuperacion de aceite turbina a gas Im6000	1	6	2	3	5	20	20	L
10 Caja de velocidades de transferencia turbina a gas Im6000	2	6	2	3	5	20	40	VH
11 Camara de combustion turbina a gas Im6000	1	6	2	3	5	20	20	L
12 Camara plena filtracion	2	2	2	3	1	8	16	L
13 Compresor de alta de turbina a gas Im6000	1	6	2	2	5	19	19	L
14 Compresor de baja de turbina a gas Im6000	1	6	2	2	5	19	19	L
15 Enfriador de aire para condensar aceite	1	3	2	2	2	10	10	L
16 Filtro de aceite sistema lubricacion de turbina	3	2	1	1	1	4	12	L
17 Filtro duplex sistema lubricacion generador	3	2	1	1	1	4	12	L
18 Filtro sistema lubricacion generador	3	2	1	1	1	4	12	L
19 Filtro sistema lubricacion turbina	3	2	1	1	1	4	12	L
20 Generador electrico conjunto turbogas	1	10	4	3	8	51	51	VH

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mtto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	FxC	Valor
21 Incrementador bomba roto jet	2	5	2	1	4	15	30	L
22 Motor electrico de la bomba de arranque hidraulico	2	7	2	3	6	23	46	L
23 Separador de aceite remante del aire	2	7	2	2	6	22	44	L
24 Separador primario aire-aceite	2	6	3	2	5	25	50	L
25 Tanque rundown lubricación generador sistema de lubricación. Steward	1	10	4	3	9	52	52	VH
26 Turbina de alta de turbina a gas Im6000	1	10	4	3	9	52	52	VH
27 Unidad de control hidraulico turbina a gas Im6000	1	4	1	3	3	10	10	L
28 Valvula control flujo bypass variable (bv)	3	4	1	2	3	9	27	M
29 Valvula control flujo de inyeccion de agua	3	4	1	2	3	9	27	M
30 Ventilador aeroenfriador del sistema lubricacion de turbina y generador	3	2	2	2	1	7	21	M
31 Ventilador axial balanceado 10000cfm 7.5 spwg, 3600 rpm	3	2	2	1	1	6	18	M
32 Ventilador axial balanceado 45000cfm 6.5 spwg, 1409 rpm	3	2	2	1	1	6	18	M
33 Ventilador axial balanceado 60000cfm 6.5 spwg, 1409 rpm	3	2	2	1	1	6	18	M
34 Ventilador centrifugos 1500 cfm 23.9 spwg, 3600 rpm	3	2	2	1	1	6	18	M

4.4.3 Análisis de criticidad N°2. Sistema eléctrico.

Tabla 7. Análisis de Criticidad. Sistema Eléctrico.

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 									
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961									
No.	Componentes	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mtto	Impacto HSE	Consecuencia	FxC	Valor
1	Aeroenfriador del sistema hidraulico de arranque. Hayden	2	8	4	3	7	42	84	H
2	Bomba auxiliar de lubricacion del generador	2	8	4	3	7	42	84	H
3	Bomba centrifuga horizontal serie ssh	2	8	4	3	7	42	84	H
4	Bomba centrifuga media presion	2	8	4	3	7	42	84	H
5	Bomba centrifuga roto jet de alta presion	2	8	4	3	7	42	84	H
6	Bomba centrifuga sistema edi	2	8	4	3	7	42	84	H
7	Bomba principal de lubricacion del generador	2	8	4	3	7	42	84	H
8	Bomba reciprocante doble, alta presion	2	8	4	3	7	42	84	H
9	Bomba recuperacion de aceite turbina a gas Im6000	2	8	4	3	7	42	84	H
10	Caja de velocidades de transferecna turbina a gas Im6000	4	7	4	2	4	34	136	H
11	Camara de combustion turbina a gas Im6000	3	7	4	2	7	37	111	H
12	Camara plena filtracion	2	7	2	2	7	23	46	L
13	Compresor de alta de turbina a gas Im6000	3	7	2	2	7	23	69	M
14	Compresor de baja de turbina a gas Im6000	3	7	2	2	7	23	69	M
15	Enfriador de aire para condensar aceite	3	7	2	1	3	18	54	L
16	Filtro de aceite sistema lubricacion de turbina	5	5	1	1	3	9	45	L
17	Filtro duplex sistema lubricacion generador	5	5	1	1	3	9	45	L
18	Filtro sistema lubricacion generador	5	5	1	1	3	9	45	L
19	Filtro sistema lubricacion turbina	5	5	1	1	3	9	45	L
20	Generador electrico conjunto turbogas	1	10	4	3	8	51	51	H

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 									
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961									
	Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mtto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
20	Switch de control por bajo nivel	3	6	4	2	5	31	93	M
21	Switch de control de nivel bajo de aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
22	Switch control nivel de reservorio	3	6	4	2	5	31	93	M
23	Switch presion diferencial sistema de filtro	3	6	4	2	5	31	93	M
24	Switch presion diferencial del separador aire-aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
25	Switch de presion diferencial alta sistema de filtracion	3	6	4	2	5	31	93	M
26	Modulo microne de control	4	8	1	2	4	14	56	M
27	Panel de control local del sistema edi	4	8	1	2	4	14	56	M
28	Switch control de alta presion aceite scavenge	3	6	4	2	5	31	93	M
29	Switch de control de alta presion del gas	3	6	4	2	5	31	93	M
30	Switch de control de presion agua desmineralizada	3	6	4	2	5	31	93	M
31	Switch de control presion baja de aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
32	Switch control de baja presion	3	6	4	2	5	31	93	M
33	Switch control de presion baja-baja	3	6	4	2	5	31	93	M
34	Switch de control por baja-baja presion	3	6	4	2	5	31	93	M
35	Switch de control presion baja-baja de aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
36	Switch control baja-baja presion a p-2963	3	6	4	2	5	31	93	M
37	Valvula de seguridad y relevo del reservorio	4	8	1	2	4	14	56	M
38	Valvula control presion tanque de agua	4	8	1	2	4	14	56	M
39	valvula de seguridad alta presion bomba de lubricacion	4	8	1	2	4	14	56	M
40	Transmisor de presion combustible liquido en manifold	3	6	4	2	5	31	93	M

Tabla 7. Análisis de Criticidad. Sistema Eléctrico. (Continuación)

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
41 Transmisor de presion gas de suministro	3	6	4	2	5	31	93	M
42 Transmisor de presion manifold de la maquina	3	6	4	2	5	31	93	M
43 Transmisor de presion descarga aceite scavenge	4	8	1	2	4	14	56	M
44 Transmisor de presion de entrada de aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
45 Transmisor de presion, rango 0-600 psia- ps3	3	6	4	2	5	31	93	M
46 Transmisor de presion total , rango 0-200 psia - p48	4	8	1	2	4	14	56	M
47 Transmisor de presion- po, rango 0-16 psia	4	8	1	2	4	14	56	M
48 Transmisor de presion (ptb1), rango 0-500 psia	4	8	1	2	4	14	56	M
49 Transmisor de presion agua desmineralizada en manifold	4	8	1	2	4	14	56	M
50 Transmisor de presion rosemount 3051tg	4	8	1	2	4	14	56	M
51 Elemento de medicion de velocidad (magnetic pick-up)-xn25	4	8	1	2	4	14	56	M
52 Elemento de medicion de velocidad (magnetic pick-up)-xnsd	4	8	1	2	4	14	56	M
53 Valvula solenoide control suministro de gas	4	8	1	2	4	14	56	M
54 Valvula solenoide control venteo de gas	4	8	1	2	4	14	56	M
55 Valvula solenoide control suministro de aire	4	8	1	2	4	14	56	M
56 Valvula solenoide control drenaje de gas del manifold	4	8	1	2	4	14	56	M
57 Valvula solenoide control agua desmineralizada	4	8	1	2	4	14	56	M
58 Valvula solenoide drenaje combustible liquido	4	8	1	2	4	14	56	M
59 Valvula solenoide sistema purga sprint	4	8	1	2	4	14	56	M
60 Valvula solenoide sistema purga de aire	4	8	1	2	4	14	56	M

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
61 Valvula solenoide, purga de aire del enfriador	4	8	1	2	4	14	56	M
62 Termostato control temperatura reservorio	5	10	1	3	3	16	80	VH
63 Valvula de control de flujo de aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
64 Sensor de temperatura aceite lubricante turbina	3	6	4	2	5	31	93	M
65 Sensor de temperatura suministro de aceite	3	6	4	2	5	31	93	M
66 Control temperatura entrada compresor baja presion- t2	3	6	4	2	5	31	93	M
67 Control temperatura entrada compresor alta presion- t25	3	6	4	2	5	31	93	M
68 Control temperatura descarga del compresor alta presion- p25	3	6	4	2	5	31	93	M
69 Control temperatura entrada de gas a turbina baja presion - t48	3	6	4	2	5	31	93	M
70 Indicacion y control temperatura rodamientos del generador	3	6	4	2	5	31	93	M
71 Switch control alta temperatura	3	6	4	2	5	31	93	M
72 Switch control de baja temperatura en el reservorio	3	6	4	2	5	31	93	M
73 Switch control baja temperatura	3	6	4	2	5	31	93	M
74 Sistema monitoreo de la turbina	5	10	1	3	3	16	80	VH
75 Transductor sistema monitoreo	5	10	1	3	3	16	80	VH
76 Sensor de proximidad sistema monitoreo	5	10	1	3	3	16	80	VH
77 Sensor de vibraciones sistema monitoreo	5	10	1	3	3	16	80	VH
78 Skid de electro-ionizacion - edi	5	10	1	3	3	16	80	VH
79 Sensor de conductividad agua desionizada	5	10	1	3	3	16	80	VH
80 Transmisor flujo agua desionizada	5	10	1	3	3	16	80	VH
81 Transmisor flujo agua lavado de electrodo	5	10	1	3	3	16	80	VH
82 Valvula de control agua desionizada	4	8	1	2	4	14	56	M
83 Actuador valvula de control	4	8	1	2	4	14	56	M
84 Regulador de aire de instrumentos	4	8	1	2	4	14	56	M
85 Transmisor presion agua desionizada	4	8	1	2	4	14	56	M

4.4.4 Análisis de criticidad N°3. Sistema de instrumentación.

Tabla 8. Análisis de Criticidad. Sistema Instrumentación.

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER  								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
1 Cámara de combustión turbina a gas Im6000	3	6	4	2	5	31	93	M
2 Detector de viruta magnetica 1 turbina a gas Im6000	4	8	1	2	4	14	56	M
3 Detector de viruta magnetica 2 turbina a gas Im6000	4	8	1	2	4	14	56	M
4 Detector de viruta magnetica 3 turbina a gas Im6000	4	8	1	2	4	14	56	M
5 Bomba reciprocante doble, alta presion	3	6	1	2	5	13	39	M
6 Procesador de control -cpu	4	8	1	2	4	14	56	M
7 Valvula control de flujo del gas natural	3	6	4	2	5	31	93	M
8 Valvula control flujo de inyeccion de agua	3	6	4	2	5	31	93	M
9 Valvula control agua desmineralizada	2	4	4	2	2	20	40	L
10 Valvula control de flujo del enfriador	2	4	4	2	2	20	40	L
11 Medidor de flujo agua desmineralizada	2	4	4	2	2	20	40	L
12 Transmisor de flujo de agua desmineralizada	5	10	1	3	3	16	80	VH
13 Transmisor de flujo del gas combustible	5	10	1	3	3	16	80	VH
14 Valvula de control de flujo	5	10	1	3	3	16	80	VH
15 Resistencia calentadora del reservorio	4	8	1	2	4	14	56	M
16 Control de deteccion puntual termica enclosure de la turbina	4	8	1	2	4	14	56	M
17 Control de deteccion puntual termica rodamientos del generador	4	8	1	2	4	14	56	M
18 Control de temperatura del gas de suministro	4	8	1	2	4	14	56	M
19 Control temperatura de agua en el manifold	4	8	1	2	4	14	56	M

4.4.5 Análisis de criticidad N°4. Sistema operador.

Tabla 9. Análisis de Criticidad. Sistema Operador.

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
1 Enfriador de aire para condensar aceite	3	6	4	3	7	34	102	M
2 Separador primario aire-aceite	2	4	4	3	6	25	50	M
3 Separador de aceite remante del aire	2	4	4	3	6	25	50	M
4 Tanque rundown lubricación generador sistema de lubricación. Steward	2	4	4	3	6	25	50	M
5 Filtro de aceite sistema lubricacion de turbina	5	10	1	2	4	16	80	H
6 Turbina a gas, axial, multietapa Im6000 pc	2	4	4	3	6	25	50	M
7 Unidad de control hidraulico turbina a gas Im6000	2	4	4	3	6	25	50	M
8 Compresor de alta de turbina a gas Im6000	2	4	4	3	6	25	50	M
9 Turbina de alta de turbina a gas Im6000	2	4	4	3	6	25	50	M
10 Compresor de baja de turbina a gas Im6000	2	4	4	3	6	25	50	M
11 Caja de velocidades de transferecna turbina a gas Im6000	3	6	4	3	7	34	102	M
12 Bomba recuperacion de aceite turbina a gas Im6000	4	8	1	2	4	14	56	M
13 Bomba auxiliar de lubricacion del generador	4	8	1	2	4	14	56	M
14 Bomba principal de lubricacion del generador	4	8	1	2	4	14	56	M
15 Bomba centrifuga roto jet de alta presion	3	6	4	3	7	34	102	M
16 Bomba reciprocante doble, alta presion	3	6	4	3	7	34	102	M
17 Cámara plena filtracion	4	8	1	2	4	14	56	M
18 Filtro duplex sistema lubricacion generador	3	6	4	3	7	34	102	M
19 Ventilador aerofriador del sistema lubricacion de turbina y generador	3	6	4	3	7	34	102	M
20 Incrementador bomba roto jet	3	6	4	3	7	34	102	M

Tabla 9. Análisis de Criticidad. Sistema Operador (Continuación)

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO 								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
20 Valvula control agua desmineralizada	4	8	1	2	4	14	56	M
21 Switch de control de alta presion del gas	3	6	4	3	7	34	102	M
22 Switch de control de presion agua desmineralizada	3	6	4	3	7	34	102	M
23 Transmisor de presion descarga aceite scavenge	3	6	4	3	7	34	102	M
24 Transmisor de presion de entrada de aceite	3	6	4	3	7	34	102	M
25 Transmisor de presion rosemount 3051tg	3	6	4	3	7	34	102	M
26 Termostato control temperatura reservorio	3	6	4	3	7	34	102	M
27 Sistema monitoreo de la turbina	4	8	1	2	4	14	56	M
28 Generador electrico conjunto turbogas	2	4	4	3	6	25	50	M
29 Motor electrico de la bomba de arranque hidraulico	2	4	4	3	6	25	50	M
30 Motor de la bomba de lubricacion del generador	2	4	4	3	6	25	50	M
31 Motor electrico baldor para la p-2970	2	4	4	3	6	25	50	M
32 Motor electrico para bomba alta presion	2	4	4	3	6	25	50	M
33 Motor electrico para bomba media presion	2	4	4	3	6	25	50	M
34 Motor electrico para bomba reciprocante	2	4	4	3	6	25	50	M
35 Motor 7.5 hp enfriador de aceite del generador	2	4	4	3	6	25	50	M
36 Motor electrico severy duty 3600 rpm, 10 hp	2	4	4	3	6	25	50	M
37 Motor electrico severy duty 1800 rpm	2	4	4	3	6	25	50	M
38 Ventilador axial balanceado 10000cfm 7.5 spwg, 3600 rpm	2	4	4	3	6	25	50	M
39 Transformador de potencia 30/40 mva	2	4	4	3	6	25	50	M

4.4.6 Análisis de criticidad N°5. Sistema CBM.

Tabla 10. Análisis de Criticidad. Sistema CBM

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 								
ANÁLISIS DE CRITICIDAD TURBOGAS TG-2961								
Componentes	Frecuencia de falla (F)	Impacto Operacional	Flexibilidad	Costos Mto	Impacto HSE	Consecuencia (C)	(F) x (C)	Valor
1 Camara de combustion turbina a gas Im6000	3	7	2	2	7	23	69	M
2 Compresor de alta de turbina a gas Im6000	2	9	3	2	6	35	70	H
3 Turbina de alta de turbina a gas Im6000	4	7	2	2	8	24	96	M
4 Compresor de baja de turbina a gas Im6000	3	7	3	2	7	30	90	M
5 Bomba centrifuga roto jet de alta presion	2	9	2	2	4	24	48	M
6 Bomba centrifuga media presion	3	7	3	2	7	30	90	M
7 Bomba reciprocante doble, alta presion	2	9	2	2	6	26	52	M
8 Incrementador bomba roto jet	3	9	3	2	7	36	108	H
9 Motor electrico de la bomba de arranque hidraulico	2	7	2	2	6	22	44	L
10 Motor de la bomba de lubricacion del generador	3	7	2	2	7	23	69	M
11 Motor electrico baldor para la p-2970	2	9	3	2	6	35	70	M
12 Motor electrico para bomba alta presion	3	7	2	2	4	20	60	M
13 Motor electrico para bomba media presion	2	9	3	2	4	33	66	M
14 Motor electrico para bomba reciprocante	3	7	2	2	4	20	60	M
15 Motor 7.5 hp enfriador de aceite del generador	2	7	3	2	6	29	58	M
16 Motor electrico severy duty 3600 rpm, 10 hp	3	9	2	2	7	27	81	M
17 Motor electrico severy duty 1800 rpm	2	7	3	2	4	27	54	M
18 Ventilador axial balanceado 10000cfm 7.5 spwg, 3600 rpm	3	9	2	2	7	27	81	M

4.5 ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF)

Con las funciones de los componentes identificados y la criticidad de cada uno de ellos, en esta fase se procedió a realizar el análisis de modos de falla y efecto.

El análisis de modos y efectos de falla es un proceso esquematizado en donde para cada componente 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 10. Activos a mantener. Unidad Turbogas



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 Refinería de Barrancabermeja.

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 operarios del departamento de mantenimiento de la Refinería Complejo de Barrancabermeja, en el cual se realizaron reuniones y talleres con las empresas contratistas y funcionarios de ECOPETROL S.A, encargados del Mantenimiento de las Unidades de Turbogas. Mediante la recolección de estos datos se consolidó una base de información que puede ser consultada en el momento de determinar una falla fortuita, ya que algunas de las fallas presentadas en otras áreas de la unidad de Balance, también están

incluidas a fin de obtener un insumo genérico para el mantenimiento de estos equipos.

En tal sentido, se consolidó una base de datos de los modos y efectos de falla que puede ser consultada en los anexos de la presente monografía y 5 modelos de formatos de información A.M.E.F. que describe: El sistema, el subsistema y el componente objeto de análisis.

Estos formatos fueron el insumo principal para iniciar el Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF).

4.6 ANÁLISIS AMEF N°1. SISTEMA MECÁNICO

Tabla 11. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Mecánico.

		GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER			 	
ANÁLISIS AMEF TURBOGAS TG-2961						
Sistema	Componente	Función	Falla	Efecto Potencial	Causa o Modo de Falla	
Mecánico	TANQUE RUNDOWN LUBRICACIÓN GENERADOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN STEWARD	Brindar soporte y respaldo al sistema de lubricación del generador en caso de emergencia	Daño en tuberías y mangueras	Perdida de la función del turbogruppo	Vida Útil	
	SEPARADOR PRIMARIO AIRE-ACEITE	Separar aire y aceite en la etapa primaria	Falla del separador	Separación inadecuada de aceite	Falla de internos	
		Separar y filtrar el aceite remanente del aire				
		Separar aire y aceite en la etapa primaria	Taponamiento de elementos filtrantes	Reducción del flujo de mezcla aire/aceite. Alta presión diferencial. Alarma: 1,75 PSI.	Contaminación del aceite	
	ENFRIADOR DE AIRE PARA CONDENSAR ACEITE	Enfriar el aire/aceite para condensar el aceite	Daño ventilador	Perdida de intercambio de calor	Daño internos	
			Falla de tuberías	Perdida función del equipo	Taponamiento	
	SEPARADOR DE ACEITE REMANTE DEL AIRE	Separar y filtrar el aceite remanente del aire	Taponamiento de elementos filtrantes	Reducción del flujo de mezcla aire/aceite. Alta presión diferencial. Alarma: 1,75 PSI.	Contaminación del aceite	
	FILTRO DE ACEITE SISTEMA LUBRICACION DE TURBINA	Filtrar el aceite que viene de los sumideros de la turbina antes de retornar al tanque	Daño portafiltro	Se pierde la función de la turbina	Sobrepresión	
		Filtrar antes de ingresar a los rodamientos de la turbina	Taponamiento del elemento filtrante	Se pierde redundancia	Contaminación del aceite	
	CAMARA DE COMBUSTION TURBINA A GAS LM6000	Dar chispa para el encendido de la mezcla gas-aire	Daño de bujía	Perdida de ignición. Perdida de redundancia.	Aislamiento	
			Mezclar el aire y el combustible para realizar la combustión	Daño de mangueras	Perdida de la función de la turbina	Soltura de manguera
				Falla de los torbellinadores		Fatiga
Taponamiento de boquillas.				Calidad del gas		

4.6.1 Análisis AMEF N°2. Sistema eléctrico.

Tabla 12. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Eléctrico.

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 						
ANÁLISIS AMEF TURBOGAS TG-2961						
Sistema	No.	Componente	Función	Falla	Efecto Potencial	Causa Modo de Falla
Eléctrico	1	ENFRIADOR DE AIRE PARA CONDENSAR ACEITE	Enfriar el aire/aceite para condensar el aceite	Falla motor eléctrico	Perdida de intercambio de calor. Perdida de aceite de retorno al tanque de lubricación.	Daño de rodamientos
	2	CAMARA DE COMBUSTION TURBINA A GAS LM6000	Suministrar alto voltaje a los ignitores	Falla de protecciones	Perdida de redundancia	Desajustes
	3	BOMBA CENTRIFUGA MEDIA PRESION	Bompear agua desionizada hacia el skid del sistema sprint	Daño de rodamientos	Pérdida función del equipo	Problemas de lubricación
	4	SUBSTATION DATA MANAGER (MULTILIN D400)	Proteger el generador por fallas en parametros eléctricos	Daño del rele	Perdida de la función del generador. Perdida de la función de la turbina.	Descalibración, coordinación de protecciones.
	5	GENERADOR ELECTRICO CONJUNTO TURBOGAS	Generar 13,8 KVA para suministro de energia eléctrica a servicios auxiliares y demanda de plantas de proceso	Daño excitatriz	Perdida de la función del generador. Perdida de la función la planta.	Daño acometida excitatriz
						Daño de fusibles y/o diodos
						Daño PMG
				Falla aislamiento acometida		Falla MAVR
				Falla de aislamiento estator		Humedad
				Falla de protecciones		Humedad, degradación del aislamiento.
						Descalibración, coordinación de protecciones.

4.6.2 Análisis AMEF N°3. Sistema de instrumentación.

Tabla 13. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Instrumentación

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 						
ANALISIS AMEF - TURBOGAS TG-2961						
Sistema	No.	Componente	Función	Falla	Efecto Potencial	Causa Modo de Falla
Instrumentación	1	CAMARA DE COMBUSTION TURBINA A GAS LM6000	Suministrar alto voltaje a los ignitores	Falla aislamiento acometida	Perdida de redundancia	Humedad, roedores
				Falla Transformador	Perdida de redundancia	Falla de componentes eléctricos
	2	DETECTOR DE VIRUTA MAGNETICA 1 TURBINA A GAS LM6000	Magnetiza particulas metalicas presentes en el aceite	Falla del equipo	Perdida de la función del equipo	Daño componente electronico
						Daño del sensor magnetico
						Falla de conexionado y cableado.
	3	BOMBA RECIPROCANTE DOBLE, ALTA PRESION	Suministrar presión al motor hidraulico para los procesos de arranque, parada y lavado de la turbina	Falla tablero de control	Perdida de la función de unidad de bombeo	Conexión/contacto flojo
				Falla valvula de alivio	No hay retorno a tanque del aceite. Posible afectación a las personas e impacto ambiental por derrame de aceite.	Atascamiento
	4	PROCESADOR DE CONTROL -CPU	Sistema de Control del turbogruppo	Falla componente electrónico	Salida de la unidad de generación	Polvo, humedad, aleatorio
	5	VALVULA CONTROL DE FLUJO DEL GAS NATURAL	Controlar el flujo de gas hacia el combustor de la turbina	Falla en válvula de control	Perdida de la función de la turbina	Daño de actuador
			Controlar la posición de los alabes variables del estator del HPC	Desgaste de rodamientos	Perdida de la función de la turbina	Agarrotamiento
				Desgaste lever arm	Perdida de la función de la turbina	Vida Útil
			Controlar el flujo de Inyección de agua desmineralizada	Daño del actuador	Perdida de la función de la turbina	Vida Útil
				Desajuste borneras, perdida de continuidad y aterrizamiento cableado	Perdida de la función de la turbina	Falla de conexionado y cableado.

4.6.3 Análisis AMEF N°4. Sistema operador.

Tabla 14. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema Operador

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER  					
ANALISIS AMEF TURBOGAS TG-2961					
Sistema	No.	Componente	Falla	Efecto Potencial	Causa Modo de Falla
Operador	1	GENERADOR ELECTRICO CONJUNTO TURBOGAS	Daño en chumaceras	Pérdida de función del generador. Pérdida de la función de la planta.	Problemas de lubricación
			Daño excitatriz		Falla MAVR
			Falla de protecciones		Descalibración, coordinación de protecciones.
	2	MOTOR ELECTRICO DE LA BOMBA DE ARRANQUE HIDRAULICO	Conexión/contacto flojo	Pérdida de la función del motor, demoras en el arranque, en el proceso de parada y en el lavado de la turbina.	Vibración por número de operaciones, vida útil, sulfatación
					Desalineamiento, problemas de lubricación
	3	MOTOR DE LA BOMBA DE LUBRICACION DEL GENERADOR		Pérdida función del equipo. Demoras en el arranque del turbogruppo.	Desalineamiento, problemas de lubricación
	4	MOTOR ELECTRICO BALDOR PARA LA P-2970		Pérdida función del equipo	
	5	MOTOR 7.5 HP ENFRIADOR DE ACEITE DEL GENERADOR		No arranca el motor. Pérdida de redundancia	

4.6.4 Análisis AMEF N°5. Sistema CBM.

Tabla 15. Análisis de Modos y Efectos de Falla AMEF. Sistema CBM



GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA

GERENCIA TÉCNICA

DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO

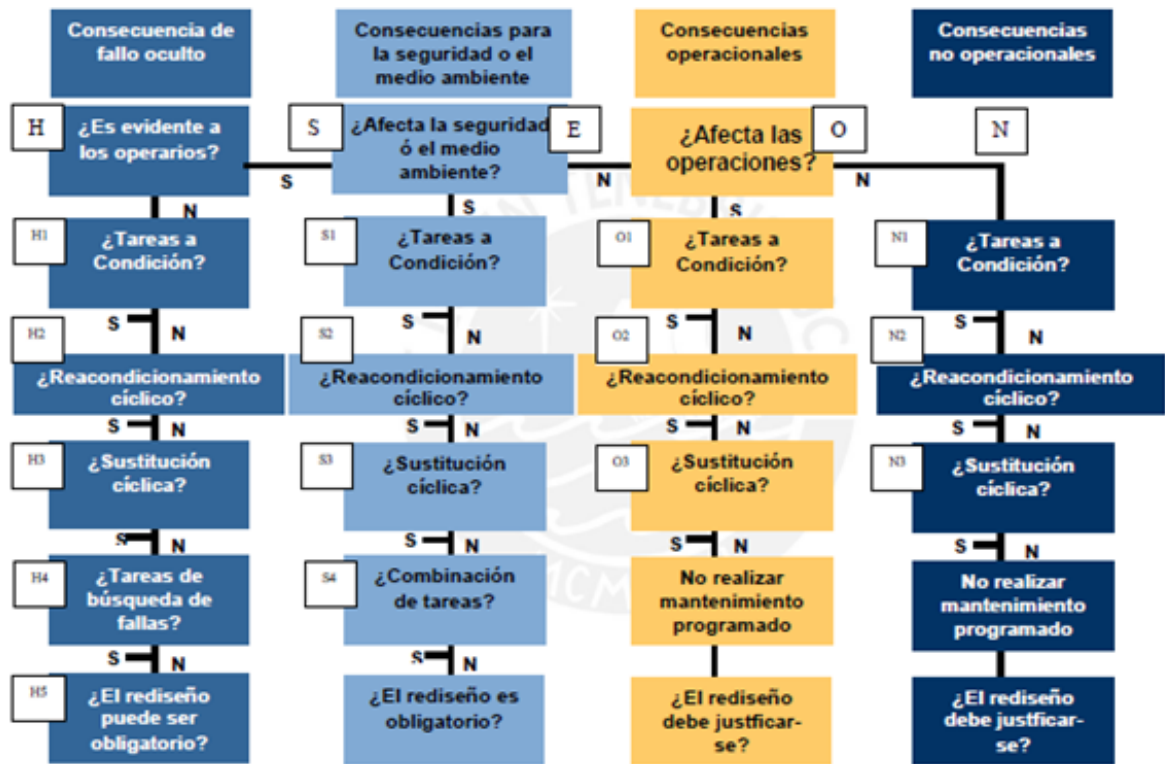


ANALISIS AMEF - TURBOGAS TG-2961						
Sistema	No.	Componente	Función	Falla	Efecto Potencial	Causa Modo de Falla
CBM	1	CAMARA DE COMBUSTION TURBINA A GAS LM6000	Mezclar el aire y el combustible para realizar la combustión	Falla de los torbellinadores	Perdida de eficiencia de la turbina	Fatiga
	2	COMPRESOR DE ALTA DE TURBINA A GAS LM6000	Comprimir el aire en su segunda etapa de la turbina	Falla del estator	Perdida de la función de la turbina	Desgaste Bushing
			Recibir los gases de la combustión para transmitir movimiento al HPC	Falla del rotor		Daño de rodamiento
						Problemas de Lubricación
						Daño de rodamiento
	3	COMPRESOR DE BAJA DE TURBINA A GAS LM6000	Comprimir el aire en la primera etapa de la turbina	Falla del rotor	Perdida de la función de la turbina	Daño de rodamiento
			Recibir los gases de combustión para transmitir movimiento al generador y al LPC	Falla del rotor	Perdida de la función de la turbina	Problemas de Lubricación
						Daño de rodamiento
						Problemas de Lubricación
	4	BOMBA CENTRIFUGA ROTO JET DE ALTA PRESION	Enviar agua desmineralizada a la turbina para control del Nox	Falla de internos	Daño secundario en el equipo.	Desgaste por uso
	5	BOMBA CENTRIFUGA MEDIA PRESION	Bompear agua desionizada hacia el skid del sistema sprint	Daño de rodamientos	Pérdida función del equipo	Problemas de lubricación
	6	BOMBA RECIPROCANTE DOBLE, ALTA PRESION	Suministrar presión al motor hidraulico para los procesos de arranque, parada y lavado de la turbina	Falla de acople	Perdida de la funcion de la bomba, demoras en el arranque, en el proceso de parada y en el lavado de la turbina.	Desalineamiento

4.7 PLAN DE MANTENIMIENTO

4.7.1 Árbol lógico de decisiones. 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.

Figura 11. Diagrama Lógico del Árbol de Decisiones.



La hoja de decisión está dividida en 16 columnas. Las primeras tres columnas F, FF, y FM identifican el modo de falla que se analizan es esa línea. Se utilizan para correlacionar las referencias de las Hojas de información y las Hojas de decisión. Los encabezamientos de las siguientes diez columnas se refieren a las preguntas del árbol de decisiones (ver gráfico 24), de manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de los modos de falla, colocando S o N (Sí o No según aplique)
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de tarea.

- Si se hace necesario responder a cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas H4, H5 y S4 son las que permiten registrar esas respuestas, colocando S o N (Sí o No según aplique). Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia en la que debe hacerse, y quién ha sido seleccionado para realizarla.

4.7.2 Hoja de decisiones del plan de mantenimiento.

Figura 12. Hoja de Decisión del Plan de Mantenimiento

GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER HOJA DE DECISIÓN										Persona que realizó la compilación e hizo la redacción de ideas y fecha de elaboración	
Sistema:	Sistema de Estudio		Equipo al que se le aplica el análisis:		Codigo de Equipo		Datos del AMEF aplicado a cada componente		Recopilado por:	Fecha:	Hoja 1/6 Hoja actual de Hojas totales
Equipo:									Revisado por:	Fecha:	
Tag:									Aprobado por:	Fecha:	
Componente al que se le aplica el análisis:										Persona que examinó la compilación y la fecha	
EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS										Persona que certificó la recopilación y la fecha	
TAREAS "a falta de"											
TAREAS PROPUESTAS											
COMPONENTE											
Funciones del Componente											
Fallas Funcionales											
Modo de falla											
¿El modo de falla es evidente?											
¿El modo de falla afecta a las personas?											
¿El modo de falla afecta al ambiente?											
¿El modo de fallo afecta a la producción?											
¿Conviene realizar una tarea a condición?											
¿Es apropiado el reacondicionamiento ciclico?											
¿Conviene hacer una rehabilitación ciclica?											
¿Conviene realizar la tarea de busqueda de fallo?											
¿El modo de falla no evidente afecta la seguridad o el ambiente?											
¿Combinación de tareas es la acción mas recomendable?											
Breve descripción de la acción propuesta											
Frecuencia inicial recomendada											
Personal a realizar la actividad											

4.7.3 Hoja de decisiones N°1. Sistema mecánico.

Tabla 16. Hoja de Decisión. Sistema Mecánico

Sistema:	Mecanico		GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER  												Recopilado por: Ruben Zarate y Maria Martínez		Fecha:	Hoja 1/6
Equipo:	Turbogas TG-2961														Revisado por: ECOPETROL -		Fecha:	
Tag:			HOJA DE DECISIÓN												Aprobado por:		Fecha:	
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS							TAREAS " a falta de"				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:	
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4					
								E1	E2	E3								
								O1	O2	O3								
TANQUE RUNDOWN LUBRICACIÓN GENERADOR SISTEMA DE LUBRICACION, STEWARD	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se hace cambios de mangueras con base a la inspección	ANUAL	Mecanico		
AERIOENFRIADOR DEL SISTEMA HIDRAULICO DE ARRANQUE HAYDEN	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se realizado un lavado a las tuberías internas.	SEMESTRAL	Mecanico		
ENFRIADOR DE AIRE PARA CONDENSAR ACEITE	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se chequea el estado externo e interno del cooler. Se realiza limpieza interna de tuberías con aire.	MENSUAL	Mecanico		
SEPARADOR PRIMARIO AIRE-ACEITE	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se cambian filtros con base a la presión diferencial PSDH29638. Por oportunidad se realiza limpieza al separador.	MENSUAL	Mecanico		
FILTRO DE ACEITE SISTEMA LUBRICACION DE TURBINA	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	REEMPLAZAR A FALLA	MENSUAL	Mecanico		
	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	REEMPLAZAR A FALLA	MENSUAL	Mecanico		
	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	CAMBIO DE FILTROS DE RETORNO SCAVENGE POR CONDICIÓN	MENSUAL	Mecanico		
	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	CAMBIO DE FILTROS DE RETORNO SCAVENGE POR CONDICIÓN	MENSUAL	Mecanico		

4.7.4 Hoja de decisiones N°2. Sistema eléctrico.

Tabla 17. Hoja de Decisión. Sistema de Eléctrico

Sistema:	Electrico	 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER Universidad Industrial de Santander 														Recopilado por: Ruben Zarate y Maria Martínez		Fecha:	Hoja 1/6
Equipo:	Turbogas TG-2961															Revisado por: ECOPETROL -		Fecha:	
Tag:		HOJA DE DECISIÓN														Aprobado por:		Fecha:	
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS							TAREAS "a falta de"				TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:		
	F	FF	FM	H	S	E	O	H1	H2	H3	H4	H5	S4						
								S1	S2	S3									
								E1	E2	E3									
								O1	O2	O3									
SUBSTATION DATA MANAGER (MULTILIN D400)	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificación de calibración de relé de control y protección, mecanismos de apertura y cierre. Incluye la revisión del G60-2.	SEMANAL	Eléctrico			
GENERADOR ELECTRICO CONJUNTO TURBOGAS	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se mide aislamiento desde el switchgear	MENSUAL	Eléctrico			
MOTOR ELECTRICO DE LA BOMBA DE ARRANQUE HIDRAULICO	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	limpieza de contactos y ajuste de conexiones si se requierProactivo	MENSUAL	Eléctrico			
MOTOR DE LA BOMBA DE LUBRICACION DEL GENERADOR	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	limpieza de contactos y ajuste de conexiones si se requierProactivo	MENSUAL	Eléctrico			
MOTOR ELECTRICO BALDOR PARA LA P-2970	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Revisión y verificación del estado del circuito de control	MENSUAL	Eléctrico			
MOTOR ELECTRICO PARA BOMBA ALTA PRESION	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Cambio de partes (contactos, relevos, etc)	ANUAL	Eléctrico			
MOTOR ELECTRICO PARA BOMBA RECIPROCANTE	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificación mecanismos de apertura y cierre.	SEMANAL	Eléctrico			
MOTOR 7.5 HP ENFRIADOR DE ACEITE DEL GENERADOR	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Revisión y verificación del estado del circuito de control	MENSUAL	Eléctrico			

4.7.5 Hoja de decisiones N°3. Sistema de instrumentación

Tabla 18. Hoja de Decisión. Sistema de Instrumentación

Sistema:	Instrumentación	GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER  														Recopilado por: Ruben Zarate y Maria Martínez		Fecha:	Hoja 1/6
Equipo:	Turbogas TG-2961															Revisado por: ECOPETROL -		Fecha:	
Tag:		HOJA DE DECISIÓN														Aprobado por:		Fecha:	
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS						TAREAS " a falta de"						TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:	
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4						
								E1	E2	E3									
								O1	O2	O3									
DETECTOR DE VIRUTA MAGNETICA 1 TURBINA A GAS LM6000	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se cambia componentes electronicos como tarjetas y resistencias	SEMANAL	Instrumentista			
DETECTOR DE VIRUTA MAGNETICA 2 TURBINA A GAS LM6000	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Analizar particulas encontradas en las mallas de los chip detector por parte del Ingeniero de Confiabilidad.	MENSUAL	Instrumentista			
DETECTOR DE VIRUTA MAGNETICA 3 TURBINA A GAS LM6000	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se une el electrodo con la parte metalica y se verifica en sala de control	MENSUAL	Instrumentista			
PROCESADOR DE CONTROL - CPU	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Limpieza de historiales, archivos temporales. Actualización back-up	MENSUAL	Instrumentista			
VALVULA CONTROL FLUJO DE INYECCION DE AGUA	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Reemplazar rodamientos por condición. Se hace cambio del componente completo donde se aloja el rodamiento.	MENSUAL	Instrumentista			
VALVULA CONTROL DE FLUJO DEL ENFRIADOR	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Posible cambio del actuador y calibración posterior	ANUAL	Instrumentista			
CONTROL DE DETECCION PUNTUAL TERMICA ENCLOSURE DE LA TURBINA	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Prueba Funcional: Se simula presencia de fuego para que registre alta temperatura	SEMANAL	Instrumentista			
CONTROL DE DETECCION PUNTUAL TERMICA ENCLOSURE DE LA TURBINA	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Reemplazar por condición: Se reemplaza el sensor	MENSUAL	Instrumentista			

4.7.6 Hoja de decisiones N°4. Sistema operador

Tabla 19. Hoja de Decisión. Sistema Operador

Sistema:	Operador		GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER  												Recopilado por: Ruben Zarate y Maria Martínez		Fecha:	Hoja 1/6					
Equipo:	Turbogas TG-2961		HOJA DE DECISIÓN												Revisado por: ECOPETROL -		Fecha:						
Tag:															Aprobado por:		Fecha:						
COMPONENTE			REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS						TAREAS "a falta de"			TAREAS PROPUESTAS				FRECUENCIA INICIAL		A REALIZAR POR:		
			F	FF	FM	H	S	E	O	S1 E1	S2 E2	S3 E3	H4	H5	S4								
										O1	O2	O3											
TANQUE RUNDOWN LUBRICACIÓN GENERADOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN. STEWARD			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verificar niveles y presencia de fugas de aceite. Son cuatro Run Down n.				DIARIO		Operador de Planta	
ENFRIADOR DE AIRE PARA CONDENSAR ACEITE			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Verifica funcionamiento, corriente, temperaturas, ruido, etc, en el CCM.				DIARIO		Operador de Planta	
SEPARADOR PRIMARIO AIRE-ACEITE			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Chequear presión diferencial PDSH29638.				DIARIO		Operador de Planta	
SEPARADOR DE ACEITE REMANTE DEL AIRE			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Chequear presión diferencial PDSH29638.				DIARIO		Operador de Planta	
UNIDAD DE CONTROL HIDRAULICO TURBINA A GAS LM6000			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Inspección del diferencial de presión del filtro HCU				DIARIO		Operador de Planta	
COMPRESOR DE ALTA DE TURBINA A GAS LM6000			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Monitoreo de vibraciones online para verificar desbalances y desajustes. Chequeo de posición de la VSV. Revisar tendencia de variables.Verificación de				DIARIO		Operador de Planta	
COMPRESOR DE BAJA DE TURBINA A GAS LM6000			1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Monitoreo rutinario de temperaturas en el sumidero A. Alarma: 290 °F Disparo: 300 °F.				DIARIO		Operador de Planta	

4.7.7 Hoja de decisiones N°5. Sistema CBM

Tabla 20. Hoja de Decisión. Sistema CBM

Sistema:	CBM	GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA  DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO BARRANCABERMEJA - SANTANDER 												Recopilado por: Ruben Zarate y Maria Martínez		Fecha:	Hoja 1/6
Equipo:	Turbogas TG-2961													Revisado por: ECOPETROL -		Fecha:	
Tag:		HOJA DE DECISIÒN												Aprobado por:		Fecha:	
COMPONENTE	REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	TAREAS "a falta de"			TAREAS PROPUESTAS	FRECUENCIA INICIAL	A REALIZAR POR:	
	F	FF	FM	H	S	E	O	S1	S2	S3	H4	H5	S4				
								E1	E2	E3							O1
COMPRESOR DE ALTA DE TURBINA A GAS LM6000	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	ANUAL	CBM	
TURBINA DE ALTA DE TURBINA A GAS LM6000	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	ANUAL	CBM	
COMPRESOR DE BAJA DE TURBINA A GAS LM6000	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	ANUAL	CBM	
MOTOR DE LA BOMBA DE LUBRICACION DEL GENERADOR	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Monitoreo de temperatura con pistola infraroja	DIARIO	CBM	
TRANSFORMADOR DE POTENCIA 30/40 MVA	1	A	1	S	N	N	S	N	S	S	N	N	N	Analisis de respuesta en frecuencia	MENSUAL	CBM	

4.8 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 tare, ya sea esta preventiva, predictiva o correctiva, la frecuencia de mantenimiento y las horas requeridas para el desarrollo de las actividades.

En las tablas 32, 33, 34, 35 y 36, se documenta el Plan de Mantenimiento de los siguientes sistemas y equipos:

1. Sistema Mecánico
2. Sistema Eléctrico
3. Sistema de Instrumentación
4. Sistema Operador

4.8.1 Plan de mantenimiento sistema mecánico

Tabla 21. Plan de Mantenimiento. Sistema Mecánico

 GERENCIA GENERAL REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO 								
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA MECANICO								
Componente	Nombre Tarea	Descripción detallada tarea	Tipo de Mtto	Intervalo Estimado Tarea	Unidad	Responsable Tarea	Duración Tarea	Unidad
TANQUE RUNDOWN LUBRICACIÓN GENERADOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN. STEWARD	REEMPLAZAR POR CONDICIÓN	Se hace cambios de mangueras con base a la inspección	Proactivo	8640	Hora	Mecánica	2	Hora
AEROFRIADOR DEL SISTEMA HIDRAULICO DE ARRANQUE. HAYDEN	LIMPIEZA INTERNA	Se realizado un lavado a las tuberías internas.	Reparación	2	Año	Mecánica	6	Hora
ENFRIADOR DE AIRE PARA CONDENSAR ACETE	LIMPIEZA E INSPECCIÓN	Se chequea el estado externo e interno del cooler. Se realiza limpieza interna de tuberías con aire.	Reparación	8640	Hora	Mecánica	8	Hora
SEPARADOR PRIMARIO AIRE- ACETE	REEMPLAZAR FILTROS	Se cambian filtros con base a la presión diferencial PDSH29638. Por oportunidad se realiza limpieza al separador.	Proactivo	8640	Hora	Mecánica	10	Hora
FILTRO DE ACETE SISTEMA LUBRICACION DE TURBINA	REEMPLAZAR A FALLA	Se reemplaza carcasa o portafiltro	Correctivo	34560	Hora	Mecánica	8	Hora
	REEMPLAZAR A FALLA	Se reemplaza carcasa o portafiltro	Correctivo	34560	Hora	Mecánica	8	Hora
	CAMBIO DE FILTROS DE RETORNO SCAVENGE POR CONDICIÓN	Asegurar el stock los filtros.	Proactivo	2160	Hora	Mecánica	2	Hora
	CAMBIO DE FILTROS DE RETORNO SCAVENGE POR CONDICIÓN	Asegurar el stock los filtros.	Proactivo	2160	Hora	Mecánica	2	Hora

4.8.2 Plan de mantenimiento sistema eléctrico

Tabla 22. Plan de Mantenimiento. Sistema Eléctrico

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO 								
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA ELÉCTRICO								
Componente	Nombre Tarea	Descripción detallada tarea	Tipo de Mtto	Intervalo Estimado Tarea	Unidad	Responsable Tarea	Duración Tarea	Unidad
SUBSTATION DATA MANAGER (MULTILIN D400)	REEMPLAZAR A FALLA	Breaker y de control	Correctivo	4	Año	Eléctrico	1	Hora
	REEMPLAZAR A FALLA	Breaker y de control	Correctivo	4	Año	Eléctrico	1	Hora
	REVISIÓN - COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	Verificación de calibración de relé de control y protección, mecanismos de apertura y cierre. Incluye la revisión del G60-2.	Preventivo	6	Mes	Eléctrico	8	Hora
	REEMPLAZAR POR CONDICIÓN	Cambio de tarjetas o relé	Proactivo	5	Año	Eléctrico	8	Hora
GENERADOR ELECTRIC CONJUNTO TURBOGAS	LIMPIEZA PMG	Retirar tapas para hacer limpieza	Reparación	720	Hora	Eléctrico	4	Hora
	INSPECCIÓN FUNCIONAL AVR	Se realiza una inspección por parte del fabricante	Preventivo	25000	Hora	Eléctrico	0	Hora
	AJUSTES DE CONEXIONES	Se realiza cada parada de planta.	Reparación	720	Hora	Eléctrico	2	Hora
	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO	Se mide aislamiento desde el sw itchgear	Preventivo	8640	Hora	Eléctrico	8	Hora
	MEDICIÓN DE AISLAMIENTO ESTATOR	Se realiza con base al fabricante	Preventivo	25920	Hora	Eléctrico	100	Hora

4.8.3 Plan de mantenimiento sistema de instrumentación

Tabla 23. Plan de Mantenimiento. Sistema de Instrumentación

		GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO						
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA INSTRUMENTACIÓN								
Componente	Nombre Tarea	Descripción detallada tarea	Tipo de Mtto	Intervalo Estimado Tarea	Unidad	Responsable Tarea	Duración Tarea	Unidad
DETECTOR DE VIRUTA MAGNETICA 1 TURBINA A GAS LM6000	REEMPLAZAR CABLE	Con la base a la medición de aislamiento	Proactivo	20	Año	Instrumentistas	16	Hora
	REEMPLAZAR CABLE	+	Proactivo	20	Año	Instrumentistas	16	Hora
	REEMPLAZAR A FALLA	Se cambia componentes electronicos como tarjetas y resistencias	Correctivo	15	Año	Instrumentistas	0,5	Hora
	VERIFICAR CONDUCTIVIDAD	Se une el electrodo con la parte metalica y se verifica en sala de control	Preventivo	4320	Hora	Instrumentistas	0,25	Hora
	LIMPIEZA DEL SENSOR	Analizar particulas encontradas en las mallas de los chip detector por parte del Ingeniero de Confiabilidad.	Reparación	720	Hora	Instrumentistas	0,5	Hora
	REEMPLAZAR A FALLA	Se cambia componentes electronicos como tarjetas y resistencias	Correctivo	15	Año	Instrumentistas	0,5	Hora
	VERIFICAR CONDUCTIVIDAD	Se une el electrodo con la parte metalica y se verifica en sala de control	Preventivo	4320	Hora	Instrumentistas	0,25	Hora
	LIMPIEZA DEL SENSOR	Analizar particulas encontradas en las mallas de los chip detector por parte del Ingeniero de Confiabilidad.	Reparación	720	Hora	Instrumentistas	0,5	Hora
	REEMPLAZAR A FALLA	Se cambia componentes electronicos como tarjetas y resistencias	Correctivo	15	Año	Instrumentistas	0,5	Hora
	VERIFICAR CONDUCTIVIDAD	Se une el electrodo con la parte metalica y se verifica en sala de control	Preventivo	4320	Hora	Instrumentistas	0,25	Hora
	LIMPIEZA DEL SENSOR	Analizar particulas encontradas en las mallas de los chip detector por parte del Ingeniero de Confiabilidad.	Reparación	720	Hora	Instrumentistas	0,5	Hora
PROCESADOR DE CONTROL -CPU	MANTENIMIENTO SOFTWARE	Limpieza de historiales, archivos temporales. Actualización back-up	Reparación	6	Mes	Instrumentistas	4	Hora

4.8.4 Plan de mantenimiento sistema operador

Tabla 24. Plan de Mantenimiento. Sistema Operador

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO 							
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA OPERADOR							
Componente	Nom bre Tarea	Descripción detallada tare a	Tipo de Mtto	Inte rvalo Estim ado Tarea	Res ponsable Tarea	Duración Tarea	Unidad
TANQUE RUNDOWN LUBRICACIÓN GENERADOR SISTEMA DE LUBRICACIÓN. STEWARD	CHEQUEOS DEL OPERADOR	Verificar niveles y presencia de fugas de aceite. Son cuatro Run Down.	Preventivo	6	Operador	5	Minutos
ENFRIADOR DE AIRE PARA CONDENSAR ACEITE	CHEQUEOS DEL OPERADOR	Verifica funcionamiento, corriente, temperaturas, ruido, etc, en el CCM.	Preventivo	6	Operador	10	Minutos
SEPARADOR PRIMARIO AIRE-ACEITE	CHEQUEOS DEL OPERADOR	Chequear presión diferencial PDSH29638.	Preventivo	6	Operador	10	Minutos
SEPARADOR DE ACEITE REMANTE DEL AIRE	CHEQUEOS DEL OPERADOR	Chequear presión diferencial PDSH29638.	Preventivo	6	Operador	10	Minutos
UNIDAD DE CONTROL HIDRAULICO TURBINA A GAS LM6000	MONITOREO DE OPERADOR	Inspeccionar diferencial de presión en los filtros de retorno.	Preventivo	6	Operador	5	Minutos
	MONITOREO DE OPERADOR	Inspeccionar diferencial de presión en los filtros de retorno.	Preventivo	6	Operador	5	Minutos
	MONITOREO DE OPERADOR	Inspección del diferencial de presión del filtro HCU	Preventivo	6	Operador	3	Minutos

4.8.5 Plan de mantenimiento sistema CBM

Tabla 25. Plan de Mantenimiento. Sistema CBM

 GERENCIA COMPLEJO REFINERÍA BARRANCABERMEJA GERENCIA TÉCNICA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO  								
PLAN DE MANTENIMIENTO SISTEMA CBM								
Componente	Falla	Nombre Tarea	Descripción detallada tarea	Tipo de Mtto	Intervalo Estimado Tarea	Responsable Tarea	Duración Tarea	Unidad
COMPRESOR DE ALTA DE TURBINA A GAS LM6000	Falla de los torbellinadores	INSPECCIÓN POR BOROSCOPIO	Se revisa estado de los swiler, las lenguetas, etc..	Preventivo	4320	CBM	0	Hora
	Falla del rotor	ANÁLISIS VIBRATORIO	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	Planeado	1	CBM	2	Hora
TURBINA DE ALTA DE TURBINA A GAS LM6000	Falla del rotor	ANÁLISIS VIBRATORIO	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	Planeado	1	CBM	2	Hora
COMPRESOR DE BAJA DE TURBINA A GAS LM6000	Falla del rotor	ANÁLISIS VIBRATORIO	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	Planeado	1	CBM	2	Hora
TURBINA DE BAJA DE TURBINA A GAS LM6000	Falla del rotor	ANÁLISIS VIBRATORIO	Se realiza un analisis vibratorio por parte del Ing. de Confiabilidad	Planeado	1	CBM	2	Hora
MOTOR DE LA BOMBA DE LUBRICACION DEL GENERADOR	Conexión/contcto flojo	MONITOREO DE TEMPERATURA	Monitoreo de temperatura con pistola infraroja	Planeado	1	CBM	1	Hora
MOTOR ELECTRICO BALDOR PARA LA P-2970	Conexión/contcto flojo	MONITOREO DE TEMPERATURA	Monitoreo de temperatura con pistola infraroja	Planeado	1	CBM	1	Hora
MOTOR ELECTRICO PARA BOMBA MEDIA PRESION	Conexión/contcto flojo	MONITOREO DE TEMPERATURA	Monitoreo de temperatura con pistola infraroja	Planeado	1	CBM	1	Hora

5. CONCLUSIONES

Aplicar los conceptos de Mantenimiento Basado en Confiabilidad en la Refinería Complejo Barrancabermeja, 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 los conocimientos adquiridos en la Especialización en Gerencia de 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 mantenimiento de equipos.

Las unidades de Turbogas son sistemas complejos de mantener y mediante técnicas como la del mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), se pudo 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 86 fallas adicionales a las que aparecían registradas en los registros del departamento de mantenimiento de la Refinería de Barrancabermeja. Logrando identificar oportunidades de mejora en el proceso de planeación del mantenimiento de las unidades de la planta de Balance.

Una unidad de Turbogas, está conformada por más de 500 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 fallas en la Unidad de Balance.

El trabajo desarrollado, permitió establecer la criticidad de los componentes del sistema de manera eficaz, generándose 29 componentes críticos, de los cuales 18 estaban catalogados como de mantenimiento mayor pero no se les había realizado análisis de criticidad.

El AMEF determinó (444) funciones, (162) 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 mantenimiento, con un gran porcentaje de desconocimiento de parte del personal operativo (técnico) de la Refinería de Barrancabermeja, 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.

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.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, Fidias. El Proyecto de Investigación (cuarta edición). Caracas: Ed. Episteme, 2004, p. 79

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

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

BOTERO, Ernesto. Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2005.

CALDERÓN, Juan. 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.

CERVO, A. y BERVIAN, P. Metodología científica. México: McGraw Hill, 1980.

COLOMBIA. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE LA FUNCIÓN PÚBLICA. Escritura Pública No. 5314 (14 de diciembre de 2007). Estatutos sociales de Ecopetrol S.A: Estatutos 1 de 2015.

COLOMBIA. EL CONGRESO DE LA REPUBLICA. Ley 1118 (Diciembre 27 de 2006). Por la cual se modifica la naturaleza jurídica de Ecopetrol S. A. y se dictan otras disposiciones. Diario Oficial, de 27 de diciembre de 2006, No. 46.494.

FORBES. # 300 Ecopetrol [en línea]. Forbes Media LLC, 2019. (Recuperado el 02 de septiembre del 2019). Disponible en <https://www.forbes.com/companies/ecopetrol/#26003a842524>

GONZÁLEZ, Carlos. 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]. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira, Ingeniería Eléctrica, 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, 1995, p 192.

HERNÁNDEZ, Juan y GONZÁLEZ, Omar. Modelo de mantenimiento para la U-2950 de la refinería de Barrancabermeja utilizando metodología RCM [Tesis de grado]. Bucaramanga: Universidad de Santander, 2012.

HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, P. Metodología de la investigación (sexta edición). México: McGraw-Hill, 2006.

MONTAÑO, 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]. Neiva: Universidad Sur Colombiana, Ingeniería Mecánica, 2008.

MOUBRAY, J. Reliability-Centered Maintenance (Second Edition). Industrial Press Inc., 1997.

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

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

ROA, José y GOMEZ, José. Optimización del plan de mantenimiento centrado en Confiabilidad para los equipos rotativos en la planta “aromáticos” de la GRB de Ecopetrol [Tesis de grado]. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2014.

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

STRATEGIG TECHNOLOGIES INC. Manual del Curso de Formación de Reability Center Maintenance. Valencia: CIED, 1999.

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

TORRES, 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]. Mocoa: Universidad Corporativa, Ecopetrol S.A., 2009.

WPADMIN. Nuestra Historia [en línea]. Ecopetrol, 2014. (Recuperado el 02 de septiembre del 2019). Disponible en <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/>

ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia