

**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA PULVERIZADORES DE
CARBÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LA CENTRAL
TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.**

KENNY BANEXA GUERRA FUENMAYOR

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

**ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA PULVERIZADORES DE
CARBÓN BASADO EN LA METODOLOGÍA RCM PARA LA CENTRAL
TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.**

KENNY BANEXA GUERRA FUENMAYOR

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar por el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: ALEXANDER BERMÚDEZ VERGARA
Ingeniero Electricista
Especialista en Administración y Gerencia de Instituciones**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2017**

DECICATORIA

A **Dios**, por su infinito amor y misericordia.

A mi **familia**, por su apoyo incondicional y sincero.

A mi **hija**, el motor de mi vida.

A mi **esposo**, por su amor, consideración y apoyo.

A **GECELCA S.A. E.S.P.**, por la oportunidad de desarrollarme laboral y profesionalmente.

Kenny Guerra F.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero **Alexander Bermúdez** por su orientación, sus conocimientos, cordialidad e interés durante el desarrollo de este trabajo.

A todos los **docentes** de la especialización que contribuyeron con sus conocimientos y experiencia a consolidar con éxito este periodo de formación.

A mis **compañeros de estudio**, por compartir sus conocimientos, experiencia profesional y amistad.

Al **Supervisor Mecánico** Emiro Gutiérrez de Alba, por su colaboración y valiosa experiencia.

A la empresa para la que laboro, hace 14 años, **GECELCA S.A. E.S.P.**, la cual ha contribuido a mi desarrollo académico, personal y laboral.

Para todos ellos: muchas gracias

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN.....	20
1.1 GECELCA S.A. E.S.P.....	20
1.1.1 HISTORIA.....	20
1.1.2 Misión.....	21
1.1.3 Visión.....	21
1.1.4 Termogujira.....	22
1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA	37
1.3 OBJETIVOS.....	38
1.3.1 Objetivo General.....	38
1.3.2 Objetivos Específicos.....	38
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	39
2. FUNDAMENTOS TEORICOS.....	41
2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO	41
2.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO	43
2.2.1 Primera Generación.....	43
2.2.2 Segunda Generación.....	43
2.2.3 Tercera Generación.....	44

2.2.4	Cuarta Generación.....	45
2.3	TIPOS DE MANTENIMIENTO	46
2.3.1	Mantenimiento Correctivo.....	46
2.3.2	Mantenimiento Preventivo.....	47
2.3.3	Mantenimiento Predictivo.....	47
2.3.4	Mantenimiento Proactivo.....	48
2.3.5	Mantenimiento de Clase Mundial.....	48
2.4	ESTÁNDARES DE TRABAJO – PLANES DE NORMALIZACIÓN	49
2.5	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	50
2.5.1	Definición del RCM.....	50
2.5.2	Evolución del RCM.	51
2.5.3	Objetivos del RCM.	52
2.5.4	Filosofía del RCM.....	53
2.5.5	Vida Útil y Desgaste.....	54
2.6	MANTENIMIENTO Y EL RCM.....	55
2.6.1	Beneficios del RCM.	56
2.6.2	RCM: Las Siete Preguntas Básicas.	57
2.6.3	Herramientas para Implementar el RCM.....	59
2.6.4	Análisis de Efectos y Modos de Falla (FEMA)..	60
2.6.6	HOJA DE DECISIÓN RCM II.	69
2.6.8	Fases del proceso del RCM.	79
3.	ESTRATEGIA RCM PARA PULVERIZADORES DE CARBÓN DE LA CENTRAL TERMOGUAJIRA.....	80

3.1	SISTEMA DE CARBÓN PULVERIZADO.....	80
3.2	PULVERIZADORES DE CARBÓN.....	82
3.3.	CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN	86
	86	
3.3	FUNCIONAMIENTO.....	87
3.4	PARTES DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN.....	89
3.4.1	Estadística de falla de los componentes de un Pulverizador de Carbón.	92
	92	
4.	RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	94
5.	MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO BASADO EN RCM	100
5.1	METODO DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD.....	100
5.1.1	Criterios de evaluación de criticidad.....	100
5.1.2	Aplicación del análisis de criticidad de los componentes del pulverizador de carbón.	102
5.1.3	Desarrollo del análisis de criticidad.	105
5.2	EJECUCION DE RCM AL PULVERIZADOR DE CARBÓN.....	115
5.2.1	Características técnicas..	115
5.2.2	FMEA de la estrategia basada en RCM para pulverizadores de carbón..	125
	125	
6.	PLAN DE MANTENIMIENTO	133
6.1	HOJA DE DECISIÓN	133

6.2	DOCUMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO 137	
6.2.1	Manual de Mantenimiento.....	137
6.2.2	Formatos de Mantenimiento.....	138
6.2.3	Formato de Planeación de Mantenimiento.....	139
6.3	FORMATOS DE PLANEACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS PULVERIZADORES DE CARBÓN.....	144
7.	CONCLUSIONES.....	150
	BIBLIOGRAFÍA.....	154
	ANEXOS.....	159

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logo de la Empresa.....	20
Figura 2 . Termogujira.....	22
Figura 3. Ubicación de las unidades de generación	23
Figura 4. Vista aérea de la Central Termogujira	24
Figura 5. Organigrama de Gecelca S.A.E.S.P.....	26
Figura 6. Termoeléctrica	27
Figura 7. Planta de tratamiento de agua.....	28
Figura 8. Sistema de recibo y suministro de carbón	30
Figura 9. Ciclo de vapor cerrado Rankin.....	36
Figura 10. Expectativas	44
Figura 11. Técnicas	45
Figura 12. Generaciones	46
Figura 13. Templo estructural del WCM	49
Figura 14. Patrones de falla.....	55
Figura 15. Diagrama de flujo del proceso RCM	59
Figura 16. Diagrama de decisión RCM II, parte 1	70
Figura 17. Diagrama de decisión RCM II, parte 2.....	71
Figura 18. Curva P-F	77
Figura 19. Frecuencia de falla de los componentes del pulverizador de carbón ...	92
Figura 20. Estadística de componentes del pulverizador de carbón vs. Ocurrencia de la falla año 2011 al 2016.....	96
Figura 21. Estadística de fallas del pulverizador de carbón vs. Ocurrencia de la falla	98
Figura 22. Diagrama de barras, zonas que caracterizan el análisis de criticidad.	114
Figura 23. Características técnicas del ventilador aire primario.....	115

Figura 24. Características técnicas del motor de aire de sello.....	116
Figura 25. Características técnicas de los clasificadores.....	116
Figura 26. Características técnicas de las compuertas de descarga	116
Figura 27. Características técnicas de la corona	117
Figura 28. Características técnicas del eje principal	117
Figura 29. Características técnicas del motor del pulverizador de carbón.....	117
Figura 30. Características técnicas de los raspadores	118
Figura 31. Características técnicas de los rodillos	118
Figura 32. Características técnicas del tornillo sinfín	118
Figura 33. Características técnicas del sistema de lubricación.....	119
Figura 34. Características técnicas sistema de muelleo	119
Figura 35. Características técnicas del sistema de muelleo	119
Figura 36. Características técnicas del tazón	119
Figura 37. Frontera de análisis pulverizadores de carbón	120
Figura 38. Diagrama de Proceso	122
Figura 39. Diagrama esquemático	123
Figura 40. Diagrama de bloques sistema de quemado de carbón de la Central Termoguajira.....	124
Figura 41. Formato de inspección para la identificación de modos de falla.....	139
Figura 42. Formato actual de planeación de Gecelca S.A. E.S.P.....	140
Figura 43. Hoja 1 Formato Propuesta para la planeación del mantenimiento	141
Figura 44. Hoja 2 Formato propuesta para la planeación de mantenimiento.....	142
Figura 45. Hoja 3 Formato propuesta para la planeación de mantenimiento.....	143
Figura 46. Hoja 1, Revisión diaria del pulverizador de carbón.....	145
Figura 47. Hoja 2, Revisión diaria pulverizador de carbón.....	146
Figura 48. Hoja 1, Mantenimiento del sistema de muelleo y los rodillos.....	147
Figura 49. Hoja 1, Mantenimiento de la corona y sinfín del pulverizador de carbón	148
Figura 50. Hoja 1, Mantenimiento total del pulverizador de carbón	149

TABLAS

Pág.

Tabla 1. Características generales unidades de generación	25
Tabla 2. Ejemplo de un modelo básico de una Matriz de Valoración de Riesgos..	67
Tabla 3. Criterios de Aceptabilidad	68
Tabla 4. Hoja de decisión RCM II	72
Tabla 5. Características técnicas del pulverizador de carbón	86
Tabla 6. Estadística de falla de los componentes de pulverizador de carbón año 2011-2016.....	95
Tabla 7. Componentes del pulverizador de carbón con mayor ocurrencia de falla año 2011 al 2016	97
Tabla 8. Estadística de fallas del pulverizador de carbón año 2011 al 2016	97
Tabla 9. Fallas del pulverizador de carbón de mayor ocurrencia año 2011 al 2016	99
Tabla 10. Criterios de evaluación de la criticidad.....	101
Tabla 11. Desarrollo contexto operacional.....	102
Tabla 12. Elementos y componentes del pulverizador de carbón, parte I.....	103
Tabla 13. Elementos y componentes del pulverizador de carbón, parte II.....	104
Tabla 14. Hoja 1, Resultados del análisis de criticidad	106
Tabla 15. Hoja 2, Resultados del análisis de criticidad	107
Tabla 16. Hoja 3, Resultados del análisis de criticidad	108
Tabla 17. Hoja 4, Resultados del análisis de criticidad	109
Tabla 18. Resultado análisis de criticidad de los componentes críticos del pulverizador de carbón	110
Tabla 19. Resultado análisis de criticidad de los componentes semi crítico del pulverizador de carbón	111

Tabla 20. Resultado análisis de criticidad de los componentes no críticos del pulverizador de carbón, parte I.	112
Tabla 21. Resultado análisis de criticidad de los componentes no críticos del pulverizador de carbón, parte II.	113
Tabla 22. Parámetros técnicos de operación pulverizadores de carbón unidad I	121
Tabla 23. Parámetros técnicos de operación pulverizadores de carbón unidad II	121
Tabla 24. Hoja de información No. 1: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón.....	126
Tabla 25. Hoja de información No.2: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón.....	127
Tabla 26. Hoja de información No.3: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón.....	128
Tabla 27. Hoja de información No.4: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón.....	129
Tabla 28. Hoja de información No.5: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón.....	130
Tabla 29. Hoja de información No.6: análisis de los modos de falla de los pulverizadores de carbón.....	131
Tabla 30. Hoja de información No.7: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón.....	132
Tabla 31. Hoja de decisión No.1 del pulverizador de carbón.....	134
Tabla 32. Hoja de decisión No.2 del pulverizador de carbón.....	135
Tabla 33. Hoja de decisión No.3 del pulverizador de carbón.....	136

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Tratamiento de datos.....	159
Anexo B. Planos de Pulverizador de Carbón.....	160
Anexo C. RCM del Pulverizador de Carbón.....	161
Anexo D. Planos y Figuras del Pulverizador de Carbón.....	162
Anexo E. Plan No.2, Mantenimiento del sistema de muelleo y rodillos del pulverizador de carbón.....	163
Anexo F. Plan No.3, Mantenimiento total del pulverizador de carbón.....	164
Anexo G. Plan No4, Mantenimiento total del pulverizador de carbón.....	165

RESUMEN

TITULO: ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO PARA PULVERIZADORES DE CARBÓN BASADO EN LA METODOLOGIA RCM PARA LA CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.*

AUTORES: KENNY BANEXA GUERRA FUENMAYOR**

PALABRAS CLAVES: PULVERIZADOR DE CARBÓN, MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM), MODOS DE FALLA, EFECTOS DE LA FALLA, PLAN DE MANTENIMIENTO, FORMATOS DE INSPECCIÓN.

DIRECTOR: ALEXANDER BERMÚDEZ

DESCRIPCION

Esta monografía describe una estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), para los Pulverizadores de Carbón de la Central Térmica de la Guajira, Gecelca S.A. E.S.P., la cual, cuenta con dos unidades generadoras de energía eléctrica, cada una de 151 Mw netos, las cuales, pueden operar con dos tipos de combustible (Gas – Carbón). Esta propuesta surge como alternativa para minimizar las continuas fallas y fuera de servicio de los Pulverizadores de Carbón de la Central.

Basados en la información del grupo de mantenimiento y los parámetros exigidos por la producción, se evidenció la necesidad de plantear soluciones prácticas, a diversos problemas relacionados con el quemado de carbón, identificando al pulverizador como un equipo de continuas paradas. Esta oportunidad permitió proponer una estrategia de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), con herramientas y metodologías prácticas, para conocer el funcionamiento del Pulverizador de Carbón, partiendo de lo más simple a lo más complejo del equipo, para reconocer e identificar las fallas y modos de fallas del mismo, y plantear un plan de mantenimiento e inspecciones que fortalezcan los resultados y las acciones del mantenimiento.

El plan de mantenimiento está fundamentado en la información técnica del pulverizador de carbón, en el conocimiento adquirido a través de los años de experiencia del personal de mantenimiento y de producción, y en inspecciones y procedimientos de trabajo que se proponen como herramienta para el seguimiento y control del mantenimiento.

Con esta monografía se desea impactar de forma positiva, en el proceso de mantenimiento de la Central Termoguajira, buscando un cambio en la planeación, ejecución y seguimiento del mantenimiento, por medio de la implementación de herramientas nuevas que permitan profundizar en el funcionamiento, la adecuada operación de los equipos, y la apropiada recolección y procesamiento de la información generada por el mantenimiento y la operación.

*Monografía de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director: Alexander Bermúdez Vergara, Ingeniero Eléctrico.

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE STRATEGY FOR COAL MILL BASED ON THE RCM METHODOLOGY FOR THE CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.

AUTHORS: KENNY BANEXA GUERRA FUENMAYOR

KEYWORDS: COAL MILL, MAINTENANCE CENTERED IN RELIABILITY (RCM), FAULT MODES, FAULT EFFECTS, MAINTENANCE PLAN, INSPECTION FORMATS.

DIRECTOR: ALEXANDER BERMÚDEZ

DESCRIPTION

This monograph describes a Reliability Centered Maintenance (RCM) strategy for the Coal Mill of the Guajira Thermal Power Plant, Gecelca S.A. E.S.P., which has two electric generating units, each of 151 Mw net, which can operate with two types of fuel (Gas - Coal). This proposal emerges as an alternative to minimize the continuous failures and out of service of the Central Coal Mill.

Based on the information of the maintenance group and the parameters required by the production, it was evidenced the need to propose practical solutions to various problems related to the burning of coal, identifying the Coal Mill, as a team of continuous stops. This opportunity allowed proposing a Reliability Centered Maintenance (RCM) strategy, with practical tools and methodologies, to know the operation of the Coal Mill, starting from the simplest to the most complex of the equipment, to recognize and identify the faults and failure modes, and propose a maintenance plan and inspections that will strengthen maintenance results and actions.

The maintenance plan is based on the technical information of the Coal Mill, the knowledge acquired through the years of experience of maintenance and production personnel, and on inspections and working procedures that are proposed as a tool for monitoring and maintenance control.

With this monograph, it is desired to positively impact the maintenance of the Termoguajira Plant, seeking a change in the planning, execution and monitoring of maintenance, through the implementation of new tools that allow deepening the functioning, the adequate Operation of equipment, and appropriate collection and processing of information generated by maintenance and operation.

*Grade Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Alexander Bermúdez Vergara, Electric Engineer.

INTRODUCCIÓN

La Central Térmica de la Guajira, propiedad de Gecelca S.A. E.S.P., cuenta con dos unidades generadoras de energía eléctrica, cada una de 151 Mw netos aportados al SIN (sistema interconectado nacional), con la facilidad de operar con dos tipos de combustible (Gas y Carbón). Dentro de los sistemas de cada unidad de generación de energía, encontramos el sistema de quemado de carbón, el cual, está constituido por componentes, tales como, ventiladores de aire primario, alimentadores de carbón, pulverizadores de carbón, líneas de aire de sello y líneas de carbón pulverizado.

El carbón es uno de los combustibles utilizados para la generación de energía eléctrica, este carbón llega de minas de carbón legales, a través de camiones que lo transportan hasta la central, para ser almacenado en el patio de carbón.

El sistema de manejo de carbón, transporta el carbón por bandas, al edificio de trituración y posteriormente se conduce finalmente a las tolvas carboneras, ubicadas en las plantas. Desde la tolva, el carbón baja hasta un alimentador que se encarga de dosificar la cantidad de carbón a quemar. Una vez dosificado el carbón, cae dentro de los pulverizadores, los cuales, lo reducirán a minúsculas partículas (polvo de carbón), que serán arrastradas por aire que, en cantidad y temperatura adecuadas, se introducirá en el pulverizador y será el elemento transportador del carbón hasta que entre en la caldera a través de los quemadores de carbón.

Los Pulverizadores de Carbón de la Central Termoguajira, son equipos robustos, fabricados y diseñados para poder funcionar de manera continua a lo largo de un periodo de tiempo prolongado; son molinos verticales de tazón presurizado. Sin embargo, la inclusión de piezas de hierro y materias de desgaste en el carbón tienden a reducir su vida útil.

A causa de los constantes avances tecnológicos que se presentan, se requieren cambios en las técnicas de mantenimiento, llevando a las compañías a modificar sus metodologías, estrategias y habilidades, con el fin de obtener resultados confiables y un mayor éxito en un entorno, cada vez más competitivo.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), proporciona ese escenario estratégico, en el cual, se puede crear y desarrollar, planes de mantenimiento para cualquier activo, comprobando considerablemente, que la aplicación y adopción de esta herramienta metodológica, aumenta la fiabilidad de las instalaciones, disminuye los tiempos de parada por averías imprevistas, reduce los costos de implementación, fortalece la calidad de las intervenciones, aumenta la disponibilidad, además de favorecer la comprensión del funcionamiento de los equipos, aprovechando la experiencia y conocimiento de grupos interdisciplinarios de trabajo y determinar una serie de acciones que permitan garantizar una alta disponibilidad de la planta. Entre las acciones podemos citar las inspecciones, los procedimientos, manuales y planeaciones de mantenimiento, además, de implementar acciones formativas, tanto para el personal de operación como para el personal de mantenimiento.

Este documento muestra el desarrollo de una estrategia de mantenimiento basada en RCM para los Pulverizadores de Carbón de la Central Termoguajira, que sirva como herramienta que facilite y guíe, los posteriores mantenimientos de estos equipos, convirtiéndose en un soporte fundamental e innovador dentro del proceso de mejoramiento continuo del mantenimiento en Gecelca S.A. E.S.P.

1. CONTEXTUALIZACIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

1.1 GECELCA S.A. E.S.P.

Figura 1. Logo de la Empresa



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

1.1.1 HISTORIA. La GENERADORA Y COMERCIALIZADORA DE ENERGÍA DEL CARIBE S.A. E.S.P. – GECELCA, es una empresa de servicios públicos mixta, de nacionalidad colombiana, constituida como sociedad por acciones, de tipo anónima, sometida al régimen de los servicios públicos domiciliarios y que ejercen sus actividades dentro del ámbito del derecho privado como empresario mercantil.

Fue creada según escritura pública No. 747 del 6 de abril de 2006 e inició operación comercial en el mercado de energía mayorista del sector eléctrico colombiano el primero (1º) de febrero de 2007, dándole continuidad al proceso comercial y de consolidación de la antigua CORELCA, con una estructura financiera más holgada y una cultura corporativa centrada en el negocio, sin tener que dedicar esfuerzo empresarial a otras tareas.

El 1 de febrero de 2007 se inició la operación comercial de GECELCA, sustituyendo a la Corporación Eléctrica de la Costa Atlántica S.A. E.S.P. – CORELCA, en el mercado de energía mayoritaria con sus correspondientes derechos y obligaciones, teniendo en cuenta que CORELCA capitalizó en GECELCA, los activos y algunos pasivos asociados a las actividades de generación y comercialización de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional, mediante el aporte en especie de los mismos y a cambio de acciones de GECELCA a nombre de CORELCA.

El domicilio principal se encuentra en la ciudad de Barranquilla, departamento de Atlántico, Republica de Colombia y tiene como objetivo satisfacer las necesidades de clientes nacionales e internacionales brindado solidez y respaldo al sistema eléctrico nacional y convirtiéndose en “Soporte Térmico” ante eventuales déficit de energía.

En la actualidad, GECELCA cuenta con una capacidad instalada de generación térmica de 1220 Mw, mediante las plantas ubicadas en Barranquilla (Atlántico) y Mingueo (Guajira).

GECELCA es propietaria y atiende directamente la operación y el mantenimiento de las unidades 1 y 2 de la Central Termoguajira con una capacidad efectiva de 151 Mw cada una, ubicadas en jurisdicción del corregimiento de Mingueo, municipio de Dibulla departamento de la Guajira. Estas unidades operan a base de gas natural y pueden operar con carbón.¹

1.1.2 Misión. Generar y comercializar energía con el propósito de satisfacer las necesidades de nuestros clientes, impulsando el desarrollo económico con servicios de alta calidad, fundamentados en el crecimiento integral de nuestro talento humano, el mejoramiento continuo y la preservación del medio ambiente, asegurando la rentabilidad económica esperada por nuestros accionistas, con alta responsabilidad social empresarial.

1.1.3 Visión. Ser en el 2023 una empresa referente en la generación de energía firme, confiable y sustentable en el mercado energético nacional.

¹ Reseña Histórica de Gecelca S.A. E.S.P. [En línea] [Fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <http://www.gecelca.com.co/index.php/empresa/resena-historica>

1.1.4 Termoguajira. La Central Térmica de la Guajira, está conformada por dos unidades turbo vapor Mitsubishi de 151 Mw, con capacidad para generar con combustible: gas y carbón. Esta dualidad de combustible y su ubicación geográfica le confiere un posicionamiento estratégico importante dentro del mercado de energía colombiano, constituyéndose en un importante respaldo energético de la región y el país.

Figura 2 . Termoguajira



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

GECELCA es propietaria y representa ante el mercado de energía mayorista la energía generada por sus unidades, con criterios de eficiencia, calidad y confiabilidad, fundamentados en el crecimiento integral de nuestro talento humano, el mejoramiento continuo y la preservación del medio ambiente.²

La Central Térmica de la Guajira, Termoguajira está ubicada en un lote de ciento cincuenta (150) hectáreas a seis (6) kilómetros de Mingueo sobre la litoral Atlántico.

Sus coordenadas geográficas son latitud norte 11° 15´ 34”, longitud oeste 73° 24´

² Generación de Energía. [En línea] [Fecha de consulta: 12 diciembre 2016]. Disponible en: <https://www.gecelca.com.co/index.php/generacion>.

14"; corregimiento de Minguero, ochenta kilómetros sobre la Troncal del Caribe, municipio de Dibulla, departamento de la Guajira en Colombia.³

Figura 3. Ubicación de las unidades de generación



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P. Ubicación. [En línea] [Fecha de consulta: 12 diciembre 2016]. Disponible en: <https://www.gecelca.com.co/index.php/empresa/ubicacion>

³ Ubicación de Gecelca S.A. E.S.P. [En línea] [Fecha de consulta: 12 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.gecelca.com.co/index.php/empresa/ubicacion>

Figura 4. Vista aérea de la Central Termoguajira



Fuente: Vista aérea de la Central Termoguajira. [En línea] [Fecha de consulta: 10 enero 2017]. Disponible en: <https://www.google.com.co/maps/@11.2472933,-73.4139902,1621a,35y,38.99t/data=!3m1!1e3?hl=es-419>

1.1.5.1 Características Generales Central Termoguajira

Tabla 1. Características generales unidades de generación

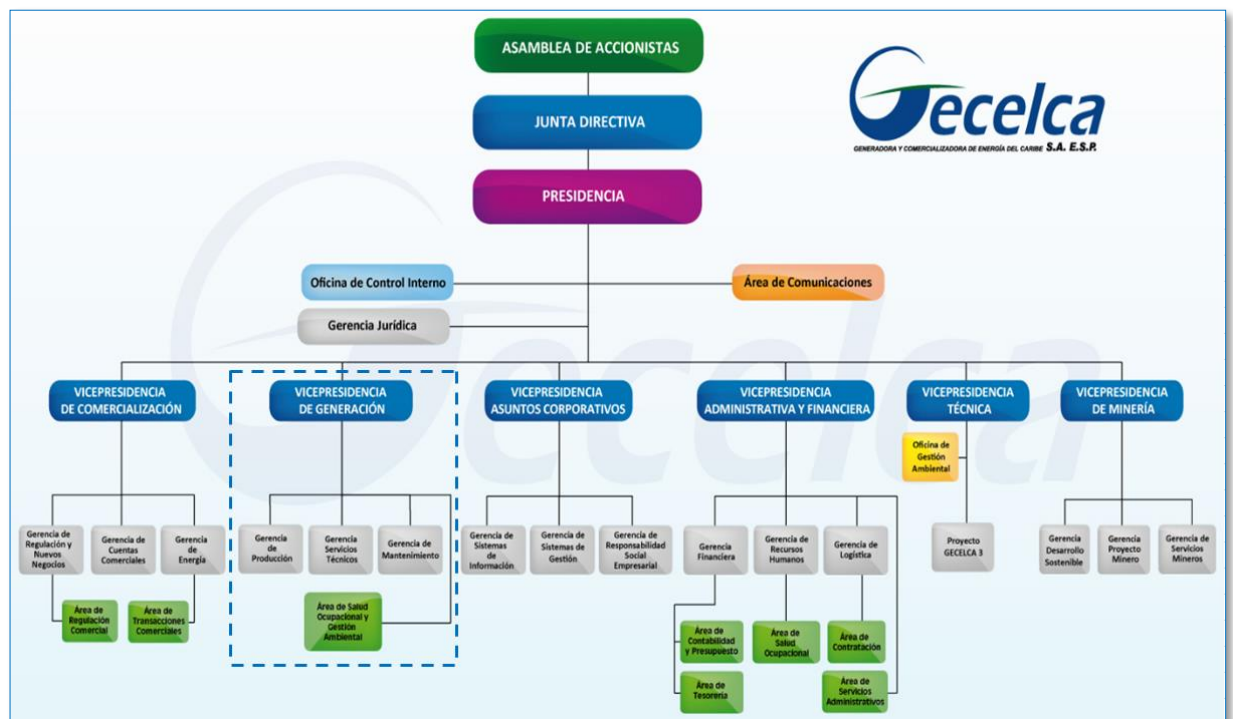
CENTRAL TERMOGUAJIRA		
CARACTERÍSTICAS DE LAS UNIDADES		
Sitio de Ubicación: Corregimiento de Mingueo, municipio de Dibulla, departamento de la Guajira, a 96 Km de Santa Marta en la troncal del caribe rumbo a Riohacha.		
Unidades: Dos (2)		Marca: Mitsubishi
Características de la Turbina	Unidad 1	Unidad 2
Capacidad Nominal	162.000 Kw	162.000 Kw
Capacidad Máxima	168.200 Kw	168.200 Kw
Revoluciones	3600 rpm	3600 rpm
Presión de Alimentación	127 kg/cm ²	127 kg/cm ²
Temperatura del vapor de vapor recalentado	538°C	538°C
Temperatura del vapor de alimentación	538°C	538°C
Características del Generador		
Capacidad	202.500 KVA	191.500 KVA
Aislamiento	Clase F	Clase F
Enfriamiento	Hidrogeno a 30 psig	Hidrogeno a 30 psig
Características de la Caldera		
Hogar	Balanceado	
Quemadores de gas tangenciales en 4 elevaciones	16	8 Duplex
Molinos de carbón	5	4
Ventiladores de tiro Forzado	2	2
Ventiladores de tiro Inducido	2	2
Bombas de agua alimentación	3	3
Capacidad de las bombas de agua alimentación	330 T/H	330 T/H
Eficiencia del gas	90.50%	90.50%
Consumo de gas	992.000 m ³ /día (turbina a plena carga)	992.000 m ³ /día (turbina a plena carga)
Consumo de carbón	1.200 T/día (turbina a plena carga)	1.200 T/día (turbina a plena carga)

Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

1.1.5.2 Organigrama de Gecelca S.A.E.S.P. Las labores desarrolladas en el mantenimiento, constituyen todo tipo de actividades en las que se ofrecen a los grupos anexos o de interés, al cliente interno (producción), la posibilidad de contar con los activos bajo una disponibilidad y confiabilidad; a través de las diferentes técnicas de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo en cada uno de los equipos que se requiera. Debido a lo anterior se cuenta con recurso humano, materiales y herramientas para lograr la meta establecida.⁴

En la siguiente figura podemos identificar la ubicación del mantenimiento dentro del organigrama de la organización.

Figura 5. Organigrama de Gecelca S.A.E.S.P.

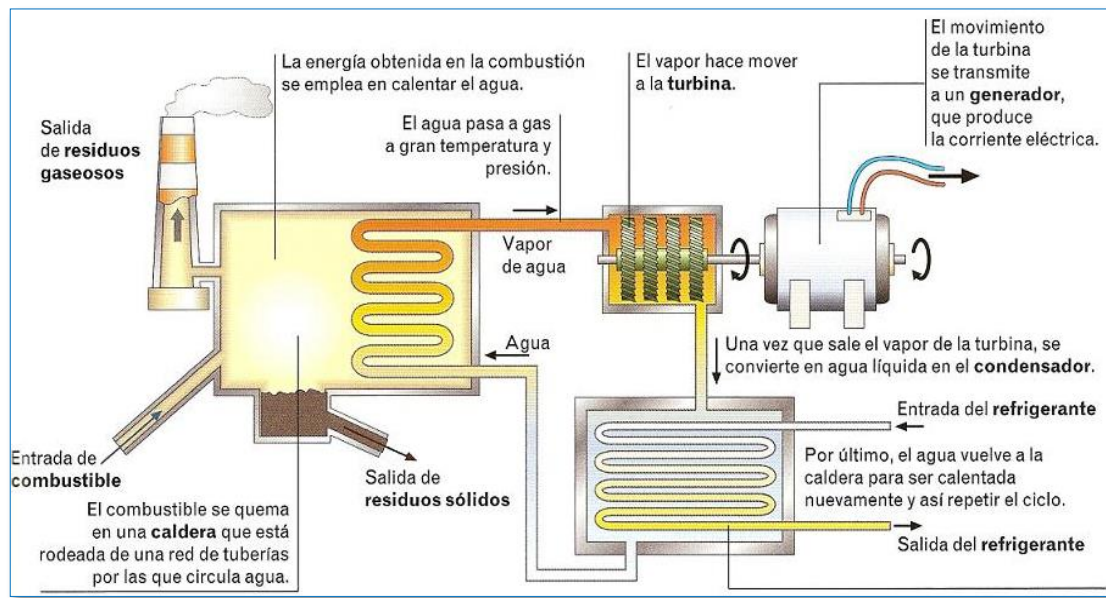


Fuente: Gecelca S.A.E.S.P. Organigrama [En línea] [Fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <https://www.gecelca.com.co/index.php/empresa/quienes-somos/organigrama-gecelca>

⁴ Organigrama [En línea] [Fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <https://www.gecelca.com.co/index.php/organigrama>

1.1.5.3 Proceso de Generación de Energía. Una central termoeléctrica o central térmica es aquella instalación empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía liberada en forma de calor, normalmente mediante la combustión de combustibles fósiles como petróleo, gas natural o carbón. Este calor es empleado por un ciclo termodinámico convencional para mover un alternador y producir energía eléctrica.⁵

Figura 6. Termoeléctrica



Fuente: Centrales Térmicas de Combustión. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016]. Disponible en: <https://tecnoblogsanmartín.files.wordpress.com/2012/01/termica.jpg>

En las centrales de energía térmica de combustión, la energía mecánica necesaria para mover la turbina que está conectada al rotor de generador, proviene de la energía térmica contenida en el vapor de agua a presión (debido al movimiento de

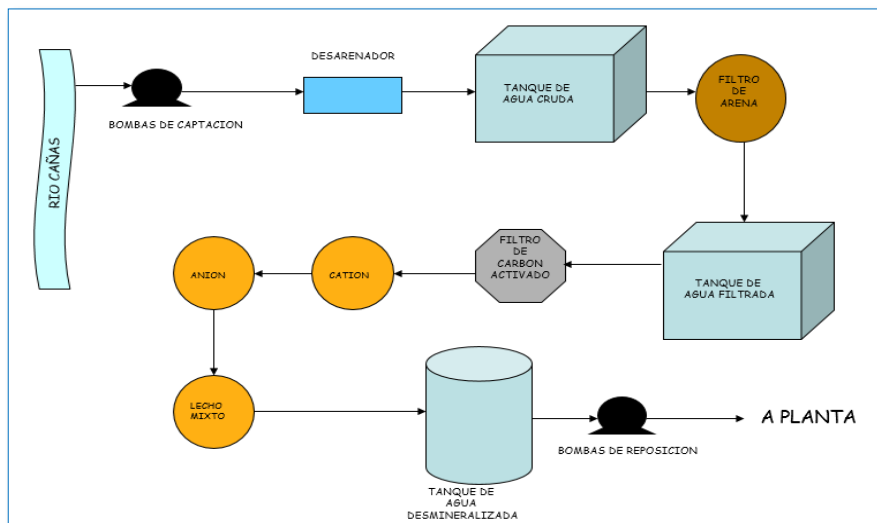
⁵ Central Termoeléctrica. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Central_termoeléctrica

las moléculas del agua) tras su calentamiento en una gran caldera. El combustible utilizado para producir vapor de agua determina el tipo de central térmica: de petróleo (fuel), gas natural o de carbón.

El vapor de agua producido al calentar el agua se bombea a alta presión para que alcance una temperatura de 600°C. Acto seguido, a través de un sistema de tuberías, entra en una turbina y hace que gire. Se produce, así, energía mecánica, la cual se transforma en energía eléctrica por medio de un generador que está acoplado a la turbina.⁶

En la Central Termoguajira el proceso inicia con el tratamiento de agua desde el río Cañas. La siguiente figura ilustra el proceso de tratamiento de agua:

Figura 7. Planta de tratamiento de agua



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

⁶ Energía térmica de combustión. [En línea] [Fecha de consulta: 10 mayo 2016]. Disponible en: <http://energiatermicadecombustion.blogspot.com.co/>

La Unidad de Capacitación y Desarrollo de la Comisión Federal de Electricidad, en su video de entrenamiento⁷, definen y explican el funcionamiento del generador de vapor.

El generador de vapor es el corazón de la central termoeléctrica. A través de este conjunto de sistemas y equipos, se produce vapor de agua, con características de presión y temperatura específicas y controladas de tal manera que se aproveche su energía de una manera eficiente y contribuya al proceso de generación eléctrica. Los principales objetivos de un generador de vapor son dos:

- a. Realizar una combustión para liberar la energía en forma de calor.
- b. Producir vapor con determinadas características de presión y temperatura.

Al realizar una combustión el generador está diseñado para aprovechar el calor de los productos y de la combustión eficientemente. En una central termoeléctrica el combustible se presenta en forma de carbón mineral.

El carbón es alimentado desde los patios, a través de un sistema de bandas transportadoras, que distribuyen el material en silos de almacenamiento. Los silos de carbón ayudan a que la alimentación de carbón sea constante y controlada.

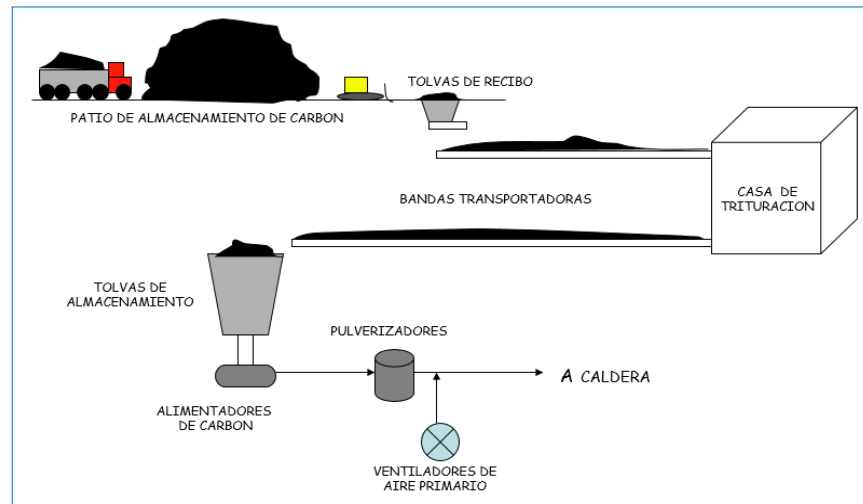
El carbón baja por medio de unos alimentadores, que controlan el flujo hacia los pulverizadores, obteniendo una consistencia fácil de transportar por medio de ductos a los quemadores.

Los quemadores se encuentran empotrados en los muros del generador de vapor, conformando una cámara de combustión que se conoce como hogar. El aire requerido para la combustión es manejado por unos ventiladores denominados de

⁷ Generador de Vapor. Unidad de Capacitación y Desarrollo/Comisión Federal de Electricidad. V0.1. 16 de diciembre de 1999. [Consulta: 20 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira

Tiro Forzado, que lo envían a través de ductos hasta llegar a los quemadores y el hogar.

Figura 8. Sistema de recibo y suministro de carbón



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

La combustión en el hogar, libera el calor que será aprovechado por otros sistemas, para calentar agua circulante y transformarla en vapor, para luego sobrecalentarlo. Los gases calientes producidos por la combustión, salen del hogar y son conducidos por pasajes y ductos antes de ser tratados y luego liberados a la atmosfera.

El generador de vapor, se le conoce como caldera, conjunto de tubos, que absorben la energía calorífica de la combustión para generar vapor. La gran cantidad de tubos alineados uno al lado del otro, forman una pared continua que envuelve al hogar y proporcionan una mayor superficie de calentamiento para aprovechar al máximo el calor de la combustión. Al estar llenos los tubos de agua, la absorción de calor produce vapor, por lo cual, se les conoce como tubos de generación. Estos tubos se interconectan entre sí, por medio de unos depósitos conocidos como cabezales de distribución.

El domo superior es un tipo de depósito cilíndrico horizontal con un nivel determinado de agua, que sirve para separar, el vapor producido y el agua, está conectado a los cabezales, por medio de tubos elevadores. El circuito de circulación de agua, se cierra con los tubos bajantes, que conducen a un domo inferior por el exterior del hogar, por lo tanto, no están expuestos al calor.

En las centrales termoeléctricas, la circulación puede ser natural o asistida por medio de bombas para un mayor control. El vapor saturado que sale del domo es calentado de nuevo por el sobrecalentador, que al estar expuesto al calor del hogar eleva la temperatura del vapor a los niveles requeridos por la turbina en otra parte del proceso.

El conjunto de tubos del sobrecalentador, están a su vez conectados, por un cabezal de entrada y uno de salida, y sus secciones están conectadas en serie para poder elevar la temperatura por pasos.

El vapor sobrecalentado que circula en la turbina, realiza un trabajo que hace que pierda parte de su energía. El vapor que sale del conjunto de alta presión de la turbina, es conocido como vapor recalentado frío y es reintroducido al generador de vapor a través de otro conjunto de tubos expuestos al calor del hogar; este conjunto de tubos eleva de nuevo la temperatura del vapor a la requerida por las etapas restantes de la turbina.

El último conjunto de tubos expuestos al calor se llama economizador, y se encuentra al final de la ruta de los gases antes de ser expulsados a la atmosfera.

El economizador recibe agua de alimentación fría y la calienta a un punto muy cercano al de ebullición antes de conducirla al domo, de esta manera, el agua perdida por la generación de vapor, es reemplazada con agua de características de temperatura que facilitan su evaporación y, por lo tanto, resultan en un menor consumo de combustible.

Los gases que salen del economizador aún contienen energía y son conducidos por un precalentador de aire-gases, en donde seden el calor al aire necesario para la combustión. Al calentar el aire del exterior antes de ser utilizado para la combustión, mejora las condiciones de esta, y aumenta la eficiencia del generador de vapor. Los gases que salen del precalentador, están ahora más fríos y pueden enviarse a la atmosfera, sin que se desperdicien grandes cantidades de calor.

En algunas instalaciones los gases son conducidos por medio de un tiro, hacia unos Precipitadores electrostáticos, antes de pasar a la chimenea, estos aparatos utilizan filtros y pantallas electrostáticas, para capturar las partículas suspendidas en los gases, antes de salir a la atmosfera y así contribuye al control de los niveles de contaminación del medio ambiente. Las partículas son capturadas por las pantallas para luego ser removidas junto con la ceniza de fondo del generador, resultado de la combustión del carbón.

La Unidad de Capacitación y Desarrollo de la Comisión Federal de Electricidad, en su video de entrenamiento⁸, definen y explican el funcionamiento de la turbina de vapor.

La Turbina de Vapor es una máquina que convierte la energía del vapor, proveniente de la caldera en trabajo mecánico. En una central termoeléctrica, este trabajo se emplea para mover un generador eléctrico, que transforma el trabajo en energía eléctrica. Para lograr que la energía del vapor se convierta en trabajo mecánico, el vapor es alimentado a la máquina, a través de una tobera en donde se expande, obteniéndose un chorro de vapor a gran velocidad.

La tobera se encuentra fija en la carcasa de la turbina y el chorro de vapor se dirige en contra de una paleta montada sobre una rueda. La fuerza del chorro, actúa sobre la paleta y la impulsa, lo que produce movimiento en la rueda. El rotor es la parte

⁸ Turbina de Vapor. Unidad de Capacitación y Desarrollo/Comisión Federal de Electricidad. V0.1-23 de marzo de 1999. [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

móvil de la turbina, que lleva montadas las ruedas con paletas y toberas, llamadas también álabes.

Las toberas fijas están montadas sobre la carcasa, que es una cubierta envolvente, que actúa como barrera de presión y minimiza la pérdida de vapor, al mismo tiempo que conduce el flujo de la energía de una manera eficiente. La carcasa también soporta anillos de álabes estacionarios, que sirven para dirigir el flujo de vapor en la dirección adecuada contra los álabes rotatorios, además cuenta con una serie de montajes de sellos del cuello, en los puntos por donde pasa el rotor a través de la carcasa.

Al pasar por la turbina el vapor proveniente de la caldera, pierde potencia conforme va chocando con las diferentes hileras de álabes, haciéndolas girar, de esta manera, la presión y la temperatura del vapor en el escape, son menores a la del vapor en la inyección. Por esta razón las turbinas deben ser agrupadas por componentes, para aprovechar al máximo la energía contenida en el vapor.

Las turbinas y sus componentes, pueden ser clasificadas de acuerdo a la presión de vapor que pasa a través de ellas, dividiéndolas en alta presión, presión intermedia y baja presión. Las turbinas utilizadas para una central termoeléctrica, son por lo general una agrupación de distintos componentes y turbinas que dan por resultado, una turbina compuesta en tandem, esto significa que los componentes de turbinas trabajan en conjunto sobre la misma flecha para hacer más eficiente el uso de la presión del vapor.

La turbina de alta presión y presión intermedia, es una combinación de dos componentes en una sola carcasa. Cuando el vapor entra a la turbina, es guiado directamente, a través del componente de alta presión, pero en vez, de que el escape de vapor sea alimentado directamente al de presión intermedia, es regresado a la caldera, para recalentarlo a la temperatura original, a esta etapa se le conoce como recalentado en frío.

El regreso del vapor de la caldera, llamado vapor recalentado entra al componente de presión intermedia que está diseñado para que tenga una trayectoria en dirección opuesta al vapor del componente de alta presión.

Cuando el vapor se expande al empujar los álabes de la turbina, se impone en el rotor una fuerza o empuje en la misma dirección del flujo de vapor, y en esta turbina se genera un empuje en la dirección de alta presión y otro en la de presión intermedia. Aun así, el que los empujes actúen en dirección opuesta no significa que sean iguales, por lo que se requiere de extracciones controladas y posicionamiento de álabes estacionarios, para establecer zonas de presión, así como el cuidadoso diseño de los componentes mismos de la turbina.

Finalmente, el vapor, extraído de este componente, es utilizado para alimentar a la turbina de baja presión. La turbina de alta presión y presión intermedia, está compuesta por un cilindro interior y uno exterior, ambos a su vez, compuestos de cubiertas que forman una base y una tapa, maquinados y atornillados para mantener un sello para vapor de alta temperatura y presión.

El cilindro interior, contiene los anillos de álabes estacionarios ensamblados para mantener un correcto alineamiento independientemente de los efectos térmicos del vapor. Las toberas y escape de vapor del cilindro interior, están alineadas con las boquillas del cilindro exterior y se unen a base de sellos flexibles, que permiten resistir los efectos de la expansión por diferencial térmico.

El rotor consiste de un eje maquinado, de una aleación metálica capaz de soportar altas temperaturas, y una serie de hileras de álabes de alta presión, presión intermedia y de control de etapas.

El rotor está cargado del lado del gobernador, por un cojinete de extensión del eje y por el lado del generador por un cojinete de soporte del empuje axial.

Cuando se abren las válvulas de admisión, el vapor es dirigido por la turbina haciendo, girar al rotor y el flujo es controlado por la caja de vapor, la válvula de

marcha y las válvulas gobernadoras. Estos componentes se encuentran montados a ambos lados de la turbina y están controlados de manera electrohidráulica desde el cuarto de control.

Los componentes de admisión de vapor recalentado, incluyen válvulas interceptoras de admisión que entran en acción, en el caso en que se presente una situación de exceso de velocidad en la turbina; cortan el suministro de vapor recalentado al componente de presión intermedia y a la vez a la turbina de baja presión. Las válvulas de paro de admisión, sirven de apoyo a las válvulas interceptoras y asisten en el control del vapor de recalentamiento en caso de emergencia.

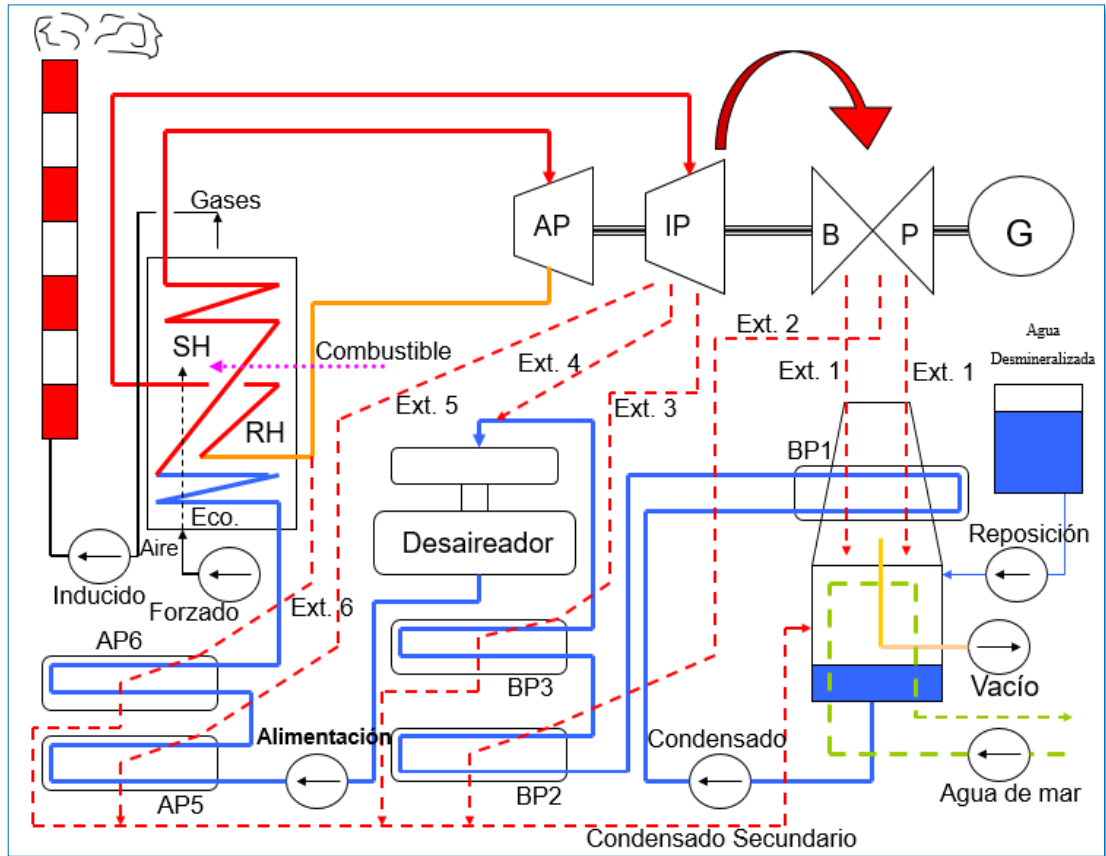
Una vez que el vapor recalentado se descarga, es alimentado a la carcasa de baja presión por medio de unos ductos intercomunicadores por el centro.

Se utiliza la presión y temperaturas restantes para impulsar una turbina de baja presión y fluye al exterior a través de trayectorias opuestas de álabes. El vapor crea fuerzas de empuje sobre el rotor, que al ser opuestas y exactamente iguales se equilibran entre sí. La turbina de baja presión también está compuesta de una carcasa exterior, un cilindro interior, la guía del flujo de admisión, los anillos portálabes, los álabes estacionarios, las guías de flujos de descarga y el conjunto del rotor. La base del cilindro exterior, ha sido diseñada de modo de sostener el peso de toda la turbina y transferir las cargas a los cimientos mediante una pata perimetral de apoyo.

El vapor de la turbina de baja presión se descarga al interior de un condensador, el cual transforma el vapor nuevamente en agua.

El cilindro interior apoya a los anillos porta álabes y las guías de flujo de admisión y de descarga con características similares a la turbina de alta presión y presión intermedia, pero con un diseño optimizado, para aprovechar al máximo las características de alimentación de vapor en esta etapa del proceso.

Figura 9. Ciclo de vapor cerrado Rankin



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

RH: Recalentador

SH: Sobrecalentador

Eco: Economizador

Ext: Extracciones de Vapor

AP: Alta Presión

BP: Baja Presión

IP: Presión Intermedia

G: Generador

1.2 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

La Generadora y Comercializadora de Energía Eléctrica del Caribe, Gecelca S.A. E.S.P., consta de dos plantas térmicas de generación de energía eléctrica a gas, carbón y aceite liviano, ubicadas en la Central Termoguajira en Mingueo Guajira. Dentro de sus departamentos se encuentra la Gerencia de Mantenimiento, constituida por tres grupos: Mantenimiento Mecánico, Mantenimiento Eléctrico y Regulación y Control.

En la actualidad se ha evidenciado desorden y falta de coordinación cuando se hace necesaria la intervención de los tres grupos, debido a la falencia en la comunicación y a los diferentes estilos aplicados por cada uno para la gestión del mantenimiento. Esta falta de sincronización entre los tres grupos, está ocasionando demoras en la atención y solución de problemas, así como pérdidas de información, lo que repercute en un aumento de los costos para la atención de toda la operación del mantenimiento. De esta manera se hace necesario desarrollar una estrategia de mantenimiento para fortalecer la gestión, organización, inspección, planeación y programación del mantenimiento, con el objetivo de lograr que la gerencia del mantenimiento utilice un único modelo, como herramienta que le permita avanzar hacia las metas propuestas para satisfacer los requerimientos de la Organización.

Con este trabajo se propone plantear una estrategia de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM, para aplicarla a la familia pulverizadores de carbón, y lograr el objetivo de entregar a la organización una estrategia de mantenimiento que asegure la continuidad, disponibilidad y confiabilidad en la operación, garantizando al activo un ciclo de vida sostenible.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General. Diseñar una estrategia de mantenimiento para la familia de pulverizadores de carbón basado en la metodología RCM para la Central Termoguajira GECELCA S.A. E.S.P., para fortalecer la inspección, planeación y programación del mantenimiento.

1.3.2 Objetivos Específicos.

1. Identificar los modos de falla de los pulverizadores de carbón de la central.
2. Elaborar los nuevos formatos de inspección y planeación del mantenimiento, corrigiendo las fallas de los formatos existentes, tomando como referente la metodología de RCM y la información del fabricante.
3. Definir los formatos de inspección de los pulverizadores de carbón de la central.
4. Definir los formatos de planeación del mantenimiento de los pulverizadores de carbón de la central.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Mejorar la confiabilidad, la disponibilidad y la adecuada gestión del mantenimiento para disminuir los tiempos muertos, las indisponibilidades de los equipos y las salidas imprevistas de las unidades de generación, son los motivos principales, para establecer una estrategia de mantenimiento basado en RCM; que fortalezca la inspección, planeación y programación del mantenimiento en la Central Termoguajira Gecelca S.A. E.S.P.

Las indisponibilidades y desvíos en la generación representan un alto costo para la organización, esto se refleja en multas o penalizaciones, que alcanzan o superan los \$1000 millones de pesos, según sea el caso (desvío, indisponibilidad, etc.). Dichos casos en ocasiones se presentan por falencias en la gestión del mantenimiento. Lo anterior impacta de forma directa en la confiabilidad y la disponibilidad de las plantas y en las finanzas de la Organización.

La Central Térmica de la Guajira cuenta con dos plantas generadoras de energía eléctrica, cada una de 151 Mw netos aportados al sistema; el constante crecimiento del sector empresarial en Colombia ha obligado a tomar medidas más estrictas sobre las normas que rigen a las generadoras de energía en Colombia.

La disponibilidad de las unidades y su IH (Índice histórico) son parámetros que se tienen en cuenta por el ente regulador (CND) para determinar la disposición de cada unidad. El punto comercial o el valor al cual se vende el Mw es importante al momento de hacer una corrida de la frontera energética, esto y otros puntos han obligado a las plantas generadoras a buscar combustibles alternos, y más económicos para hacerse competitivos en este negocio creciente del megavatio más barato. Los costos variables de las plantas termoeléctricas incluyen: el costo incremental del combustible, el costo incremental de administración, operación y mantenimiento, los costos de arranque y parada y la eficiencia térmica de la planta.

La empresa reinició en el 2008 la generación de energía eléctrica con combustible carbón. Durante la fase inicial de generación los índices estratégicos estuvieron muy por debajo de las metas planteadas. La poca experiencia tanto de operación como de mantenimiento al generar energía eléctrica con combustible carbón llevó a cometer errores que indisponían equipos del quemado de carbón. La iniciativa de repotenciar y activar de forma eficiente el sistema de quemado de carbón de la central, ha direccionado la atención hacia los pulverizadores de carbón, los cuales no han sido intervenidos en su totalidad con un mantenimiento general. Esta condición eleva la criticidad de este equipo, que a pesar de contar con cinco pulverizadores para la generación de Guajira 1 y cuatro para Guajira 2, no los hace un respaldo eficiente y confiable. Por lo anterior los pulverizadores representan la oportunidad de replantear y proponer una estrategia de mantenimiento dinámica y efectiva.

Gecelca S.A. E.S.P. en su Central Termoguajira, para la gestión del mantenimiento, requiere adoptar estrategias y modelos actuales; se tomará como piloto de estudio los pulverizadores de carbón de las dos unidades de generación, a las cuales se les aplicará la metodología RCM, buscando tener un ejemplo de competitiva y productiva, que permita evaluar el mejoramiento en el manejo de la información, los estándares y procedimientos, la planeación y la programación del mantenimiento.

2. FUNDAMENTOS TEORICOS

2.1 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

En las empresas generadoras de bienes y/o servicios se utilizan instalaciones, edificios, máquinas, equipos, herramientas, utensilios, dispositivos, etc., para lograr su objetivo social y empresarial, necesitan que estos activos se mantengan en un buen estado de funcionamiento, de confiabilidad, de mantenibilidad y de disponibilidad, acorde a sus necesidades, por lo cual las organizaciones empresariales deben procurar que la vida útil de sus equipos sea la máxima posible al mínimo costo alcanzable; lo cual se logra a través del mantenimiento industrial como una entidad de servicio a la producción. La forma de maximizar la eficiencia, la efectividad y la productividad de los activos, es mediante el conocimiento y la aplicación de las leyes que gobiernan la relación entre producción y mantenimiento.⁹

Según Moubray¹⁰ el mantenimiento se define como: *“Asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan”*.

RCM, nace como una alternativa dinámica de mantenimiento, basada en la conservación del equipo en su contexto operacional, es decir, asegurar y preservar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que su usuario quiere que haga.

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad RCM, es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, que puede ser aplicado a cualquier tipo de

⁹ MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 3ª ed. Medellín: Coldi, 2016. 17p. ISBN: 978-958-98902-0-2.

¹⁰ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. 7p. ISBN: 09539603-2-3.

instalación industrial, útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento.

Desarrollada por la United Airline de Estados Unidos, el RCM analiza cada sistema y cómo puede fallar funcionalmente. Los efectos de cada falla son analizados y clasificados de acuerdo al impacto en la seguridad, operación y costo. Estas fallas son estimadas para tener un impacto significativo en la revisión posterior, para la determinación de las raíces de las causas.

La idea central del RCM es que los esfuerzos de mantenimiento deben ser dirigidos a mantener la función que realizan los equipos más que los equipos mismos. Es la función desempeñada por una máquina lo que interesa desde el punto de vista productivo. Esto implica que no se debe buscar tener los equipos como si fueran nuevos, sino en condiciones suficientes para realizar bien su función. También implica que se deben conocer con gran detalle las condiciones en que se realiza esta función y, sobre todo, las condiciones que la interrumpen o dificultan, éstas últimas son las fallas.¹¹

Bermeo y Bautista¹² concluyen que, la metodología RCM está siendo aplicada cada vez más en el sector eléctrico para crear, modificar u optimizar planes de mantenimiento, debido a que ha demostrado ser una metodología económica (se ha demostrado que partiendo desde 0 se puede ahorrar entre un 5% y un 15% de los costos de mantenimiento) que mejora la confiabilidad del equipo, que se adapta al entorno operacional de cada empresa y que acerca más a los involucrados en el

¹¹ MORA GUTIERREZ, Alberto. Principios básicos a desarrollar para la implementación del RCM. En: Ponencia clase de RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (10-11, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016.

¹² BERMEO, Nory y BAUTISTA, Miguel. Diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para una turbina de gas General Electric LM6000PC en térmicas Ecopetrol GDA, Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2015, pp. 52-53.

mantenimiento con los equipos a cargo, mejorando las habilidades para planear y ejecutar el mantenimiento.

2.2 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO

La evolución histórica del mantenimiento se dio a través de tres generaciones, las cuales fueron el abrebocas de los cambios que se siguen generando en la actualidad y dan paso a una cuarta generación. A continuación, se describen cada una de las generaciones del mantenimiento.

2.2.1 Primera Generación. Cubre hasta la segunda guerra mundial. Esta etapa se caracterizó por la poca importancia a los tiempos de parada de los equipos, la prevención de fallas en los equipos no era prioritaria, volúmenes de producción muy bajos, el mantenimiento era reactivo o de reparación y no existía tecnificación ni mecanización de la industria.

2.2.2 Segunda Generación. Comprende desde la segunda guerra mundial hasta principio de los años setenta. Durante la segunda guerra mundial contar con equipos disponibles y que no presentaran fallas en operación, obligó a la implementación de técnicas con el fin de prevenir la falla de los equipos y disminuir los costos de reparación. Se caracterizó por la importancia de la productividad y disponibilidad de las plantas, mayor interés en acortar los tiempos de paradas de los equipos, inicio del mantenimiento preventivo y predictivo, necesidad de aumentar la vida útil de equipos y sistemas y altos niveles de inventarios de repuestos.

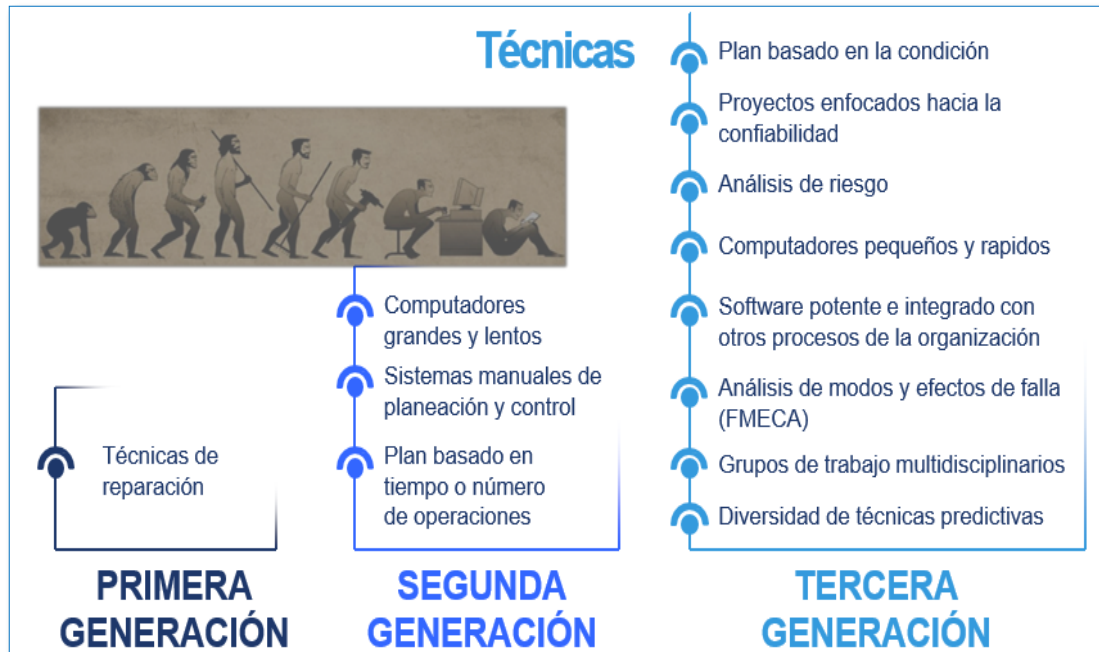
2.2.3 Tercera Generación. En la década de los setenta se desarrollan técnicas novedosas para la prevención de fallas de los equipos, buscando la disminución de los costos de reparación apuntando a los postulados de máxima calidad, seguridad y medio ambiente. Esta generación se extendió hasta finales del siglo pasado y se caracterizó por el alto volumen de producción, demanda de confiabilidad y disponibilidad de los equipos, impacto de los costos de mantenimiento en la vida útil, avances del mantenimiento basado en condición, auge del mantenimiento productivo total, implementación del mantenimiento centrado en confiabilidad, relevancia en la protección de las personas, equipos y medio ambiente.

Figura 10. Expectativas



Fuente: Principios de mantenimiento, Alberto Pertúz, En: Ponencia clase Principios de Mantenimiento. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (26-27, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016.

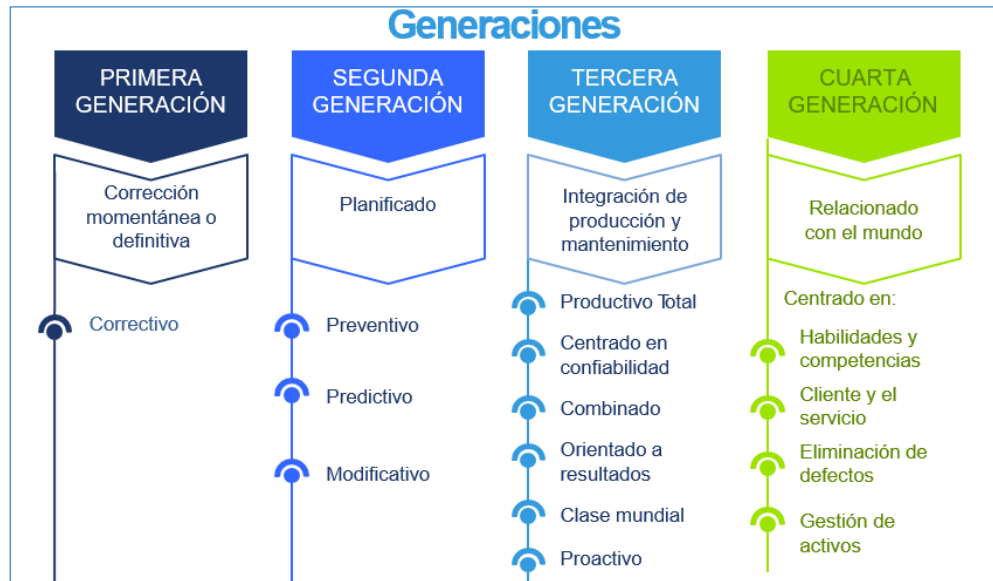
Figura 11. Técnicas



Fuente: Principios de mantenimiento, Alberto Pertúz, En: Ponencia clase Principios de Mantenimiento. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (26-27, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016.

2.2.4 Cuarta Generación. El final del siglo pasado y comienzos del nuevo siglo, representó la nueva revolución tecnológica e industrial, donde la competitividad se constituye en un factor de sobrevivencia de las organizaciones. Esta va desde finales del siglo pasado hasta hoy, se caracteriza por la gestión integral de activos, alto nivel de competitividad, confiabilidad operacional, gestión de riesgos, análisis del costo del ciclo de vida, optimización del mantenimiento planeado, alto nivel de competencias del personal de mantenimiento.

Figura 12. Generaciones



Fuente: Principios de mantenimiento, Alberto Pertúz, En: Ponencia clase Principios de Mantenimiento. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (26-27, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016.

2.3 TIPOS DE MANTENIMIENTO

2.3.1 Mantenimiento Correctivo. Conocido también como mantenimiento de reparación, el cual consiste en el reemplazo, cambio o renovación general o parcial de las partes o componentes de un equipo o sistema, con el propósito de lograr la ejecución de la función, para la cual fue diseñado.

Ventajas: no genera gastos fijos, no es necesario programar ninguna actividad de mantenimiento y a corto plazo, proporciona buenos resultados económicos.

Desventajas: afecta la producción debido a la falla inesperada, se actúa cuando el equipo falla, altos costos.

2.3.2 Mantenimiento Preventivo. Conjunto de acciones planeadas y programadas para ser ejecutadas periódicamente sobre equipos o sistemas utilizados en procesos operativos, para optimizar su efectividad, asegurar la confiabilidad y disponibilidad, es decir, lograr garantizar que un equipo sea capaz de funcionar siempre que sea requerido.

Ventajas: ciclos de operación largos para los equipos, disminución de fallas aleatorias, alta disponibilidad, aumento de la seguridad operacional, ciclos de vida largos.

Desventajas: mayores costos, mayor inversión en capacitaciones, desaprovechamiento de la vida útil, mayor capacidad gerencial.

2.3.3 Mantenimiento Predictivo. Se basa en predecir fallas antes de que estas sucedan. Es una forma avanzada del mantenimiento preventivo. Constituye un conjunto de acciones planeadas y programadas que se ejecutan en función de las condiciones de operación de los equipos. Se utilizan técnicas y herramientas de monitoreo, tales como, análisis de vibraciones, análisis de aceite, termografía, monitoreo de contaminantes, programas de inspección.

Ventajas: reducción del tiempo de las acciones de mantenimiento, mayor calidad de las maquinas instaladas, garantizar la seguridad y protección del medio ambiente, disminución de las paradas de planta.

Desventajas: inversión elevada, elevados costos de los equipos de análisis, contratación o capacitación del personal que va a realizar las mediciones.

2.3.4 Mantenimiento Proactivo. Mantenimiento dirigido a la detección y corrección de las causas que ocasionan el desgaste de las partes de una máquina, lo cual conlleva a la falla de la misma. Se identifican los parámetros de causas de fallas para su mantenimiento dentro los límites aceptables de operación, mediante prácticas de detección y corrección. Una vez identificada y localizada la causa que genera el desgaste, se debe detener que ésta continúe presente en la máquina, ya que automáticamente reduce la vida útil y el desempeño de la misma.

Esta técnica implementa soluciones que contrarresta la causa de los problemas no los efectos.

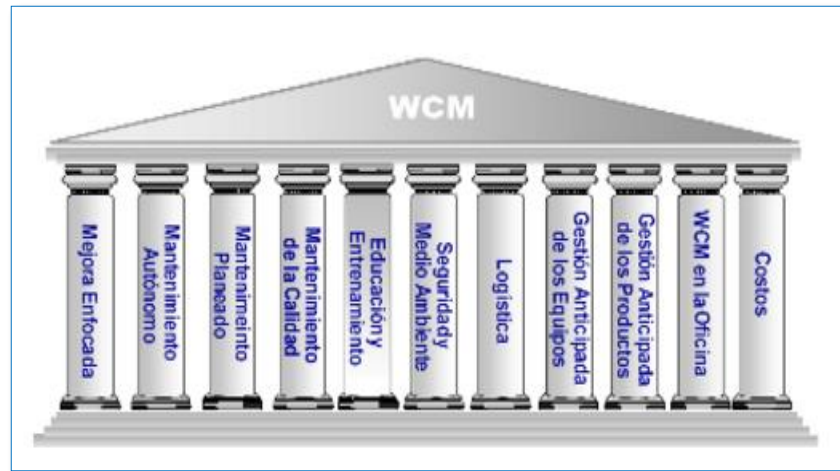
Ventajas: soluciona fallas recurrentes, aumenta el medio entre fallas y obliga a mayor capacitación del personal.

Desventajas: inversión elevada, requiere cambio en la cultura organizacional, requiere varios años para su implementación.

2.3.5 Mantenimiento de Clase Mundial. Se desarrolló en la década de los 80's para mejorar la productividad de la organización. El término World Class, mantenimiento de clase mundial WCM, engloba las estrategias utilizadas para optimizar los procesos, la calidad de los productos, mejorar los tiempos de respuesta y apunta a eliminar todo tipo de pérdidas. Reorienta toda la estrategia hacia un mantenimiento pro-activo, organizado, estandarizado en prácticas, competitivo que impulsa la extracción de las mejores capacidades de las personas.

Una organización con WCM se caracteriza por la capacidad de respuesta a los movimientos del entorno, la gestión de tecnologías para los productos y procesos, capacidades para obtener lo mejor de las personas, conocimientos amplios de mercados globales y procesos estratégicos únicos donde el modelo de negocio sirve para reforzar la posición competitiva de la empresa.

Figura 13. Templo estructural del WCM



Fuente: Templo estructural del WCM. [En línea] [Fecha de consulta: 22 mayo 2016]. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos98/mantenimiento-clase-mundial/mantenimiento-clase-mundial.shtml>

Los pilares del MCM son la base estratégica sobre la cual se cimienta la filosofía del mejoramiento continuo.

2.4 ESTÁNDARES DE TRABAJO – PLANES DE NORMALIZACIÓN

Un procedimiento es el modo de ejecutar determinadas acciones con una serie de pasos que permiten realizar un trabajo. Un estándar es un procedimiento normalizado y avalado de un trabajo, que se repite con alguna frecuencia con tiempos y recursos incluidos. Es decir, un procedimiento se puede volver o no un estándar según su aprobación y utilización.

Primero se hace un procedimiento, se prueba en el campo, se verifican sus pasos, tiempos, recursos; cuando se está satisfecho, se aprueba y lo convierten en estándar de trabajo, aplicable a uno o más trabajos similares. Un estándar es un procedimiento verificado y aprobado, para ser repetido en otros trabajos similares, donde se incluye la duración y los recursos necesarios para su correcta ejecución.

Un estándar de trabajo tiene el mismo contenido de un plan de trabajo por lo que se puede denominar un plan de trabajo normalizado¹³.

2.5 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

2.5.1 Definición del RCM. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM), se define como un método para establecer el plan de mantenimiento el cual permitirá alcanzar en forma eficiente y efectiva los requerimientos de seguridad y los niveles de disponibilidad de los equipos e instalaciones, y está dirigido al mejoramiento de la seguridad global, la disponibilidad y la economía de la operación¹⁴.

“RCM es un proceso utilizado para determinar que se debe hacer, para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”¹⁵.

¹³ ORTIZ, Daniel. Planeación operativa y programación del mantenimiento. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá, junio 2011. 22p

¹⁴ _____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá, junio 2011. 3p

¹⁵ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. 7p. ISBN: 09539603-2-3.

2.5.2 Evolución del RCM. *Reliability Centred Maintenance*, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad), es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas. Inicialmente fue desarrollada para el sector de aviación, donde los altos costos derivados de la sustitución sistemática de piezas amenazaban la rentabilidad de las compañías aéreas. Posteriormente fue trasladada al campo industrial, después de comprobarse los excelentes resultados que había dado en el campo aeronáutico.

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original. Sin embargo, el uso extendido del nombre "RCM" ha llevado al surgimiento de un gran número de metodologías de análisis de fallos que difieren significativamente del original, pero que sus autores también llaman "RCM". Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, y algunos son incluso contraproducentes. En general tratan de abreviar y resumir el proceso, lo que lleva en algunos casos a desnaturalizarlo completamente.

Como resultado de la demanda internacional por una norma que establezca unos criterios mínimos para que un proceso de análisis de fallos pueda ser llamado "RCM" surgió en 1999 la norma SAE JA 1011 y en el año 2002 la norma SAE JA 1012. No intentan ser un manual ni una guía de procedimientos, sino que

simplemente establecen, como se ha dicho, unos criterios que debe satisfacer una metodología para que pueda llamarse RCM.¹⁶

2.5.3 Objetivos del RCM. El objetivo fundamental de la implantación de un Mantenimiento Centrado en Confiabilidad o RCM en una planta industrial es aumentar la disponibilidad y disminuir costes de mantenimiento. El análisis de una planta industrial según esta metodología aporta una serie de resultados:

- ❖ Mejora la comprensión del funcionamiento de los equipos y sistemas.
- ❖ Analiza todas las posibilidades de fallo de un sistema y desarrolla mecanismos que tratan de evitarlos, ya sean producidos por causas intrínsecas al propio equipo o por actos personales.
- ❖ Determina una serie de acciones que permiten garantizar una alta disponibilidad de la planta.

Las acciones de tipo preventivo que evitan fallos y que por tanto incrementan la disponibilidad de la planta son de varios tipos:

- ❖ Tareas de mantenimiento, que agrupadas forman el Plan de Mantenimiento de una planta industrial o una instalación.
- ❖ Procedimientos operativos, tanto de producción como de mantenimiento.
- ❖ Modificaciones o mejoras posibles.
- ❖ Definición de una serie de acciones formativas realmente útiles y rentables para la empresa.
- ❖ Determinación del stock de repuesto que es deseable que permanezca en planta.

¹⁶ Norma SAE JA 1011. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016]. Disponible en: rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011

El mantenimiento centrado en confiabilidad se basa en el análisis de fallos, tanto aquellos que ya han ocurrido, como los que se están tratando de evitar con determinadas acciones preventivas, y por último contempla, aquellos que tienen cierta probabilidad de ocurrir y pueden tener consecuencias graves.

2.5.4 Filosofía del RCM. ACIEM¹⁷ en su Diplomado en Gestión de Mantenimiento expone: Está comprobado que RCM es un método “organizado y lógico”, para entregar un producto concreto: construir o modificar el plan de mantenimiento de la empresa.

Pero no solo se debe quedar en ese producto tangible. También se debe considerar como uno de los medios para hacer la gestión del conocimiento de mantenimiento, documentando las bases del plan de mantenimiento actual y de las futuras revisiones.

RCM, también tiene dentro de su filosofía la ayuda o aporte en la conservación de un balance óptimo entre el costo del mantenimiento, la confiabilidad y la disponibilidad.

Los principios más importantes de la metodología del RCM, son los siguientes:

- Buscar la preservación de las funciones.
- Priorizar técnicas predictivas y de condición.
- Enfocarse en evitar, reducir o eliminar las consecuencias.
- Orientar los esfuerzos a construir defensas costo-efectivas razonables contra fallas, permitiendo algunas fallas.
- Hacer énfasis en la búsqueda de la extensión de la vida útil del equipo.
- Resaltar el hecho de que los equipos modernos tienen múltiples formas de probabilidad de falla.

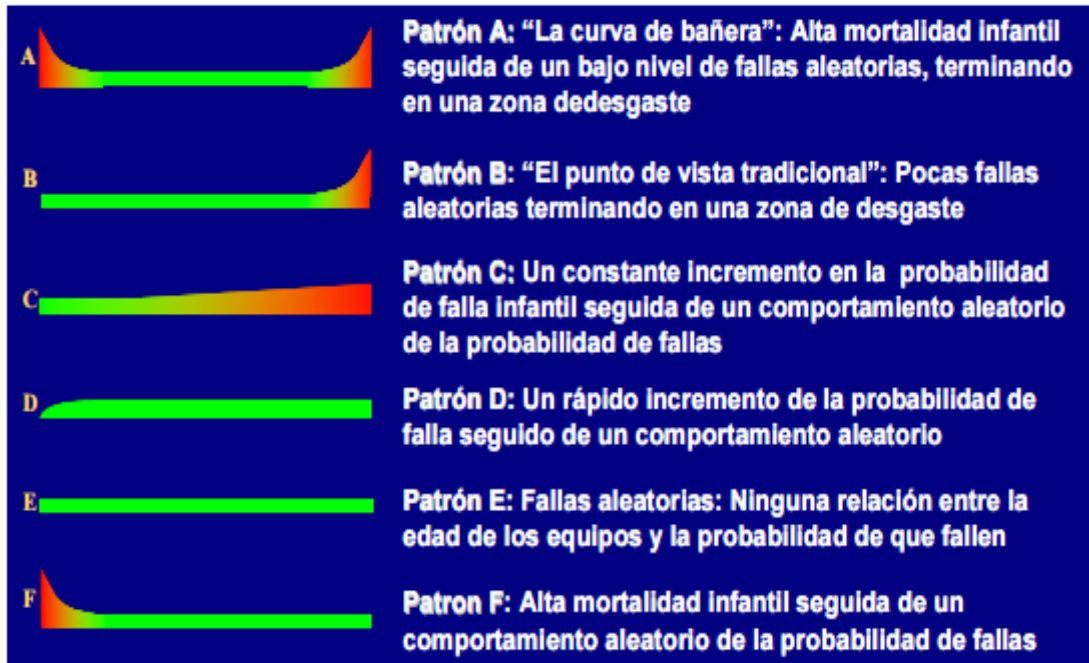
¹⁷ ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 4p

- Requerir de la disponibilidad de personas e información que permita identificar los modos de falla de los equipos y sus consecuencias.
- Incluir el tipo de mantenimiento detectivo o búsqueda de fallas, complementario a los ya conocidos, como son el preventivo, predictivo y correctivo.
- Resaltar el cuidado de la Seguridad, el Medio Ambiente, tanto o más de los costos y cualquier otro factor empresarial crítico.
- Desarrollar planes teniendo en cuenta condiciones ambientales, requerimientos de clientes y regulatorios, condiciones operativas y de mantenibilidad.
- Definir las tareas de mantenimiento con base en la visión multidisciplinaria de todos aquellos que tienen una interacción directa con los equipos y el proceso productivo.
- Las formulaciones de las políticas de mantenimiento deben darse por parte de un equipo multidisciplinario (de personas) cercano a los equipos.
- Los fabricantes de los equipos pueden ser partícipes en la construcción del plan de mantenimiento y en la realización de los talleres de RCM, pero en forma limitada.

2.5.5 Vida Útil y Desgaste. ¿Cuál es la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo? Tradicionalmente se pensaba que la relación era bien simple: a medida que el equipo es más viejo, es más probable que falle. Sin embargo, estudios realizados en distintas industrias muestran que la relación entre la probabilidad de falla y el tiempo u horas de operación es mucho más compleja. No existen uno o dos patrones de falla, sino que existen 6 patrones de falla distintos, como se muestra en el informe original de Nowlan & Heap.¹⁸

¹⁸ Patrones de falla en función del tiempo. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016]. Disponible en: http://mantenimientoindustrialdeequipos.blogspot.com.co/p/blog-page_20.html

Figura 14. Patrones de falla



Fuente: Patrones de falla. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/preocupar.pdf>

2.6 MANTENIMIENTO Y EL RCM

Bermeo y Bautista¹⁹ nos dice, que los grandes diccionarios definen mantener como la acción de conservar cada cosa en su ser (Real Academia Española), causar que continúe (Oxford), o conservar en el estado existente (Webster).

Esto sugiere que “mantenimiento” significa preservar algo. Por otro lado, están de acuerdo con que modificar algo significa cambiarlo de alguna manera. Estas diferencias entre mantener y modificar tienen profundas implicaciones. Cuando nos

¹⁹ BERMEO, Nory y BAUTISTA, Manuel. Diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para una turbina de gas General Electric LM6000PC en térmicas Ecopetrol GDA, Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. pp. 74-75

disponemos a mantener algo. ¿Qué es eso que deseamos causar que continúe?, ¿Qué estado existente deseamos preservar?

La respuesta a estas preguntas es dar por hecho, que todo activo físico es puesto en funcionamiento porque alguien quiere que haga algo, en otras palabras, se espera que cumpla una función o funciones específicas. Por ende, al mantener un activo, el estado que debemos preservar es aquel en el que continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga.

Mantenimiento según RCM, asegura que los activos físicos continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan.

Los requerimientos de los usuarios van a depender de cómo y cuándo se utilice el activo (contexto operacional). Esto lleva a la siguiente definición formal de mantenimiento centrado en confiabilidad.

Un proceso utilizado para determinar los requerimientos de mantenimiento de cualquier activo físico en su contexto operacional.

A la luz de la anterior definición de mantenimiento, una definición más completa de RCM, sería: “proceso utilizado para determinar que debe hacerse para asegurar que todo activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieran que hagan en su actual contexto operacional”.

2.6.1 Beneficios del RCM. La implementación del RCM debe llevar a:

- ❖ Equipos más seguros y confiables.
- ❖ Reducciones de costos (directos e indirectos).
- ❖ Mejoras en la calidad del producto.
- ❖ Mayor cumplimiento de las normas de seguridad y medio ambiente.
- ❖ Mayor grado de confiabilidad operacional de los equipos.
- ❖ Incremento en la vida útil de los activos.

- ❖ Evitar que las fallas ocurran realizando los cambios necesarios desde la planeación, para evitar contratiempos durante la ejecución, puesta en marcha y operación.

El RCM también genera beneficios humanos, como la integración y mejora de la relación entre distintas áreas de la empresa, y principalmente entre mantenimiento y operaciones.

2.6.2 RCM: Las Siete Preguntas Básicas. Según Moubray²⁰, el proceso de RCM formula siete preguntas acerca del activo o sistema que intenta revisar:

- *¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?*
- *¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?*
- *¿Cuál es la causa de cada falla funcional?*
- *¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?*
- *¿En qué sentido es importante cada falla?*
- *¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?*
- *¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?*

La primera pregunta hace referencia a la definición de las funciones y parámetros de funcionamiento deseados, de cada activo en su contexto operacional. Se clasifican en dos clases: funciones primarias y funciones secundarias.

²⁰MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. 7p. ISBN: 09539603-2-3.

El segundo interrogante nos direcciona hacia los hechos que impiden que el activo no cumpla con los parámetros requeridos por sus usuarios. En el contexto de RCM es conocido como **fallas funcionales**; abarca fallas totales y parciales.

La tercera pregunta cuestiona los hechos dados de forma razonablemente posibles, que causan cada estado de falla, denominados **modos de falla**. Estas consideran modos de falla ocurridos en equipos similares dentro de un mismo contexto, fallas tratadas con el mantenimiento existente y fallas que no han ocurrido, pero, tienen un alto potencial de ocurrencia dentro del contexto analizado.

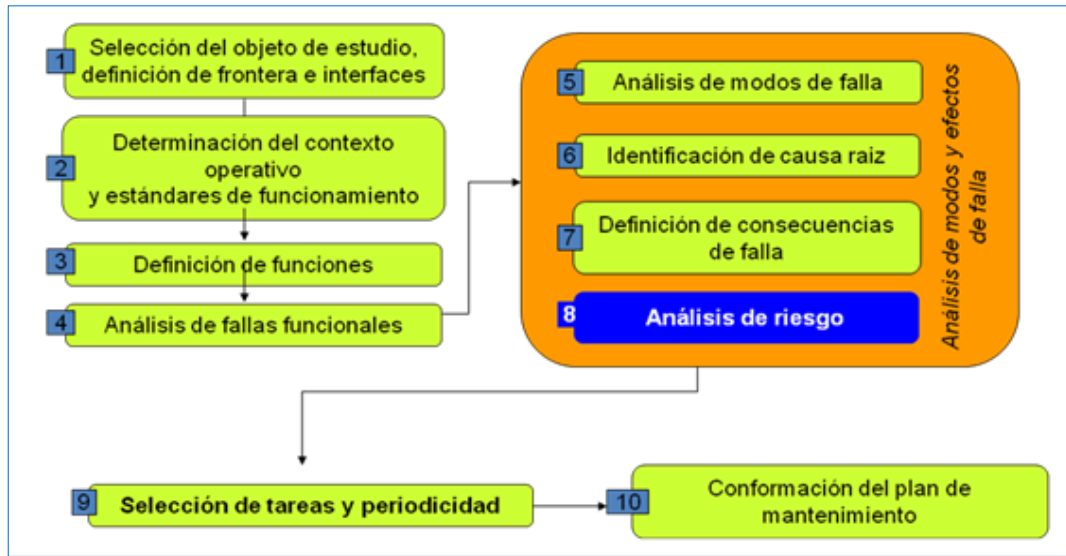
En el cuarto interrogante, se realiza una lista de los efectos e impactos que genera cada modo de falla, esto se denomina **efectos de la falla**. La mayor recolección de información es necesaria y debe ser incluida para apoyar el análisis de las consecuencias y repercusiones de la falla.

El quinto interrogante contextualiza en las **consecuencias de la falla**. Cuando una falla tiene serias consecuencias se hace lo posible para evitarla; en el caso contrario se decide en la mayoría de los escenarios, no realizar mantenimientos rutinarios. RCM define que las consecuencias de la falla son más importantes que sus características técnicas; reconoce que no es evitar la falla sino evitar o reducir las consecuencias. Las consecuencias pueden ser: de fallas ocultas, ambientales y para la seguridad, operacionales y no operacionales.

Existen diferentes técnicas para manejar la falla, estas priorizan las acciones y focaliza la atención sobre las actividades de mantenimiento que afecten en mayor medida el desempeño de la organización. Existen dos categorías: tareas proactivas y acciones a falta de. Las tareas proactivas se dividen en tres categorías: tareas de reacondicionamiento cíclicas, de sustitución cíclica y tareas a condición. Las tareas a falta de se clasifica en tres categorías: búsqueda de fallas, rediseño y ningún mantenimiento programado.

Una representación gráfica general de un diagrama de flujo del proceso RCM, es la siguiente:

Figura 15. Diagrama de flujo del proceso RCM



Fuente: MANTILLA, Enry y ORTIZ, Jonattan. Diseño del plan de mantenimiento basado en RCM para equipos de tratamiento de crudo en campo Moriche de la empresa Masarovar Energy Colombia Ltd. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. 39 p.

2.6.3 Herramientas para Implementar el RCM. El RCM se apoya en herramientas que ofrecen agilidad a la solución de problemas y mayor análisis, entre estas encontramos:

- ❖ **FMEA** (Failure Mode and Effect Analysis), Análisis de los modos de falla y efectos.
- ❖ **RCA** (Root Cause Analysis), Análisis de la causa raíz de las fallas.
- ❖ **RPN** (Risk Priority Number), Número de Riesgo Prioritario.

2.6.4 Análisis de Efectos y Modos de Falla (FEMA). Bermeo y Bautista²¹, el análisis de efectos y modos de falla es un modelo usado para priorizar los posibles efectos en base a su gravedad, frecuencia esperada y posibilidad de detección.

Un FMEA se puede ejecutar en un diseño o en un proceso, y se utiliza para producir acciones para mejorar la solidez del diseño o proceso. El FMEA destaca las debilidades del diseño o proceso actual en términos del cliente, y es un excelente medio para priorizar y organizar las iniciativas de mejoramiento continuo en áreas que ofrecen el mayor retorno.

El proceso es muy sencillo y comienza con la identificación de todos los modos de falla posibles. Este análisis se basa en la experiencia, la revisión y la lluvia de ideas, y se deben utilizar datos reales si es posible. Es posible que diseños o procesos nuevos no tengan datos históricos reales desde los cuales extraer, pero puede haber disponibles datos de “poder” desde diseños o procesos similares.

2.6.4.1 Funciones. Ortiz²², define que todos los equipos tienen funciones que cumplir dentro de cualquier proceso productivo y su pérdida puede llegar a afectar la disponibilidad con consecuencias sobre la económica, las personas o el medio ambiente.

La definición de lo que deben hacer los equipos es un punto muy importante de la metodología ya no siempre se tienen funciones iguales en equipos iguales. Cada aplicación en particular de un equipo llevará a que se tenga que desempeñar de

²¹BERMEO, Nory y BAUTISTA, Manuel. Diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para una turbina de gas General Electric LM6000PC en térmicas Ecopetrol GDA, Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. 77 p.

²² ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 11p

una manera diferente, por lo tanto, debería tener un plan de mantenimiento diferente. A título de ejemplo, si un equipo se desempeña al lado del mar, en un ambiente salino, tendrá unas tareas adicionales y diferentes a otro equipo que se desempeñe en un ambiente seco, lejos de cualquier efecto marino.

Aunque la norma IEC 60300 (Gestión de la confiabilidad y la mantenibilidad), define función como la “acción normal característica de un ítem”, esto solo indica su función principal por la cual se adquirió o por la que se identifica. Existen una serie de funciones adicionales, en casi todos los equipos, que no son de fácil apreciación pero que en la mayoría de los casos provocan que el equipo se pare para repararlo, generando en algunos casos lesiones a las personas o afectación al medio ambiente.

Las características más conocidas que definen las funciones secundarias, son:

- Usualmente son menos obvias y su falla puede tener consecuencias graves.
- Ayudan a cumplir o soportar la función principal.
- Son auxiliares.
- Soportan funciones esenciales.
- Dan contención o aislamiento.
- Protegen.
- Controlan el equipo o componentes.
- Generan datos o señales.
- Facilitan el monitoreo de condición.
- Dan aspecto.
- Aportan a la economía y eficiencia del proceso.

Para redactar una función, debe tenerse en cuenta la siguiente definición:

Verbo + Sujeto (cerrar flujo, contener fluido, transmitir señal, comprimir aire, bombear agua) + Complemento cualitativo / cuantitativo (si es necesario).

En el ejercicio del RCM, esta clasificación de funciones (primarias y secundarias) se hace a un lado y todas deberán ser analizadas por igual sin demeritar ninguna. La evaluación que se haga de los efectos y la valoración de los riesgos es la que hará que una función no sea importante y por tanto no se le genere ninguna actividad. Tener en cuenta para la definición de funciones que deben basarse en el contexto operacional, el tipo de proceso, la instalación de redundancia, los estándares de calidad, las condiciones del medio ambiente, los riesgos de seguridad, los ciclos de trabajo, los productos en proceso, la disponibilidad o confiabilidad exigida y el abastecimiento de materias primas.

2.6.4.2 Fallas Funcionales. Ortiz²³, expone que una vez definidas las funciones, pasamos a identificar la pérdida de esa función. Las características de fallas funcionales son:

- Evento real o probable, en el momento del análisis.
- Genera la pérdida de una o varias capacidades para cumplir una o varias funciones a la vez.

La pérdida de la capacidad puede ser parcial o total, dependiendo del estándar de funcionamiento definido por el usuario.

También, las fallas funcionales pueden tener varios tipos o estados:

- Cuando se da la pérdida total de la capacidad: el equipo deja de funcionar y se detiene por completo.
- Cuando se da la pérdida parcial de la capacidad: aunque sigue funcionando el desempeño no alcanza a cumplir con lo esperado.
- Cuando se da un funcionamiento erróneo: el equipo realiza otra actividad que no se tenía previsto realizar o no se deseaba que la hiciera en ese momento.

²³ ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 12p

Otra forma de clasificar las fallas funcionales es por el momento en que se presentan:

- Durante la operación continua del equipo.
- Cuando el equipo debe operar en algún momento determinado.
- Al momento de requerirse la detención del equipo.
- Cuando inicia una operación, pero no lo debiera hacer.

Como en casi todos los puntos de la metodología, la definición y redacción de las fallas funcionales tiene reglas, a saber:

- Describir qué se pierde de la función y no el porqué.
- Incluir las fallas que sean razonablemente probables al no dar mantenimiento.
- Incluir las fallas las que se han estado evitando con el mantenimiento preventivo actual.
- Excluir en la descripción el nombramiento de un componente o una pieza.
- La descripción es relativamente corta.
- La descripción debe basarse en lo definido en la función.

Al final de esta parte del ejercicio se reportarán más de una falla funcional por cada función. Si se encuentra una y solo una falla funcional, no quiere decir que esté mal, pero se deberán revisar las fronteras y las definiciones hechas porque no es muy común encontrar esta situación.

2.6.4.3 Modos de Falla. Un modo de falla es una posible causa por la cual un equipo puede llegar a un estado de falla y causar la pérdida de la función. Cada falla funcional puede tener más de un modo de falla.

Ortiz²⁴, agrega que el modo de falla es un evento o hecho “razonablemente” creíble por la cual la falla funcional se presentó o se puede presentar; razón por la cual se da la falla funcional; está referenciado sobre un elemento que falla.

Las reglas para redactar el modo de falla son las siguientes:

- La descripción del modo de falla debe tener como mínimo un sustantivo y un verbo más una descripción del mecanismo de falla.
- Evitar el uso de verbos como: falla, daño, o mal funcionamiento. Usar uno que indique la causa precisa.
- Debe facilitar la selección de tareas de mantenimiento. Este depende de la importancia operacional.
- Incluir el nombre del elemento o parte donde se presenta el evento para que posteriormente se facilite la estructuración de la tarea.

Otras consideraciones a tener en cuenta en la redacción de los modos de falla son las siguientes:

- Que se haya producido antes en el equipo o en otros equipos de iguales características en el mismo o similar contexto.
- Que ya sean objetivo de tareas de mantenimiento.
- Que se consideren razonablemente probables. Generalmente describe por qué la falla ha ocurrido.
- Razonablemente probable para generarse al no realizar el mantenimiento.
- Un técnico de mantenimiento debe ser capaz de distinguirlo.
- No confundir modo de falla con efecto o mecanismo de falla.

²⁴ ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 13p

Ante el desconocimiento de los modos de falla de un equipo, puede recurrirse a bases de datos, informes de casos similares o a la investigación de cada falla realizando los siguientes pasos:

- a. No destruir la evidencia.
- b. Documentar la evidencia.
- c. Iniciar rápidamente la investigación.
- d. Evitar las conclusiones simplistas.
- e. No centrarse solo en el punto de falla.
- f. Reproducir la evolución de la falla o accidente, utilizando evidencias objetivas, entrevistas, registros, datos, etc.

Con estos pasos se podrá establecer correctamente el modo de falla y avanzar en la construcción de barreras costo efectivas para evitar que no se vuelvan a producir o de reducir las consecuencias.

Por cada falla funcional deberán encontrarse uno o varios modos de falla, lo que significa que por cada función que desempeñe un elemento analizado podremos tener varios modos de falla. Tener un solo modo de falla por función debe generar dudas al equipo de trabajo sobre la identificación del elemento o sobre la definición de la función.

2.6.4.4 Efectos de Falla. Ortiz²⁵, Un equipo operando en condiciones particulares puede tener diferentes efectos sobre las personas, el medio ambiente, la economía y la imagen de la empresa al momento de una falla. De allí que el análisis debe ser propio para cada caso y no remitirse a ejemplos de otras industrias o empresas.

²⁵ ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. pp. 14-15.

El análisis de efectos debe iniciar con una descripción “lo más completa posible” de lo que le sucede al equipo que falla y/o a los equipos (cuando hay fallas ocultas) que están interactuando con el que presenta la falla. Se busca con esta descripción poder analizar la importancia de cada falla y determinar cuáles son los modos de falla críticos que merecen la pena una tarea de mantenimiento o un rediseño inmediato.

La descripción de los efectos de cada falla debe incluir, como mínimo:

- La evidencia de que el modo de falla se ha presentado, incluyendo si es una falla oculta la cual deberá especificarse como tal.
- Las consecuencias previsibles, creíbles y probables que, sobre las personas, el ambiente y la empresa tendrá la falla, valoradas de alguna manera. Incluir, cuando es una falla oculta, la descripción del impacto sobre todo lo que le rodea incluyendo la imagen de la empresa.
- Los daños en los equipos y la infraestructura con sus costos de reparación o restablecimiento, con los impactos directos en la producción / operación.
- Las acciones que se deben realizar para restablecer la funcionalidad.

Tener en cuenta que una falla oculta es aquella que “no es detectable por los operarios en condiciones normales de operación, si se produce por sí sola”, y son muy altas las probabilidades de fallas múltiples con consecuencias altas en aspectos de seguridad, ambiente y costos.

Cuando se dice que la descripción debe ser “lo más completa posible” para algunos puede llegar a ser lo contrario a “lo más práctico”, si no se tiene cuidado. Decir completo no quiere decir alta precisión en los valores de las consecuencias sino identificar la mayor cantidad de efectos con la magnitud del impacto definido en niveles preconcebidos, tal como se aplica en las matrices de valoración de riesgos.

Tabla 2. Ejemplo de un modelo básico de una Matriz de Valoración de Riesgos

OCURRENCIA		NIVEL DE RIESGO					
Constante	10	10	20	40	60	80	100
Frecuente	8	8	16	32	64	64	80
Moderado	6	6	12	24	36	48	60
Ocasional	4	4	8	16	32	32	40
Remoto	2	2	4	8	16	16	20
Improbable	1	1	2	4	6	8	10
		1	2	4	6	8	10
		Insignificante	Marginal	Grave	Crítico	Desastroso	Catastrófico
		CONSECUENCIA					

Fuente: ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 14p.

La valoración de los riesgos se hace con base en los datos consignados, a partir de la expresión:

$$\mathbf{RIESGO = OCURRENCIA (PROBABILIDAD) \times SEVERIDAD (CONSECUENCIAS)}$$

Los niveles de aceptación permiten decidir si con el actual nivel de riesgo estamos conformes o si tras la definición de tareas de mantenimiento la reducción del riesgo llegará a niveles aceptables o tolerables.

Tabla 3. Criterios de Aceptabilidad

CRITERIO	ACEPTABILIDAD
Aceptable	Hasta 5 %
Tolerable	Del 5 % al 15%
Inaceptable	Del 15% al 35%
Inadmisible	Más del 35%

Fuente: ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 14p.

2.6.5 RBI. Aguirre Bravo²⁶, señalan al RBI por sus siglas en inglés que significan Inspección Basada en el Riesgo (Risk Based Inspection), como un proceso de mantenimiento muy comúnmente usado en equipos estacionarios como las tuberías intercambiadores de calor, calderas y recipientes a presión de la industria del aceite y gas, examinando todo el sistema de seguridad, salud y medio ambiente (HSE Health, Safety and Environment), el riesgo del activo y la ocurrencia de la falla, con el ánimo de ponderar en la matriz de riesgo cualitativo la probabilidad de falla versus las consecuencias para la organización.

La priorización es importante al momento de realizar RBI, puesto que si todo fuese importante no habría cabida de seleccionar aquellas tareas e inspecciones con las cuales poder determinar si el equipo está trabajando en un mínimo aceptable por la

²⁶AGUIRRE, Ángela y Bravo, David. Diseño y propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la planta de asfalto de Conalvías equipos ubicada en la regional de Plato Magdalena. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015.

compañía, de esta forma se establecen aquellas tareas que si aportan valor a la organización a la hora de hacer inspecciones o mantenimientos.

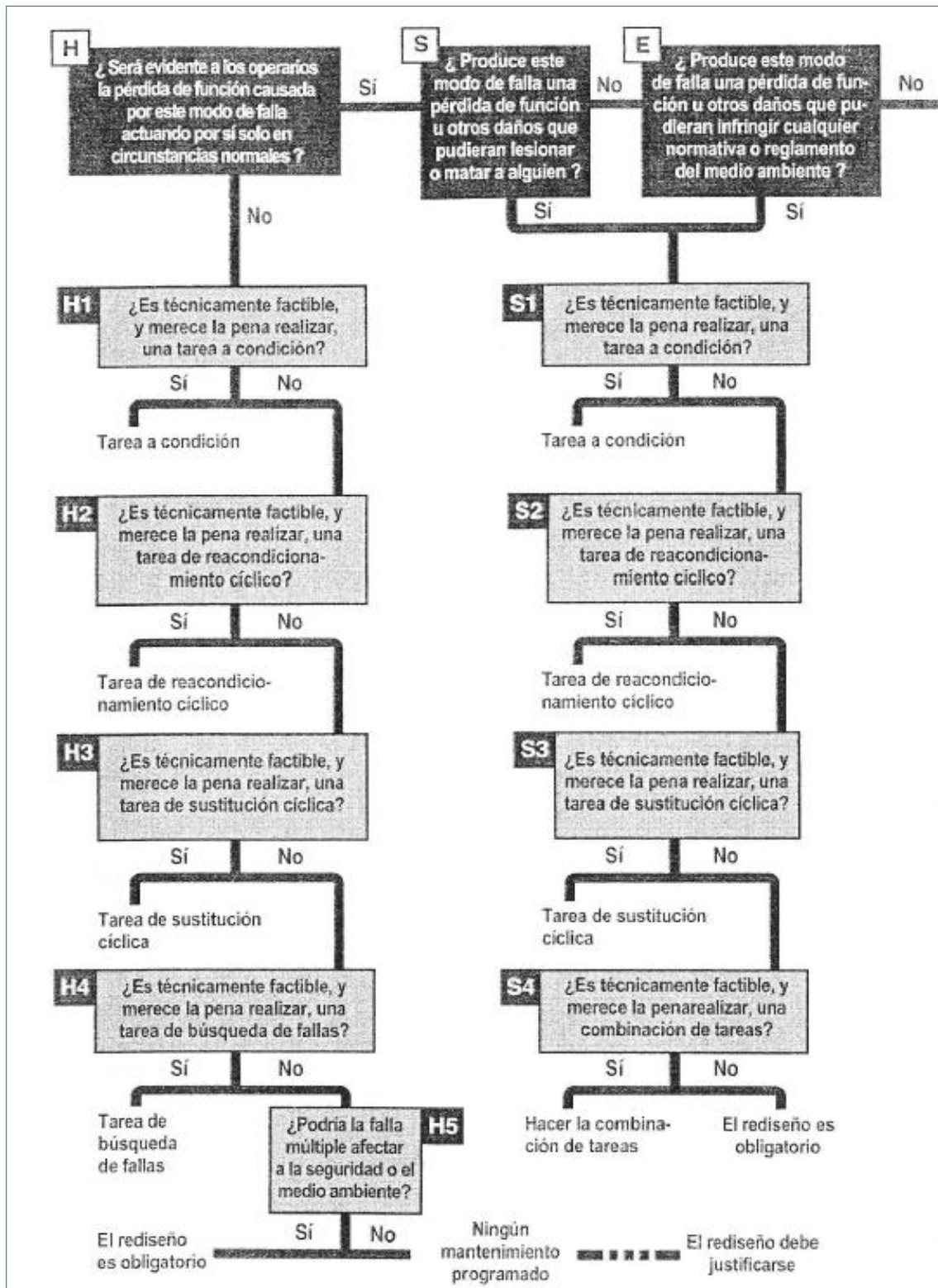
El mayor objetivo del RBI es seleccionar aquellos mantenimientos e inspecciones, que le generen valor a la organización, pero sin descuidar aquellos aspectos como lo son la seguridad y el medio ambiente, este punto lo toma Moubray y lo hace suyo para la realización y ejecución del RCM en su matriz de decisión para cada modo de falla.

2.6.6 HOJA DE DECISIÓN RCM II. Moubray²⁷. La Hoja de Decisión permite registrar las respuestas a las preguntas formuladas en el Diagrama de Decisión:

- ❖ Qué mantenimiento de rutina (si lo hay) será realizado, con qué frecuencia será realizado y quién lo hará.
- ❖ Qué fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- ❖ Casos en los que se toma una decisión deliberada de dejar que ocurran las fallas.

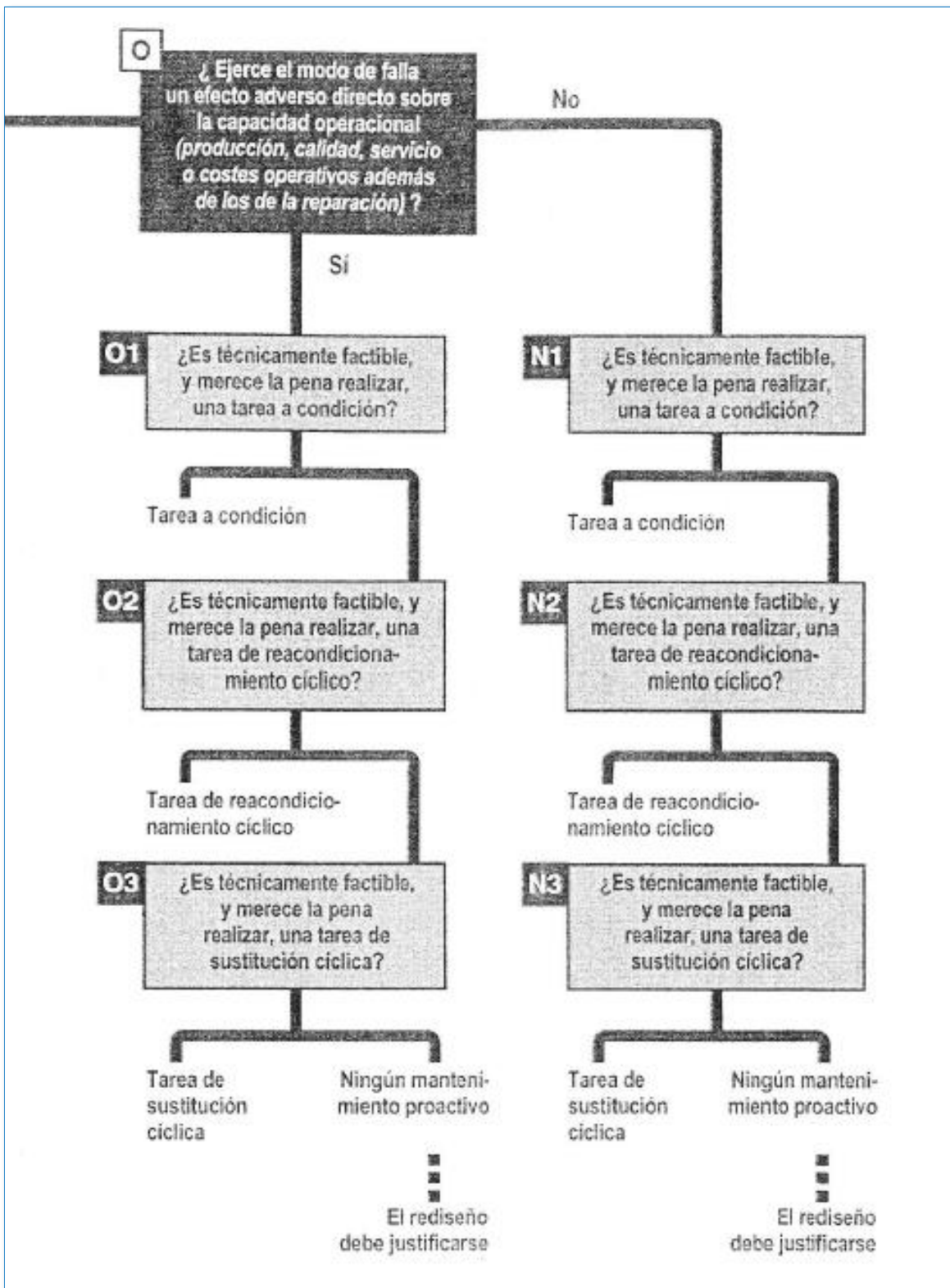
²⁷ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. 202 p. ISBN: 09539603-2-3.

Figura 16. Diagrama de decisión RCM II, parte 1



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltda., Gran Bretaña 2004. 204 p. ISBN: 09539603-2-3.

Figura 17. Diagrama de decisión RCM II, parte 2



Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltda., Gran Bretaña 2004. 205 p. ISBN: 09539603-2-3.

Los resultados obtenidos se consignan en la hoja de decisión:

Tabla 4. Hoja de decisión RCM II

HOJA DE DECISION RCM II			ELEMENTO										N°	Realizado por:	Fecha	Hoja
			COMPONENTE												Fecha	de
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"				Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				

Fuente: MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Biddles Ltda., Gran Bretaña 2004. 203 p.

Moubray²⁸. Los encabezamientos de las primeras diez columnas de la hoja de decisión se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM:

- ❖ Las columnas tituladas H, S, E, O y N, son utilizadas para registrar las respuestas a preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla.
- ❖ 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.

²⁸ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. Pp. 206 -210. ISBN: 09539603-2-3.

- ❖ Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de”, las columnas encabezadas con H4 y H5, o la S4, permiten registrar esas respuestas.

Las columnas de la octava a la décima son utilizadas para registrar si se ha seleccionado una tarea proactiva, de la siguiente manera:

Las últimas tres columnas registran la tarea que ha sido seleccionada (si la hay), la frecuencia con la que debe hacerse y el recurso necesario para realizarla. La columna de “Tarea Propuesta” también se utiliza para registrar los casos en los que se requiere rediseño o si ha decidido que el modo de falla no necesita mantenimiento programado.

La columna titulada H1/S1/O1/N1, es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea a condición apropiada para anticipar el modo de falla a tiempo como para evitar las consecuencias.

La columna titulada H2/S2/O2/N2, es utilizada para registrar si se pudo encontrar una tarea de reacondicionamiento cíclico apropiada para prevenir las fallas.

La columna titulada H3/S3/O3/N3, se utiliza para registrar si se pudo encontrar una tarea de sustitución cíclica para prevenir las fallas.

Las preguntas “a Falta de”, las columnas tituladas H4, H5 Y S4, en la hoja de decisión son utilizadas para registrar las respuestas a las tres preguntas “a falta de”.

2.6.7 Tareas de Mantenimiento. Ortiz²⁹, define que las tareas de mantenimiento con la cual se bajará el riesgo a niveles aceptables es el penúltimo gran paso del proceso completo, pero es la respuesta a las dos últimas preguntas de la metodología.

²⁹ ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. pp. 16-18.

Para la toma de decisión de la tarea que se ha de aplicar se requiere disponer, o construir si no se tiene, un diagrama o árbol de decisiones. En caso de aceptación de uno ya construida, por ejemplo, el de una norma en particular o el de una de las metodologías con derechos de autor registrados, es preciso que la empresa tenga los debidos derechos de utilización. Por experiencia, una buena práctica podría ser la aplicación de alguno de los ya diseñados, pero con las adaptaciones particulares para la empresa ya que no todas (las empresas) requieren la misma exigencia y las normas están construidas para cubrir en la medida de lo posible muchos tipos de industria.

De todos modos, tal como lo dice la metodología, independiente de la opción que se tome, el orden secuencial de prioridad para elegir una tarea es la siguiente:

1. Actividades de monitoreo de condición (predictivas en línea o condición puntual).
2. Actividades de reacondicionamiento o cambio (preventivas)
3. Actividades de detección de fallas ocultas (detectivo, en caso de que se esté trabajando sobre este tipo de fallas).
4. Actividades combinadas de las anteriormente citadas.
5. Actividades de rediseño (en caso de que el riesgo no se pueda bajar a niveles tolerables con alguna de las opciones anteriores).
6. Ninguna actividad de mantenimiento (correr a falla, cuando los riesgos son tan bajos que hasta por costos no da para ejecutar una labor de mantenimiento).

En este punto es necesario tener claridad sobre lo que representan las actividades y lo que de ellas se puede definir como un predictivo, preventivo, correctivo o detectivo. Bajo este esquema, las decisiones deben centrarse en los tipos de actividades y asignarle a cada una la frecuencia de ejecución, cuando le corresponda, y los recursos que se requiere para una confiable ejecución.

Algunos ejemplos de cada tipo de actividad son:

1. Verificar condición (como predictivo):
 - ❖ Toma de vibración en línea.
 - ❖ Toma de vibración periódica.
 - ❖ Toma de muestras para análisis de aceite.
2. Verificar condición (como búsqueda de fallas):
 - ❖ Verificar fugas.
 - ❖ Verificar estado de funcionamiento de equipos de alarma.
 - ❖ Verificar niveles de aceite.
3. Intervención (generada por un predictivo):
 - ❖ Cambios de aceite.
 - ❖ Cambios de partes.
 - ❖ Cambio de aislamiento térmico o refractario.
4. Intervención (generada por un preventivo):
 - ❖ Cambios de aceite.
 - ❖ Cambio de partes
 - ❖ Calibración de válvulas de seguridad.
5. Intervención (generada por un correctivo):
 - ❖ Cambios de partes.
 - ❖ Cambios de aceite.
 - ❖ Calibración de válvulas de seguridad.
6. Intervención (generada por una búsqueda de fallas):
 - ❖ Cambio de instrumentación local (manómetros, termómetros).
 - ❖ Cambios de válvulas de bloqueo.
 - ❖ Cambio de filtros.
 - ❖ Recuperación de niveles de aceite.
7. Ajustes (generados por un predictivo):
 - ❖ Alineación de equipos.
 - ❖ Cambios en niveles de presión y temperatura admisible de operación.
 - ❖ Reapriete de tornillería.

8. Ajustes (generados por un preventivo):

- ❖ Alineación de equipos.
- ❖ Calibración de relés.
- ❖ Recuperación de niveles.

9. Ajustes (generados por una búsqueda de fallas):

- ❖ Apriete de tornillería para corregir fugas.
- ❖ Limpieza de caras en sellos mecánicos instalados (flushing).
- ❖ Lavado de equipos.

10. Inspección invasiva (generada por un predictivo):

- ❖ Verificación de soldaduras.
- ❖ Verificación de aislamiento eléctrico en devanados.
- ❖ Medición de espesores de pared en tubos de hornos y calderas.

Para la definición de las frecuencias existe un mecanismo particular los cuales se describen así:

11. Determinación de frecuencia para monitoreo:

El conocimiento del modo de falla debe llevar a establecer la curva P-F, ver figura 18, con la cual se establecen los períodos cortos de tiempo menores al intervalo P-F.

Su construcción se puede hacer con base en:

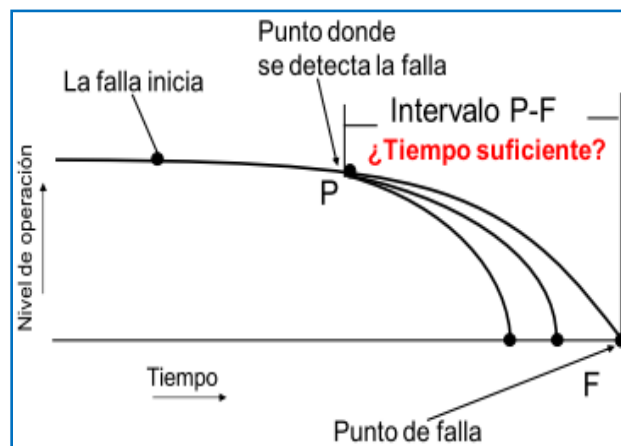
- a. La observación continúa.
- b. La definición de intervalos cortos para conocer el equipo extendiéndolos poco a poco.
- c. La definición de intervalos arbitrarios (aunque no es el más recomendado).
- d. La investigación propia o con entidades especializadas.
- e. La consulta a expertos en el tema.

12. Determinación de frecuencia para preventivos:

Dado que este tipo de actividades aplica para los casos en que la probabilidad de falla aumenta abruptamente al transcurrir un intervalo de tiempo, ese intervalo se puede determinar a partir de:

- a. La experiencia propia que se tenga sobre los equipos bajo sus condiciones ambientales y operativas.
- b. La definición de los fabricantes cuando no existe ninguna otra alternativa.
- c. La investigación con pruebas de campo.
- d. La investigación con apoyo de entidades especializadas cuando se trata de la implementación de nuevas tecnologías con las cuales se pretende aumentar los intervalos ya establecidos. En todos estos casos, es necesario contar con un muy buen registro de cada intervención que amerita el reacondicionamiento o el cambio, esto es, se requiere de un sistema de información adecuado, de un procedimiento que se aplique sistemáticamente y de personal calificado y comprometido (aptitud y actitud) con el mejoramiento.

Figura 18. Curva P-F



Fuente: ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 18p.

13. Determinación de frecuencia para búsqueda de fallas:

Para las tareas que deben desarrollar los operadores, similar a la definición de las frecuencias para el monitoreo, las frecuencias deberán estar basadas en:

- a. La observación continua y los registros de fallas que se tengan.
- b. La definición de intervalos cortos para conocer el equipo, en caso de que sean nuevos o se desconozca su comportamiento.
- c. La definición de intervalos arbitrarios.
- d. La investigación con entidades especializadas.
- e. La consulta a expertos en el tema. Por experiencia, la mayoría de estas actividades de detección de fallas son de una alta frecuencia, por turno, diaria, semanal o mensual, como máximo. Muy rara vez se les definen frecuencias bajas (semestral, anual, bianual, etc.) ya que perderían su sentido.

Para la definición del recurso o talento humano, se debe tener en cuenta la clasificación que se tenga del personal ejecutor: técnicos mecánicos, técnicos electromecánicos, técnicos electricistas, técnicos de control e instrumentación, ingenieros, etc. Otra manera de definirlos es por grupos de trabajo si esa es la condición de planeación y programación del personal de mantenimiento. Al final, todo dependerá de las definiciones del sistema de información y la forma de registrar en el mismo sistema las actividades, los tiempos y los recursos.

Por último, la definición de los materiales a utilizar corresponderá solamente a los que para el reacondicionamiento o cambio se requieran. Si se desea tener asegurada la disponibilidad de repuestos ante intervenciones originadas por los correctivos, detectivo o monitoreo, corresponderá aplicar la metodología de repuestos alineados con el riesgo y la confiabilidad.

2.6.8 Fases del proceso del RCM. La metodología en la que se basa RCM, supone ir completando una serie de fases para cada uno de los sistemas que componen la planta, a saber:³⁰

Fase 0: Codificación y listado de todos los subsistemas, equipos y elementos que componen el sistema que se está estudiando. Recopilación de esquemas, diagramas funcionales, diagramas lógicos, etc.

Fase 1: Estudio detallado del funcionamiento del sistema, listado de funciones del sistema en su conjunto, listado de funciones de cada subsistema y de cada equipo significativo integrado en cada subsistema.

Fase 2: Determinación de los fallos funcionales y fallos técnicos.

Fase 3: Determinación de los modos de fallo o causas de cada uno de los fallos encontrados en la fase anterior.

Fase 4: Estudio de las consecuencias de cada modo de fallo, clasificación de los fallos en críticos, importantes o tolerables en función de esas consecuencias.

Fase 5: Determinación de medidas preventivas que eviten o atenúen los efectos de los fallos.

Fase 6: Agrupación de las medidas preventivas en sus diferentes categorías. Elaboración del Plan de Mantenimiento, lista de mejoras, planes de formación y procedimientos de operación y de mantenimiento.

Fase 7: Puesta en marcha de las medidas preventivas.

³⁰ MORA GUTIERREZ, Alberto. Fases del Proceso RCM. En: Ponencia en clase de RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (10-11, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016. 2 p.

3. ESTRATEGIA RCM PARA PULVERIZADORES DE CARBÓN DE LA CENTRAL TERMOGUAJIRA

Una estrategia para generar un cambio de metodología en el mantenimiento aplicado a los pulverizadores de carbón de la Central Termoguajira, nace de la búsqueda de un plan de mantenimiento basado en RCM, que origine como resultado la mayor disponibilidad de los pulverizadores de carbón tratando de mantener los niveles de eficiencia dados por el fabricante. Bajo este esquema se espera que la eficiencia de los pulverizadores permanezca entre sus límites de trabajo establecidos, mejorando los tiempos de mantenimientos mayores, y el cambio de piezas.

Los mantenimientos complejos de los pulverizadores donde se intervienen todas sus partes, debido a su extenso plan de mantenimiento dado por el fabricante, genera una confiabilidad alta, con una inversión en repuesto, mano de obra calificada, y costos por indisponibilidad operativa bastante elevados. El mercado energético en constante crecimiento obliga la búsqueda un equilibrio.

Se estudian los pulverizadores de carbón, por el gran impacto que tienen estos equipos en la confiabilidad, eficiencia, y disponibilidad de las unidades de generación de TEG. Esta coyuntura, crea la oportunidad de mejora, para el diseño un plan de mantenimiento que mitigue el impacto de estos equipos en la generación de energía eléctrica, la seguridad y el medio ambiente.

3.1 SISTEMA DE CARBÓN PULVERIZADO

MHI³¹, expone que el carbón se seca, pulveriza y transporta a los quemadores por este sistema. El sistema consta básicamente de líneas de carbón sin tratar (carbón

³¹ MHI, Mitsubishi Ltda. Manual de Instrucciones, Corporación Eléctrica de la costa Atlántica, Central Termoeléctrica del Cerrejón Unidad I, Equipos de Combustión Vol. M-3 ½. 1981. pp. 18-21 [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

de alimentación), líneas de aire primario (para secado y transporte del carbón), líneas de carbón pulverizado, líneas de aire de sello (para sellado y purga), y molinos pulverizadores de carbón.

Las líneas de carbón sin tratar lo suministran a los pulverizadores de carbón. El carbón en las carboneras se suministra a los pulverizadores a través de una compuerta, una rampa, un alimentador de carbón y un conducto para el carbón.

El aire primario se toma del ducto de aire frío a la salida del ventilador de tiro forzado, y se mezcla en el ducto con aire caliente tomado de la salida del precalentador de aire, hasta una temperatura adecuada. Luego, se conduce a través de un orificio inclinado hasta el ventilador de aire primario donde se presuriza, para luego ser suministrado al pulverizador. El aire primario seca el carbón en el pulverizador, devuelve las partículas gruesas al pulverizador y transporta sólo las partículas finas de carbón a los quemadores.

Se proveen reguladores de tiro en los ductos de aire frío y caliente, uno en cada ducto, para ajustar el flujo de aire en los ductos. Cada regulador de tiro se controla automáticamente para mantener constante la temperatura del aire en la salida de cada pulverizador.

El flujo de aire primario se mide continuamente por el orificio de empuje a la entrada del pulverizador y se controla automáticamente por los álabes de entrada del ventilador de aire primario, para mantener la proporción especificada con respecto al carbón alimentado al pulverizador.

Cada ducto de aire frío y caliente está provisto con una compuerta además del regulador de tiro para cerrar el ducto en el caso de parada, mantenimiento o inspección del pulverizador.

Las líneas de carbón pulverizado comprenden la tubería de combustible con sus accesorios desde la salida del pulverizador hasta los quemadores de carbón.

Cada pulverizador tiene cuatro líneas de combustible para suministrar a cuatro quemadores localizados en la misma elevación. Cada línea de combustible está

provista con una válvula de descarga, que se usa en posición totalmente abierta en operación normal, y se cierra completamente en caso de mantenimiento o inspección del molino, o purga del pulverizador después del disparo total principal “MFT” para evitar el retroceso de gases calientes desde el hogar al pulverizador.

El aire de sello se toma del ducto de aire frío a la salida del ventilador del tiro forzado. Luego de ser presurizado por el ventilador de aire de sello, y de ser limpiado de polvo por medio de un purificador de aire, se usa para el sello de los rodamientos y las carcasas de los pulverizadores, la cámara de medición de los alimentadores de carbón, las secciones deslizantes de las tuberías de carbón sin tratar y de las tuberías de carbón pulverizado. El purificador de aire de sello es del tipo de separación mecánica, en el cual se utiliza la fuerza de inercia.

Puesto que el polvo recogido en el purificador se descarga continuamente al ducto de aire secundario, de esta manera, no existirán los problemas de taponamiento que se experimentan con filtros del tipo de elemento.

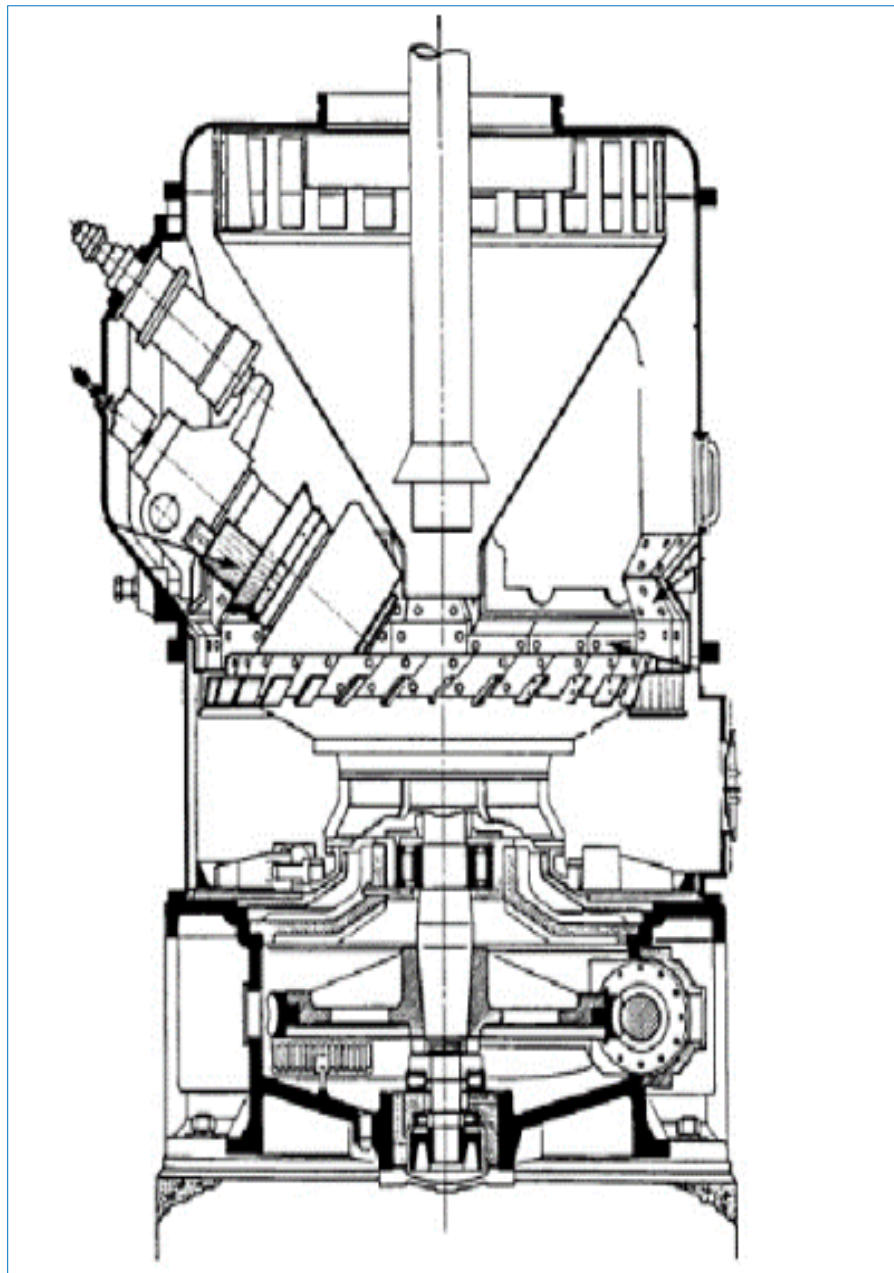
Durante operación normal, un solo ventilador de aire de sello es usualmente suficiente para el suministro de aire de sello, pero, si la presión de aire de sello desciende por debajo del nivel requerido, entonces se prende automáticamente el ventilador auxiliar.

3.2 PULVERIZADORES DE CARBÓN

MHI³², define a los pulverizadores como molinos de tazón vertical presurizado, que consiste esencialmente de una cámara de molienda con un clasificador montado encima de la misma.

³² MHI, Mitsubishi Ltda. Manual de Instrucciones, Corporación Eléctrica de la costa Atlántica, Central Termoeléctrica del Cerrejón Unidad I, Equipos de Combustión Vol. M-3 ½. 1981. pp. 21-24 [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

Figura 21. Esquema del pulverizador de carbón



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

La sección de molienda está compuesta de un tazón y tres rodillos. El tazón está asegurado al eje principal vertical y gira a una velocidad de 51.6 rpm. Los rodillos están localizados en forma igualmente espaciada en el tazón y están asegurados a la carcasa del molino por medio de cojinetes.

La superficie de molienda del tazón está revestida con segmentos de anillos de empuje (que se llamarán “anillo” de ahora en adelante), fabricados en un material resistente a la abrasión. Por su tipo de construcción el anillo posee una alta resistencia a la abrasión y es fácilmente reemplazable cuando se requiere.

El carbón entregado por el alimentador al molino es arrojado hacia la periferia contra el anillo por fuerza centrífuga donde se machaca y muele entre el anillo y los rodillos. Aunque los rodillos no poseen fuerza rotativa en sí mismos, giran sobre los cojinetes asegurados a la carcasa del molino a medida que gira el anillo de tal manera, que el carbón queda aprisionado entre los rodillos y el anillo.

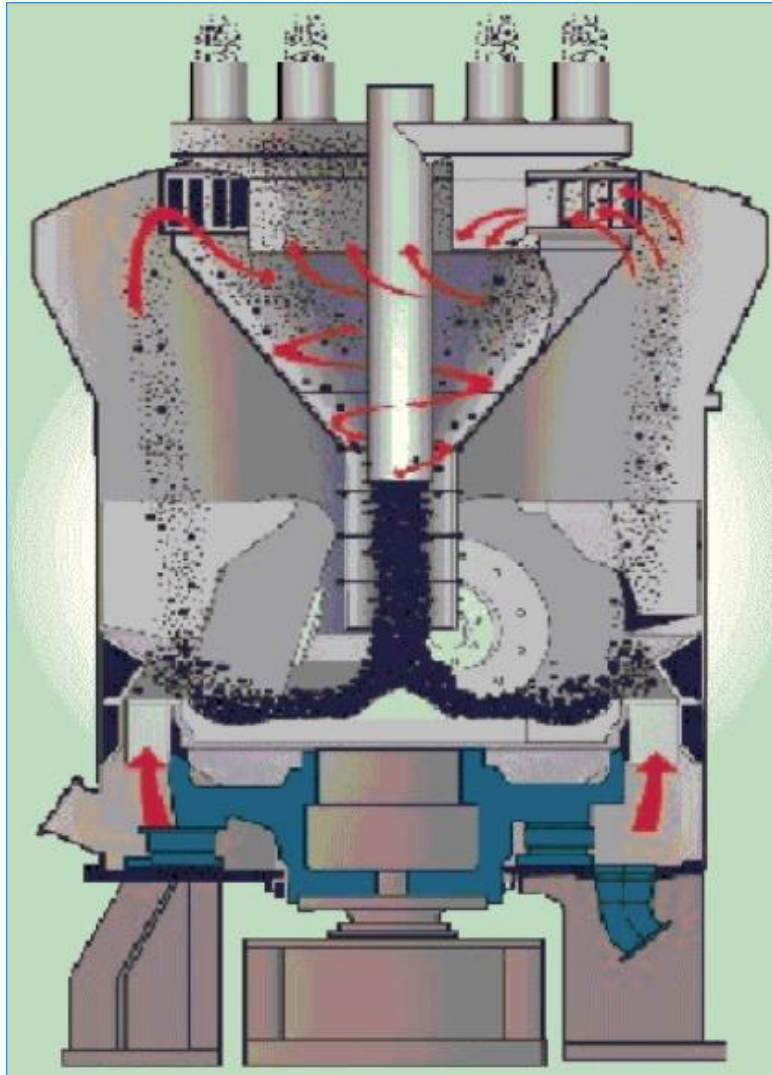
La fuerza requerida para moler el carbón la proporcionan tres resortes montados en los cojinetes. Los rodillos están puestos de tal forma que se evita contacto metal-metal al mantenerse una pequeña luz entre la superficie del rodillo y el anillo, aun cuando el pulverizador está desocupado. Debido a esta característica el pulverizador opera muy silenciosamente.

El hierro y otros materiales extraños son lanzados a través del espacio alrededor del tazón y descargados a la tolva de piritas por el raspador.

El carbón pulverizado por el anillo y los rodillos es recogido por la corriente de aire primario de alta temperatura, suministrada desde la periferia del tazón hasta el clasificador montado sobre la cámara de molienda, siendo a la vez despojados de su humedad.

La dirección de flujo de la mezcla de aire y carbón se cambia abruptamente por los álabes deflectores a la entrada del clasificador, y las partículas gruesas son separadas de la corriente y devueltas al tazón para molienda adicional. Solo las partículas finas son transportadas hacia la tubería de carbón pulverizado por el aire primario a través de cuatro tubos venturi.

Figura 20. Movimiento del carbón dentro del pulverizador



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

El grado de finura del carbón pulverizado se puede controlar según se desee ajustando la apertura de los álabes deflectores, con dos palancas localizadas en la parte superior del pulverizador.

El tornillo sinfín para el tazón está instalado en el baño de aceite bajo la cámara de piritas. Parte del aceite, del baño de aceite, se usa para lubricar y enfriar el rodamiento radial en la parte superior del eje vertical principal localizado sobre el

baño y se lleva al rodamiento mediante circulación forzada a través de una vía axial en la zona central del eje.

A pesar de que el rodamiento de empuje del eje está localizado en el baño de aceite, éste está además lubricado mediante lubricación forzada para mejorar el flujo de aceite en el rodamiento.

El aceite utilizado para la lubricación arriba descrita es tomado en su totalidad de la parte más baja del baño de aceite, en donde está instalado un enfriador por agua, para enfriar constantemente el aceite extraído para la lubricación.

La tolva de piritas provista a cada pulverizador es del tipo de desperdicio húmeda.

3.3. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN

Tabla 5. Características técnicas del pulverizador de carbón

MODLEO	723 RPB
CAPACIDAD DEL PULVERIZADOR	17.6 Ton/Hr a 22.9 Ton/Hr dependiendo de las características del carbón
NUMERO DE RODILLOS	3
TAMAÑO DEL CARBON EN BRUTO	20mm
MOTOR	300 HP A 900 RPM
TEMPERATURA DE AIRE PRIMARIO A LA SALIDA DEL PULVERIZADOR	70°C
VELOCIDAD GIRO MESA DE MOLIENDA	51.6 RPM
FABRICANTE	MITSUBISHI

Fuente: DISTRAL. Guía de operación y mantenimiento pulverizadores de carbón UII (B2), 1983.

3.3 FUNCIONAMIENTO

DISTRAL³³, sostiene que la gran mayoría de pulverizadores de carbón consta de tres rodillos toroidales igualmente espaciados que ruedan en un anillo cóncavo de molienda (Tazón). La fuerza se aplica a los rodillos desde arriba por un resorte que la carga de manera uniforme y conecta suavemente a los extremos de los rodillos. El eje principal de accionamiento gira el tazón que soporta el anillo de molienda, que transmite el movimiento de los rodillos, accionándolos hasta aproximadamente la mitad de la velocidad del anillo de molienda.

Los pulverizadores de carbón son equipos robustos utilizados para moler, secar y clasificar el carbón que va a ser quemado en caldera.

El tipo RP, tiene tres rodillos independientes que giran libremente, presionados por resortes. Los rodillos cónicos se encuentran localizado sobre el tazón, pero sin tener contacto metal – metal.

Existen tres principios básicos que se aplican en la pulverización o molienda de carbón, estos son: trituración, impacto y rozadura. Impacto es la fragmentación del carbón por una fuerza externa momentánea. La trituración se logra cuando se expone el carbón a fuerzas externas continua como una prensa o entre dos superficies. La rozadura es la molienda que ocurre entre dos superficies de carbón adyacentes. Todos los molinos de hoy en día utilizan uno o más de estos principios.

Los molinos C.E (*Combustion Engineering*) usan el principio de rozadura y trituración. Se pulveriza el carbón sometiéndolo a la fuerza que se produce entre el tazón giratorio y los tres rodillos. Como los rodillos no tocan la superficie del tazón, se produce una trituración y rozadura.

La capacidad de producción del pulverizador depende en general de tres factores: Molturabilidad (Hardgrove), contenido de humedad y la fineza.

³³ DISTRAL. Guía de operación y mantenimiento de Pulverizadores de Carbón, Corporación Eléctrica de la costa Atlántica, Central Termoeléctrica del Cerrejón Unidad II, Vol. B2. 1983. 1p.

La capacidad de cada uno de los pulverizadores es de 22.000 Kg/hr, basado en un índice de dureza de 40 en la escala Hardgrove, un contenido de humedad de 6%, y una fineza del 70% pasando por malla 200.

El índice de molturabilidad indica comparativamente la facilidad de un carbón específico de ser pulverizado. En la escala de Hardgrove, el índice 55 es el normal a partir del cual se calcula la capacidad básica o nominal. Los carbones con elevado índice de molturabilidad aumenta la capacidad de los pulverizadores. Los carbones de bajo índice de molturabilidad son más duros de moler y disminuyen la capacidad de los pulverizadores.

El contenido de humedad del carbón afecta la capacidad de pulverizador. Con carbones de alta humedad se tiende a reducir la capacidad de los pulverizadores, porque requieren más cantidad de aire primario caliente para ser secados.

La capacidad del pulverizador se ve muy afectada por la fineza requerida del carbón pulverizado. En pocas palabras, se necesita más trabajo para lograr una mayor fineza del carbón a la salida del pulverizador, por lo tanto, si el trabajo hecho por el pulverizador es constante, la producción del molino bajara si se aumenta la fineza del producto.

La fineza del carbón pulverizado se expresa por el porcentaje que pasa por el tamiz de malla 200. El método para obtener la fineza de carbón es el siguiente:

Se prepara una muestra compuesta de 50 gr de carbón pulverizado recogida a la salida de las cuatro compuertas de los ductos de salida del molino. Esta muestra se coloca arriba de una serie de tamices; el superior es de malla 50, el siguiente de malla 100 y el final de malla 200, que es el tamiza con los orificios más pequeños. Al evaluar un ensayo de tamizado, nos concentramos en el porcentaje de la muestra que ha pasado por los tres tamices después de someterse a un periodo vibratorio. Este porcentaje de 200, debe ser aproximadamente un 70% en una eficiente pulverización. Porcentajes por encima de 70 requieren un consumo mayor de potencia y el equipo se desgastaría más sin aumentar la eficiencia de la combustión.

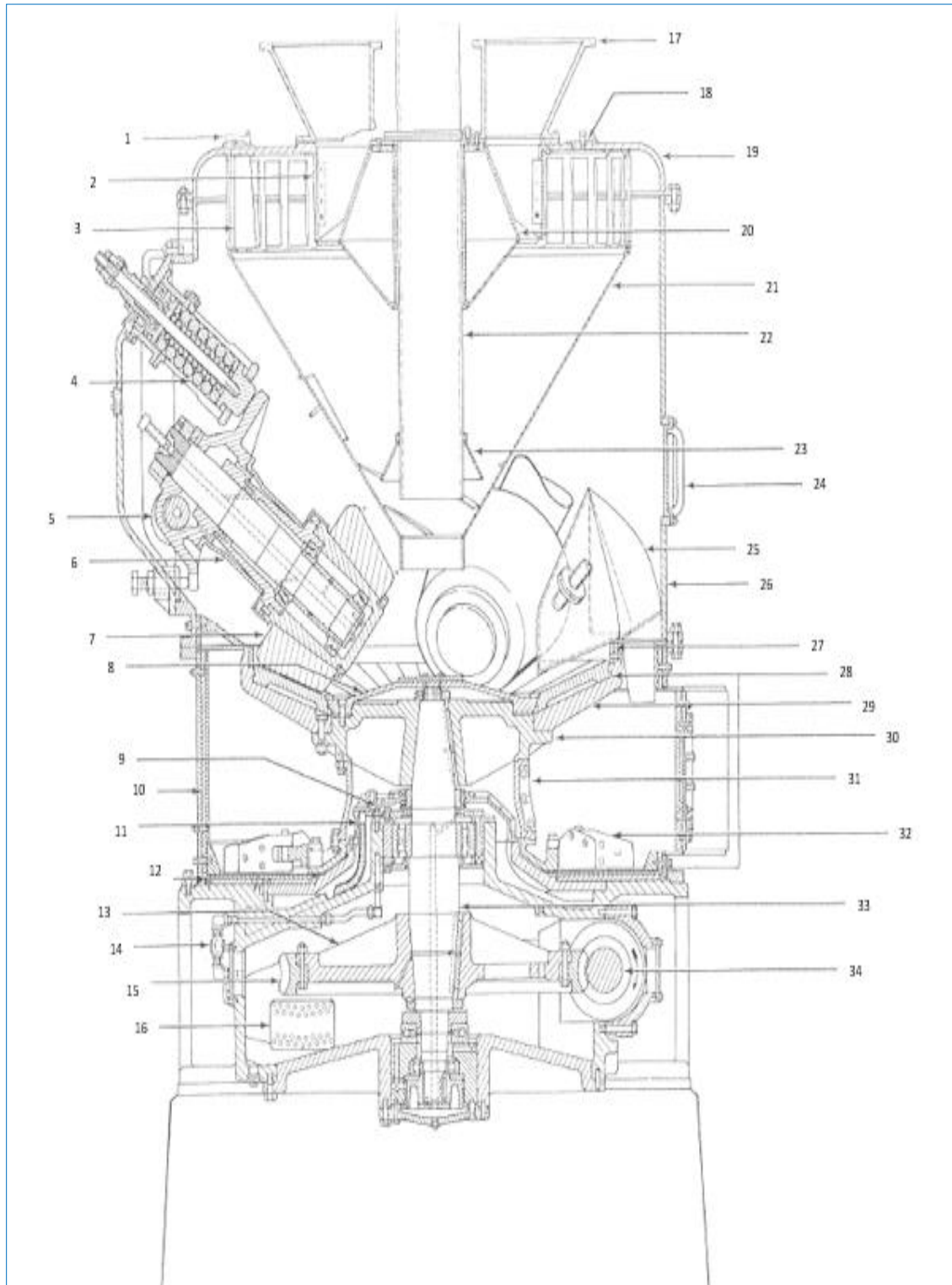
Un porcentaje por debajo del menos 200 puede resultar en mayores pérdidas de carbón y aumento del consumo de combustible.

Otro valor importante es el porcentaje de material que no pasa por la malla 50, llamado más 50. Este valor generalmente menor que uno o dos por ciento, da una indicación de las condiciones del pulverizador. Un valor alto del más 50 generalmente significa que las superficies de molienda están desgastadas, o que el molino no está bien ajustado. El material que no pasa por la malla 50 podría no quemarse completamente en el hogar, lo que aumentaría las pérdidas de carbón y se derrocharía combustible.

3.4 PARTES DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN

En la siguiente figura se muestran las diferentes partes que componen al pulverizador de carbón, objeto de estudio.

Figura 22. Partes del pulverizador de carbón



Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

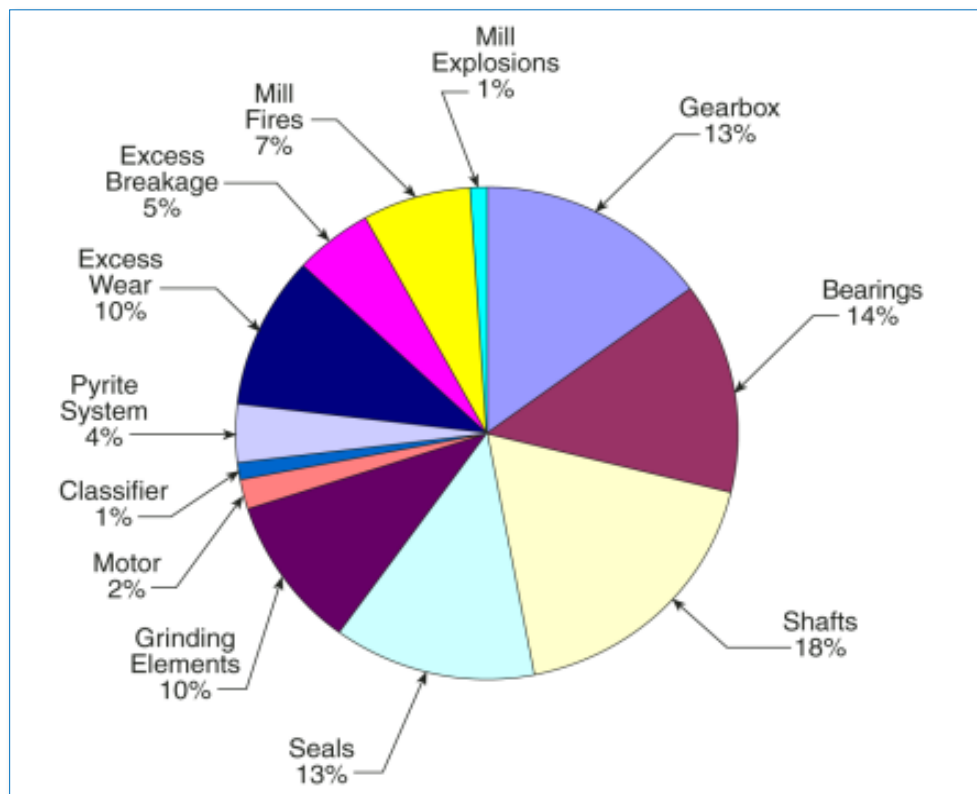
1. Regulador deflector
2. Anillo deflector
3. Deflector de la hoja
4. Resorte de presión
5. Conjunto del muñón
6. Aleta cabezal
7. Rectificado de anillo
8. Cubierta tubo tazón
9. Caja del aire de sello
10. Revestimiento inferior molino
11. Línea de aire de sello
12. Aislamiento y placa de la cubierta del conjunto
13. Caja de engranaje del tornillo sinfín.
14. Medidor de aceite
15. Engranaje del tornillo
16. Radiador de aceite
17. Conjunto salida puerto múltiple
18. Cubierta agujero de mano
19. Parte superior del separador
20. Venturi de salida
21. Cono interior
22. Tubo de alimentación central
23. Cono invertido
24. Puerta de acceso
25. Conjunto revestimiento cuerpo separador
26. Cuerpo del separador
27. Anillo extensión tazón
28. Anillo de rotación
29. Tazón
30. Centro del tazón
31. Falda centro del tazón

- 32. Raspador
- 33. Eje vertical
- 34. Eje del tornillo sinfín

3.4.1 Estadística de falla de los componentes de un Pulverizador de Carbón.

En el reporte emitido por la EPRI (Electric Power Research Institute), Component Failure and Repair Data for Coal - Fired Power Units, en octubre de 1981, se observa una estadística de falla de los componentes de un pulverizador de carbón.

Figura 19. Frecuencia de falla de los componentes del pulverizador de carbón



Fuente: EPRI (Electric Power Research Institute), Pulverizer Maintenance guide. Vol. 1. 1981. [En línea] [Fecha de consulta: 10 enero 2017]. Disponible en: <http://www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?ProductId=000000000001010443>

1. Mill fires: fuegos del pulverizador.
2. Mill explosions: explosiones del pulverizador.

3. Gearbox: caja de cambios
4. Cojinete
5. Shafts: ejes
6. Seals: sellos
7. Grinding elements: elementos de molienda
8. Motor
9. Calsificador
10. Sistema de pirita
11. Excess wear: Exceso de desgaste
12. Excess brekage: rotura excesiva

Con la anterior estadística de falla de los componentes de los pulverizadores de carbón, reporte emitido por la EPRI, tendremos un punto de partida comparativo para analizar el comportamiento de los componentes de los pulverizadores de carbón de la central Termoguajira, entre los años 2011 al 2016. Esta información se analizará en el siguiente capítulo.

4. RECOLECCION Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con el objeto de diseñar la nueva estrategia de mantenimiento para los pulverizadores de carbón de la Central Termoguajira, se realizó el levantamiento de la información a través de históricos de fallas, consultados en la base de datos del sistema de información de mantenimiento que utiliza la compañía denominado Mainsaver.

El sistema de quemado de carbón de la compañía cuenta con nueve trenes, conformados por pulverizadores de carbón, alimentadores, ventiladores, etc. Para efecto de los calculos y tratamiento de la información recolectada, se tomó una muestra de cinco pulverizadores de carbón instalados en la central.

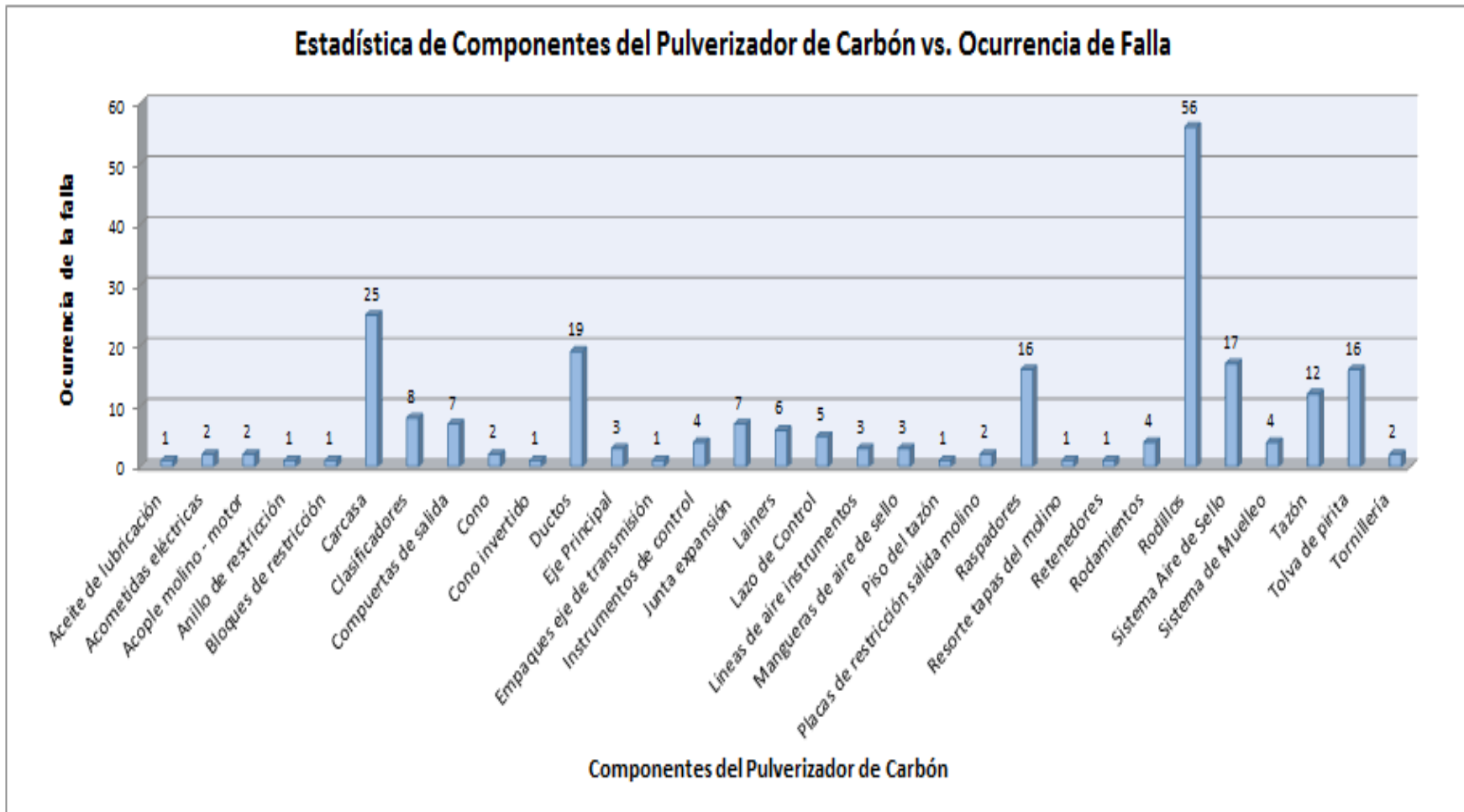
La identificación de los componentes del pulverizador de carbón con mayor frecuencia de falla y las fallas más habituales, durante un periodo de tiempo comprendido entre los años 2011 al 2016, constituyen los objetivos principales del analisis y los limites para su valoración.

La muestra se extrajo exportado, el archivo en formato Excel de la base de datos del Mainsaver (Ver Anexo A. Tratamiento de datos), contiene las tablas dinámicas, cuadro de Análisis de datos, resumen con la estadística de fallas tanto de los componentes, como las fallas de mayor ocurrencia. Los datos obtenidos se organizaron utilizando tablas dinámicas de la siguiente manera: numero de activo, tipo de trabajo, componente, trabajo requerido, falla, trabajo efectuado y fecha de ejecución. Para resumir y graficar la muestra se elaboraron dos tablas: en la primera se muestra la estadística de falla de los componenetes del pulverizador de carbón y en la segunda tabla se observa las fallas del pulverizador con mayor frecuencia de ocurrencia, durante los años 2011 al 2016.

Tabla 6. Estadística de falla de los componentes de pulverizador de carbón año 2011-2016

COMPONENTES DEL PULVERIZADOR	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Áceite de lubricación				1			1
Ácometidas eléctricas		1		1			2
Ácople molino - motor				2			2
Ánillo de restricción						1	1
Ábloques de restricción			1				1
Ácarcasa	8	6	3	5	3		25
Áclasificadores	1	1	2	2	1	1	8
Ácompuertas de salida			1		5	1	7
Ácono				1		1	2
Ácono invertido				1			1
Áductos	3	4	4	1	5	2	19
Áeje Principal				2		1	3
Áempaques eje de transmisión		1					1
Áinstrumentos de control			1	2	1		4
Ájunta expansión	1	2	2		2		7
Álainers			2	1	3		6
Álazo de Control	1	1		3			5
Álíneas de aire instrumentos		1		1	1		3
Ámangueras de aire de sello		1	1	1			3
Ápiso del tazón				1			1
Áplacas de restricción salida molino					2		2
Áraspadores	5	3	3	1	3	1	16
Áresorte tapas del molino					1		1
Áretenedores				1			1
Árodamientos		1	1	2			4
Árodillos	6	7	10	17	9	7	56
Ásistema Aire de Sello	3	2	4	4	4		17
Ásistema de Muelleo				2	1	1	4
Átazón	2			2	5	3	12
Átolva de pirita	1	4	5	5	1		16
Átornillería					2		2

Figura 20. Estadística de componentes del pulverizador de carbón vs. Ocurrencia de la falla año 2011 al 2016



Del anterior análisis, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 7. Componentes del pulverizador de carbón con mayor ocurrencia de falla año 2011 al 2016

COMPONENTES DEL PULVERIZADOR	Total
Rodillos	56
Carcasa	25
Ductos	19
Sistema Aire de Sello	17
Raspadores	16
Tolva de piritita	16
Tazón	12
Clasificadores	8
Compuertas de salida	7
Junta expansión	7
Lainers	6
Lazo de Control	5

Tabla 8. Estadística de fallas del pulverizador de carbón año 2011 al 2016

FALLAS DEL PULVERIZADOR	2011	2012	2013	2014	2015	2016	Total
Alta potencia			1				1
Alta temperatura				1			1
Alto amperaje				1			1
Apagado intempestivo				3	1		4
Avería de acometidas eléctricas				1			1
Bajo amperaje				1			1
Compuerta atascada				1	5		6
Desgaste de partes			2	1	4	1	8
Desprendimiento de partes		1					1
Ducto Taponado	2		1				3
Escape de carbón	10	8	13	15	6	1	53
Falla lazo de control				1			1
Falla para cerrar			1				1
Fuga de aceite		1		2	1		4
Fuga de aire de sello		1			2		3
Fusible mecánico averiado		2			4		6
Molienda deficiente		3	5	7	4	1	20
Molino taponado	1		3	5	5		14
Lectura anormal de parámetros			1	2		1	4
Lineas de aire instrumentos averiadas		1		2			3
Parada por rotura	1	3					4
Parámetro fuera de rango	1	3	1	5	3	4	17
Rotura	2	1		3	3	1	10
Ruido anormal	5	1	2	2	6	2	18
Tolva de piritita taponada		2	5	1	1		9
Vibraciones		1					1

Figura 21. Estadística de fallas del pulverizador de carbón vs. Ocurrencia de la falla

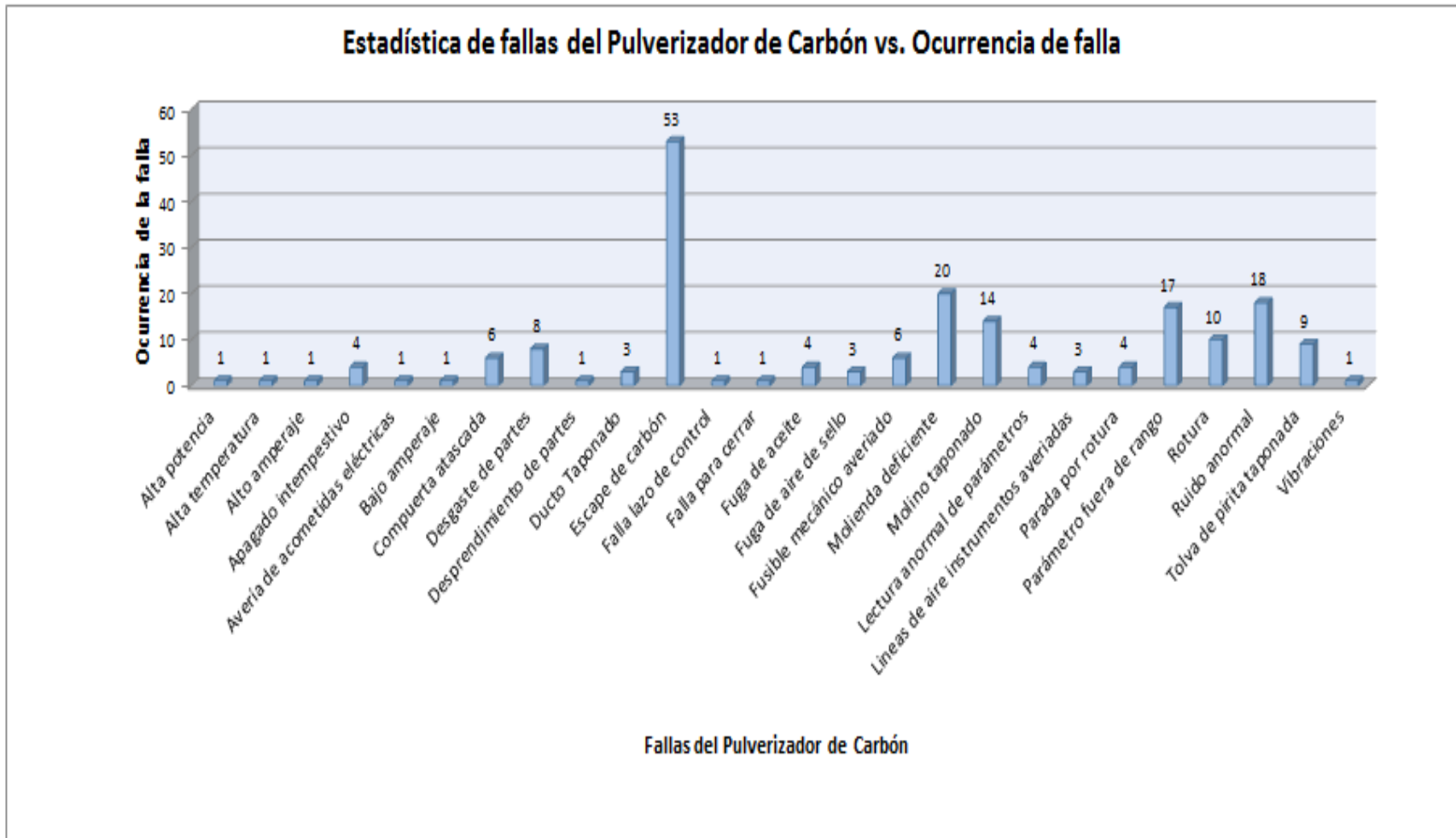


Tabla 9. Fallas del pulverizador de carbón de mayor ocurrencia año 2011 al 2016

ESTADÍSTICA DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN DE MAYOR OCURRENCIA	
FALLAS DEL PULVERIZADOR	Total
Escape de carbón	53
Molienda deficiente	20
Ruido anormal	18
Parámetro fuera de rango	17
Molino taponado	14
Rotura	10
Tolva de piritita taponada	9
Desgaste de partes	8
Compuerta atascada	6
Fusible mecánico averiado	6

5. MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO BASADO EN RCM

5.1 METODO DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD

González y Bohórquez³⁴, para realizar el análisis de criticidad se debe:

- ❖ Identificar los equipos.
- ❖ Definir el nivel de detalle y el objetivo del análisis.
- ❖ Recolectar información de los equipos.
- ❖ Consultar el personal relacionado con los equipos.

El análisis de criticidad genera resultados semicuantitativos, basados en la teoría del riesgo:

Criticidad = *Frecuencia x Consecuencia.*

Frecuencia = *No. de fallas en un tiempo determinado.*

Consecuencia = *[(Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costos de mantenimiento + Impacto SAH].*

5.1.1 Criterios de evaluación de criticidad. A continuación, se presentan cada uno de los ítems utilizados para evaluar la criticidad del pulverizador de carbón.

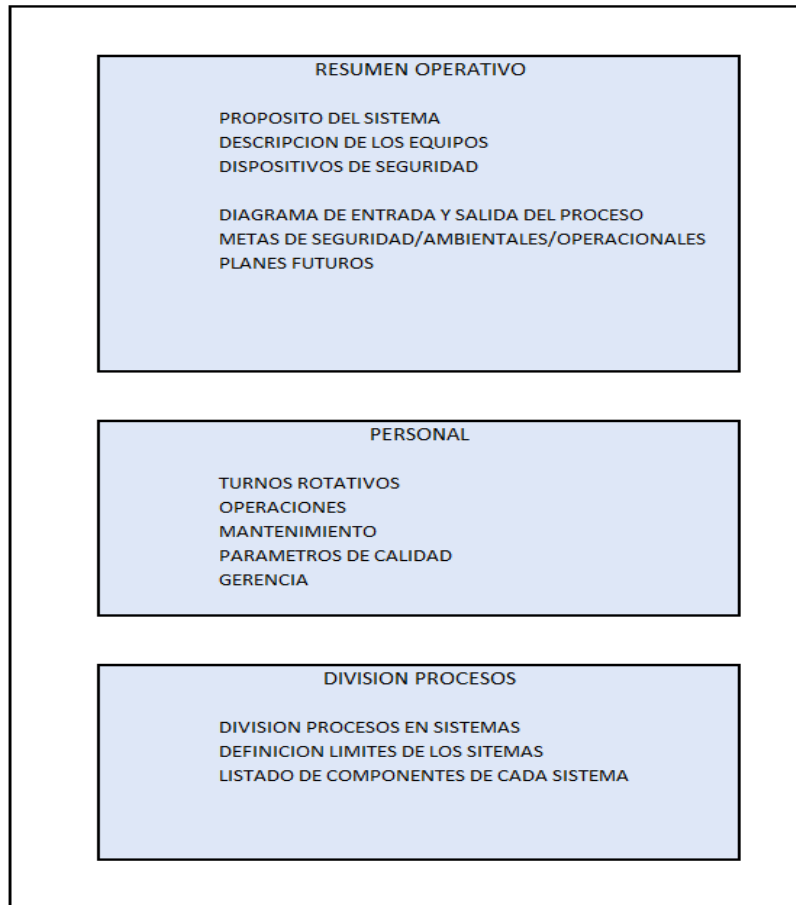
³⁴ GONZÁLEZ, Andrea y BOHÓRQUEZ, Daniel. Propuesta del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la operación de un taladro de perforación de una empresa del sector minero en Antioquia. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. 44 p.

Tabla 10. Criterios de evaluación de la criticidad

IMPACTO OPERACIONAL				VALOR
PERDIDA DE TODO EL DESPACHO				10
PARADA DEL SISTEMA O SUBSISTEMA CON REPERCUSSION A OTROS SISTEMAS				7
IMPACTA EN NIVELES DE INVENTARIO O CALIDAD				4
NO GENERA NINGUN EFECTO SIGNIFICATIVO SOBRE OPERACIONES Y PRODUCCION				1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL				VALOR
NO EXISTE OPCION DE PRODUCCION Y NO HAY FUNCION DE REPUESTO				4
HAY OPCION DE REPUESTO COMPARTIDO/ALMACEN				2
FUNCION DE REPUESTO DISPONIBLE				1
COSTO DE MANTENIMIENTO				VALOR
	MAYOR O IGUAL A:	\$20.000		2
	INFERIOR A:	\$20.000		1
IMPACTO EN SEGURIDAD - AMBIENTE - HIGIENE "SAH"				VALOR
AFECTA LA SEGURIDAD HUMANA TANTO EXTERNA COMO INTERNA Y REQUIERE LA NOTIFICACION A ENTES EXTERNOS DE LA ORGANIZACIÓN				8
AFECTA EL AMBIENTE/INSTALACIONES				7
AFECTA LAS INSTALACIONES CAUSANDO DAÑOS SEVEROS				5
PROVOCA DAÑOS MENORES (AMBIENTE - SEGURIDAD)				3
NO PROVOCA NINGUN TIPO DE DAÑOS A PERSONAS, INSTALACIONES O AL AMBIENTE.				1
FRECUENCIA DE FALLAS				VALOR
POBRE	MAYOR A:	2	FALLAS/AÑO	4
PROMEDIO	ENTRE:	1 Y 2	FALLAS/AÑO	3
BUENA	ENTRE:	0.5 Y 1	FALLAS/AÑO	2
EXCELENTE	MENOS QUE:	0,5	FALLAS/AÑO	1
EVALUACION DE CRITICIDAD				VALOR
CRITICIDAD TOTAL	FRECUENCIA DE FALLAS x CONCECUENCIAS	2	FALLAS/AÑO	4
PROMEDIO	ENTRE:	1 Y 2	FALLAS/AÑO	3
BUENA	ENTRE:	0.5 Y 1	FALLAS/AÑO	2
EXCELENTE	MENOS QUE:	0,5	FALLAS/AÑO	1
EVALUACION DE CRITICIDAD				VALOR
CRITICIDAD TOTAL	FRECUENCIA DE FALLAS x CONCECUENCIAS			
CONCECUENCIAS	((IMPACTO OPERACIONAL x FLEXIBILIDAD) + COSTO DE MTTO + IMPACTO "SAH")			

Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales o de servicios. Medellín: AMG. 2005. 277 p.

Tabla 11. Desarrollo contexto operacional



Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas de industriales o de servicios. Medellín: AMG. 2005. 277 p.

5.1.2 Aplicación del análisis de criticidad de los componentes del pulverizador de carbón. El sistema de quemado de carbón de la Central Termoguajira, está conformado por nueve trenes de quemado, cinco operan en la unidad 1 y cuatro en la unidad 2. En la tabla no. 12 se observan los componentes y elementos que conforman al pulverizador de carbón.

Tabla 12. Elementos y componentes del pulverizador de carbón, parte I

ITEM	COMPONENTES	ELEMENTOS
1	Aire primario para la combustión	Ductos
		Ventiladores
2	Aire de sello	Ductos
		Mangueras flexibles
		Válvula de corte
		Ventiladores
3	Clasificadores	Brazo ecualizador
		Compuertas
		Eje principal
		Manhol
		Retenedores
4	Compuertas de descarga a quemadores	Asiento fijo
		Brazos
		Bloques de restricción
		Carcasa
5	Eje Principal	Camisas de desgaste
		Cojinete de empuje
		Eje principal
		Empaque de sello (laminillas bronce/asbesto)
		Retenedores
		Rodamiento Axial
		Rodamiento Radial
6	Lazo de control	CD-106 Control dâmpert temperatura molino
		CV-343 Válvula de control aire de sello molino
		EP-110 Convertidor dâmpert ventilador temperatura molino
		LI-102 Nivel aceite engranaje molino
		LS-110 Bajo nivel tanque de aceite molino
		LS-111 Alto nivel tolva de pirita
		LX-200 Transmisor nivel tolva alimentación molino
		MS-101 Potencia anormal molino
		PS-133 Presión normal aire debajo del tazón
		PS-132 Enclavamiento anormal bajo aire tazon molino
		PX-121 Presión diferencial tazón molino
		PX-122 Presión diferencial hogar molino
		PX-123 Presión parte inferior molino
		SV-126 Válvula solenoide entrada tolva pirita
		SV-127 Válvula solenoide descarga tolva pirita
		SV-128 Válvula solenoide dâmpert salida molino
		SV-129 Válvula solenoide dâmpert aire caliente molino
		SV-202 Válvula solenoide dâmpert caja de viento
		SV-203 Válvula solenoide dâmpert caja de viento
		SV-343 Válvula solenoide sello molino
		SV- 346 Válvula solenoide sello tolva pirita
		TE-311 Temperatura salida molino
TE-312 Temperatura salida molino		
TE-315 Temperatura parte interna molino		
TE-410 Temperatura cojinete motor molino		
TE-411-1 Temperatura cojinetes superior molino		
TE-411-2 Temperatura cojinetes inferior molino		

Tabla 13. Elementos y componentes del pulverizador de carbón, parte II

ITEM	COMPONENTES	ELEMENTOS
6	Lazo de control	TE-412-1 Temperatura cojinete eje parte derecha
		TE-412-2 Temperatura cojinete parte izquierda
		TE-413 Temperatura aceite engranaje molino
		TE-413 Temperatura aceite engranaje molino
		TI-102 Temperatura aceite engranaje molino
		TS-101 Suiche de temperatura salida molino
7	Motor	Aceite
		Acople
		Anillo de lubricación
		Cámara de refrigeración
		Cojinetes (de BABY)
		Motor
	Sensores de temperatura (TE)	
8	Raspadores	Bloques laterales
		Guayas
		Manhol
		Laminas deflectoras de aire
		Piso (placas de desgaste)
		Soportes de las guayas
9	Rodillo	Aceite
		Buje separador
		Camisas de desgaste
		Carcasa aire de sello
		Conjunto del muñón
		Cono
		Eje principal
		Lainas de calibración
		Retenedores
		Rodamiento inferior
		Rodillo
		Rodamiento superior
		Tuerca superior del eje
		Carcasa aire de sello
Conjunto del Muñón		
		Cono
10	Sinfín	Acople
		Eje del tornillo sinfín
		Resortes
		Rodamiento
		Sello mecánico o preñe
		Tuerca de ajuste de los rodamientos
11	Sistema de lubricación	Bomba de lubricación
		Filtros de aceite
		Manómetros de presión
		Motor
		Válvula de seguridad
		Válvula de corte
		Sensor de temperatura
		Filtros de aceite (2)
		Manómetros de presión
		Motor
12	Sistema Muelleo	Anillo
		Anillo de seguridad
		Cabezote
		Contratuerca
		Cubierta del resorte
		Eje

5.1.3 Desarrollo del análisis de criticidad. Para el desarrollo del análisis de criticidad del pulverizador de carbón, la metodología utilizada fue la basada en la teoría del riesgo.

En las siguientes tablas, se muestran los resultados obtenidos del análisis de criticidad, de acuerdo a los factores considerados impacto operacional, flexibilidad operacional, costo de mantenimiento, seguridad, ambiente e higiene y frecuencia de fallas, y el criterio de evaluación de Críticos (C), Semi críticos (SN), No Críticos (NC). Para mejor visualización de las tablas y el grafico de resultado obtenidos ver Anexo B.

Tabla 14. Hoja 1, Resultados del análisis de criticidad

ANÁLISIS DE CRITICIDAD EQUIPOS ASOCIADOS A LOS PULVERIZADORES DE CARBÓN DE LA CENTRAL TERMOGUAJIRA TEG GECELCA S.A. E.S.P.										
ÍTEM	COMPONENTES	ELEMENTOS	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MTTTO	IMPACTO SEGURIDAD - AMBIENTE - HIEGEN- SAH	CONSECUENCIAS	RIESGO TOTAL	CRITERIO
1	Aire primario para la combustión	Ductos	2	4	2	1	3	12	24	SC
2		Ventiladores	2	7	2	1	3	18	36	C
3	Aire de sello	Ductos	2	4	2	1	3	12	24	SC
4		Mangueras flexibles	3	4	1	1	3	8	24	SC
5		Ventiladores	2	4	2	1	3	12	24	SC
6		Válvula de corte	3	1	1	1	1	3	9	NC
7	Clasificadores	Brazo equalizador	1	1	2	1	1	4	4	NC
8		Compuertas	2	4	2	1	3	12	24	SC
9		Eje principal	1	1	1	1	1	3	3	NC
10		Manhol	1	1	1	1	3	5	5	NC
11		Retenedores	2	1	1	1	3	5	10	NC
12	Compuertas de descarga a quemadores	Asiento fijo	1	4	2	1	3	12	12	NC
13		Brazos	1	4	2	1	3	12	12	NC
14		Bloques de restricción	1	4	4	1	3	20	20	SC
15		Carcasa	4	7	2	1	5	20	80	C
16		Compuertas	3	4	2	1	3	12	36	C
17		Pasadores	1	1	1	1	1	3	3	NC
18		Pistones neumáticos	3	4	1	1	3	8	24	SC
19	Corona	Dientes	1	10	4	2	3	45	45	C
20		Aceite	1	4	2	1	5	14	14	SC
21	Eje Vertical	Camisas de desgaste	1	7	4	1	3	32	32	SC
22		Cojinete de empuje	2	7	2	1	3	18	36	C
23		Eje principal (vertical)	1	10	4	2	5	47	47	C
24		Empaque de sello (laminillas bronce/asbesto)	2	7	2	1	3	18	36	C
25		Retenedores	2	7	2	1	1	16	32	SC
26		Rodamiento Axial	1	7	2	1	3	18	18	SC
27		Rodamiento Radial	1	7	2	1	3	18	18	SC
28		Tuercas para ajuste de la corona	1	1	2	1	3	6	6	NC

Tabla 15. Hoja 2, Resultados del análisis de criticidad

ÍTEM	COMPONENTES	ELEMENTOS	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MTTO	IMPACTO SEGURIDAD - AMBIENTE - HIEGEN- SAH	CONSECUENCIAS	RIESGO TOTAL	CRITERIO	
29	Lazo de control	CD-106 Control damper temperatura molino	1	4	2	1	3	12	12	NC	
30		CV-343 Válvula de control aire de sello molino	1	4	2	1	3	12	12	NC	
31		EP-110 Convertidor damper ventilador temperatura molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
32		LI-102 Nivel aceite engranaje molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
33		LS-110 Bajo nivel tanque de aceite molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
34		LS-111 Alto nivel tolva de pirita	1	4	1	1	1	6	6	NC	
35		LX-200 Transmisor nivel tolva alimentación molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
36		PS-133 Presión normal aire debajo del tazón	1	4	1	1	1	6	6	NC	
37		PS-132 Enclavamiento anormal bajo aire tazón molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
38		PX-121 Presión diferencial tazón molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
39		PX-122 Presión diferencial hogar molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
40		PX-123 Presión parte inferior molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
41		SV-126 Válvula solenoide entrada tolva pirita	1	4	1	1	1	6	6	NC	
42		SV-127 Válvula solenoide descarga tolva pirita	1	4	1	1	1	6	6	NC	
43		SV-128 Válvula solenoide damper salida molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
44		SV-129 Válvula solenoide damper aire caliente molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
45		SV-202 Válvula solenoide damper caja de viento	1	4	1	1	1	6	6	NC	
46		SV-203 Válvula solenoide damper caja de viento	1	4	1	1	1	6	6	NC	
47		SV-343 Válvula solenoide sello molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
48		SV-346 Válvula solenoide sello tolva pirita	1	4	1	1	1	6	6	NC	
49		TE-311 Temperatura salida molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
50		TE-312 Temperatura salida molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
51		TE-315 Temperatura parte interna molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
52		TE-410 Temperatura cojinete motor molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
53		TE-411-1 Temperatura cojinete superior molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
54		TE-411-2 Temperatura cojinete inferior molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
55		TE-412-1 Temperatura cojinete eje parte derecha	1	4	1	1	1	6	6	NC	
56		TE-412-2 Temperatura cojinete parte izquierda	1	4	1	1	1	6	6	NC	
57		TE-413 Temperatura aceite engranaje molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
58		TI-102 Temperatura aceite engranaje molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
59		TS-101 Suiche de temperatura salida molino	1	4	1	1	1	6	6	NC	
60		Motor	Aceite	1	7	2	1	5	20	20	SC
61			Acople	1	7	2	1	3	18	18	SC
62	Anillo de lubricación		1	7	4	1	3	32	32	SC	
63	Cámara de refrigeración		1	7	2	1	3	18	18	SC	
64	Cojinetes (de BABY)		1	7	4	1	3	32	32	SC	
65	Devanado		1	7	4	1	3	32	32	SC	
66	Motor		1	10	4	2	7	49	49	C	
67	Sensores de temperatura (TE)		1	4	1	1	1	6	6	NC	
68	Rotor		1	7	4	1	3	32	32	SC	

Tabla 16. Hoja 3, Resultados del análisis de criticidad

ÍTEM	COMPONENTES	ELEMENTOS	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MTTTO	IMPACTO SEGURIDAD - AMBIENTE - HIEGEN - SAH	CONSECUENCIAS	RIESGO TOTAL	CRITERIO
69	Raspadores	Bloques laterales	1	4	4	1	3	20	20	SC
70		Guayas	4	7	2	1	3	18	72	C
71		Manhol	1	4	1	1	3	8	8	NC
72		Laminas deflectoras de aire	1	4	2	1	3	12	12	NC
73		Piso (placas de desgaste)	1	4	4	1	3	20	20	SC
74		Soportes de las guayas	1	4	1	1	3	8	8	NC
75	Rodillos	Aceite	1	7	2	1	5	20	20	SC
76		Buje separador	1	4	2	1	1	10	10	NC
77		Camisas de desgaste	1	1	2	1	1	4	4	NC
78		Carcasa aire de sello	3	7	2	1	3	18	54	C
79		Conjunto del Muñón	2	7	4	1	3	32	64	C
80		Cono	3	7	2	1	3	18	54	C
81		Eje principal	4	4	2	1	3	12	48	C
82		Lainas de calibración	1	1	4	1	1	6	6	NC
83		Retenedores	4	7	2	1	3	18	72	C
84		Rodamiento inferior	4	7	2	1	3	18	72	C
85		Rodamiento superior	4	7	2	1	3	18	72	C
86		Rodillo	2	7	4	1	3	32	64	C
87		Tuerca inferior del eje	1	1	1	1	1	3	3	NC
88		Tuerca superior del eje	1	1	1	1	1	3	3	NC
89	Sífin	Acople	4	7	2	1	3	18	72	C
90		Eje del tornillo sinfín	1	10	2	2	3	25	25	SC
91		Resortes	1	10	4	1	1	42	42	C
92		Rodamientos	1	7	2	1	3	18	18	SC
93		Sello mecánico o preñse	2	7	2	1	3	18	36	C
94		Tuerca de ajuste de los rodamientos	1	1	1	1	1	3	3	NC
95	Sistema de lubricación	Bomba de lubricación	1	7	2	1	3	18	18	SC
96		Filtro de aceite (2)	1	4	2	1	3	12	12	NC
97		Manómetros de presión	1	1	2	1	1	4	4	NC
98		Motor	1	7	4	1	1	30	30	SC
99		Válvula de seguridad	1	4	2	1	1	10	10	NC
100		Válvula de corte	2	1	1	1	1	3	6	NC
101	Swiche de temperatura	1	1	4	1	1	6	6	NC	

Tabla 17. Hoja 4, Resultados del análisis de criticidad

ÍTEM	COMPONENTES	ELEMENTOS	FRECUENCIA	IMPACTO OPERACIONAL	FLEXIBILIDAD	COSTOS DE MTTD	IMPACTO SEGURIDAD - AMBIENTE - HIEGEN- SAH	CONSECUENCIAS	RIESGO TOTAL	CRITERIO
102	Sistema Muelleo	Anillo	1	1	4	1	1	6	6	NC
103		Anillo de seguridad	1	1	4	1	1	6	6	NC
104		Cabezote	1	4	4	1	1	18	18	SC
105		Contratuercas	1	1	1	1	1	3	3	NC
106		Cubierta del resorte	1	7	4	1	1	30	30	SC
107		Eje	4	4	2	1	3	12	48	C
108		Pistón	1	4	4	1	1	18	18	SC
109		Resorte interior	1	4	4	1	1	18	18	SC
110		Resorte exterior	1	4	4	1	1	18	18	SC
111		Rodamiento Axial	3	4	2	1	1	10	30	SC
112		Rodamiento Radial	3	4	2	1	1	10	30	SC
113		Tornillo que desplaza al resorte	1	1	1	1	1	3	3	NC
114		Tuerca	1	4	4	1	1	18	18	SC
115		Tapon	1	1	4	1	3	8	8	NC
116		Tazón	Anillo de ajuste placas (piso) del tazón	1	10	4	1	1	42	42
117	Anillo de extensión tazón		1	7	4	1	1	30	30	SC
118	Anillo retenedor (Varilla de 3/8")		1	1	1	1	1	3	3	NC
119	Anillo de rotación		1	4	4	1	1	18	18	SC
120	Bloques de restricción		1	10	4	1	1	42	42	C
121	Centro del tazón		1	4	4	1	1	18	18	SC
122	Cono invertido		1	4	4	1	1	18	18	SC
123	Cubierta del cubo de la placa de desgaste		1	4	4	1	3	20	20	SC
124	Falda centro del tazón		1	1	2	1	1	4	4	NC
125	Lainers		2	7	2	1	5	20	40	C
126	Pista del tazón		1	7	4	1	3	32	32	SC
127	Rejillas de entrada de aire primario		3	7	2	1	3	18	54	C
128	Tolva		1	7	2	1	3	18	18	SC
129	Venturi de salida	1	7	4	1	1	30	30	SC	
130	Tubo de alimentación	Ducto	2	4	2	1	3	12	24	SC
131		Manhol	1	4	1	1	3	8	8	NC
132	Tolva de pirita	Compuerta de entrada neumática	3	4	4	1	3	20	60	C
133		Compuerta de cuchilla inferior (descarga) neumática	3	4	4	1	3	20	60	C
134		Compuerta de cuchilla superior (carga) manual	3	4	4	1	3	20	60	C
135		Ducto de entrada	2	4	1	1	3	8	16	SC
136		Iluminación	3	1	1	1	1	3	9	NC
137		Mirilla para nivel	1	4	2	1	1	10	10	NC
138		Tolva	1	7	2	1	5	20	20	SC

5.1.4 Resultados de análisis de criticidad. Las siguientes tablas exponen de forma organizada los resultados obtenidos del análisis de criticidad.

Tabla 18. Resultado análisis de criticidad de los componentes críticos del pulverizador de carbón

Ítem	COMPONENTES	Riesgo Total/ Criterio Crítico C
15	Carcasa	80
70	Guayas de los raspadores	72
83	Retenedores de los rodillos	72
84	Rodamiento inferior de los rodillos	72
85	Rodamiento superior de los rodillos	72
89	Acople sinfín	72
79	Conjunto del muñón	64
86	Rodillo	64
132	Compuerta de entrada neumática	60
133	Compuerta de cuchilla inferior (descarga) neumática	60
134	Compuerta de cuchilla superior (carga) manual	60
80	Cono	54
78	Carcasa aire de sello	54
127	Rejillas de entrada de aire primario	54
66	Motor	49
81	Eje principal	48
107	Eje sistema de muelleo	48
23	Eje principal (vertical)	47
19	Dientes de la corona	45
91	Resorte del Sinfín	42
116	Anillo de ajuste placas (piso) del tazón	42
120	Bloques de restricción	42
125	Lainers	40
2	Ventilador de aire primario	36
16	Compuertas de descarga del pulverizador de carbón	36
22	Cojinete de empuje del eje vertical	36
24	Empaque de sello (laminillas bronce/asbesto) del eje vertical	36
93	Sello mecánico o preñe del Sinfín	36

Tabla 19. Resultado análisis de criticidad de los componentes semi crítico del pulverizador de carbón

Ítem	COMPONENTES	Riesgo Total/ Criterio Semi Crítico SC
21	Camisas de desgaste del eje vertical	32
25	Retenedores del eje vertical	32
62	Anillo de lubricación del motor	32
64	Cojinetes (de BABY) del motor	32
65	Devanado del motor	32
68	Rotor del motor	32
126	Pista del tazón	32
98	Motor del sistema de lubricación	30
106	Cubierta del resorte del sistema de muelleo	30
111	Rodamiento Axial del sistema de muelleo	30
112	Rodamiento Radial del sistema de muelleo	30
117	Anillo de extensión del tazón	30
129	Venturi de salida del tazón	30
90	Eje del tornillo sinfín	25
1	Ductos de aire primario	24
3	Ductos de aire de sello	24
4	Mangueras flexibles del sistema de aire de sello	24
5	Ventiladores del sistema de aire de sello	24
8	Compuertas de los clasificadores	24
18	Pistones neumáticos de las compuertas de descarga	24
130	Ducto del tubo de alimentación	24
14	Bloques de restricción compuertas de descarga del pulverizador de carbón	20
60	Aceite del motor del pulverizador de carbón	20
69	Bloques laterales de los raspadores	20
73	Piso (placas de desgaste) de los raspadores	20
75	Aceite en los rodillos	20
123	Cubierta del cubo de la placa de desgaste del tazón	20
138	Tolva de la pirita	20
26	Rodamiento Axial del eje vertical	18
27	Rodamiento Radial del eje vertical	18
61	Acople del motor del pulverizador de carbón	18
63	Cámara de refrigeración del motor del pulverizador de carbón	18
92	Rodamientos del sinfín	18
95	Bomba de lubricación	18
104	Cabezote del sistema de muelleo	18
108	Pistón del sistema de muelleo	18
109	Resorte interior del sistema de muelleo	18
110	Resorte exterior del sistema de muelleo	18
114	Tuerca del sistema de muelleo	18
119	Anillo de rotación del tazón	18
121	Centro del tazón	18
122	Cono invertido del tazón	18
128	Tolva del tazón	18
135	Ducto de entrada de la tolva de pirita	16
20	Aceite de la corona	14

Tabla 20. Resultado análisis de criticidad de los componentes no críticos del pulverizador de carbón, parte I.

Ítem	COMPONENTES	Riesgo Total/ Criterio No Crítico NC
12	Asiento fijo de las compuertas de descarga a quemadores	12
13	Brazos de las compuertas de descarga a quemadores	12
29	CD-106 Control damper temperatura molino	12
30	CV-343 Válvula de control aire de sello molino	12
72	Laminas deflectoras de aire de los raspadores	12
96	Filtro de aceite (2) del sistema de lubricación	12
11	Retenedores de los clasificadores	10
76	Buje separador de los rodillos	10
99	Válvula de seguridad del sistema de lubricación	10
137	Mirilla para nivel de la tolva de pirita	10
6	Válvula de corte del sistema de aire de sello	9
136	Iluminación de la tolva de pirita	9
71	Manhol de los raspadores	8
74	Soportes de las guayas de los raspadores	8
115	Tapon del sistema de muelleo	8
131	Manhol del tubo de alimentación	8
28	Tuercas para ajuste de la corona del eje vertical	6
31	EP-110 Convertidor damper ventilador temperatura molino	6
32	LI-102 Nivel aceite engranaje molino	6
33	LS-110 Bajo nivel tanque de aceite molino	6
34	LS-111 Alto nivel tolva de pirita	6
35	LX-200 Transmisor nivel tolva alimentación molino	6
36	PS-133 Presión normal aire debajo del tazón	6
37	PS-132 Enclavamiento anormal bajo aire tazón molino	6
38	PX-121 Presión diferencial tazón molino	6
39	PX-122 Presión diferencial hogar molino	6
40	PX-123 Presión parte inferior molino	6
41	SV-126 Válvula solenoide entrada tolva pirita	6
42	SV-127 Válvula solenoide descarga tolva pirita	6
43	SV-128 Válvula solenoide damper salida molino	6
44	SV-129 Válvula solenoide damper aire caliente molino	6
45	SV-202 Válvula solenoide damper caja de viento	6

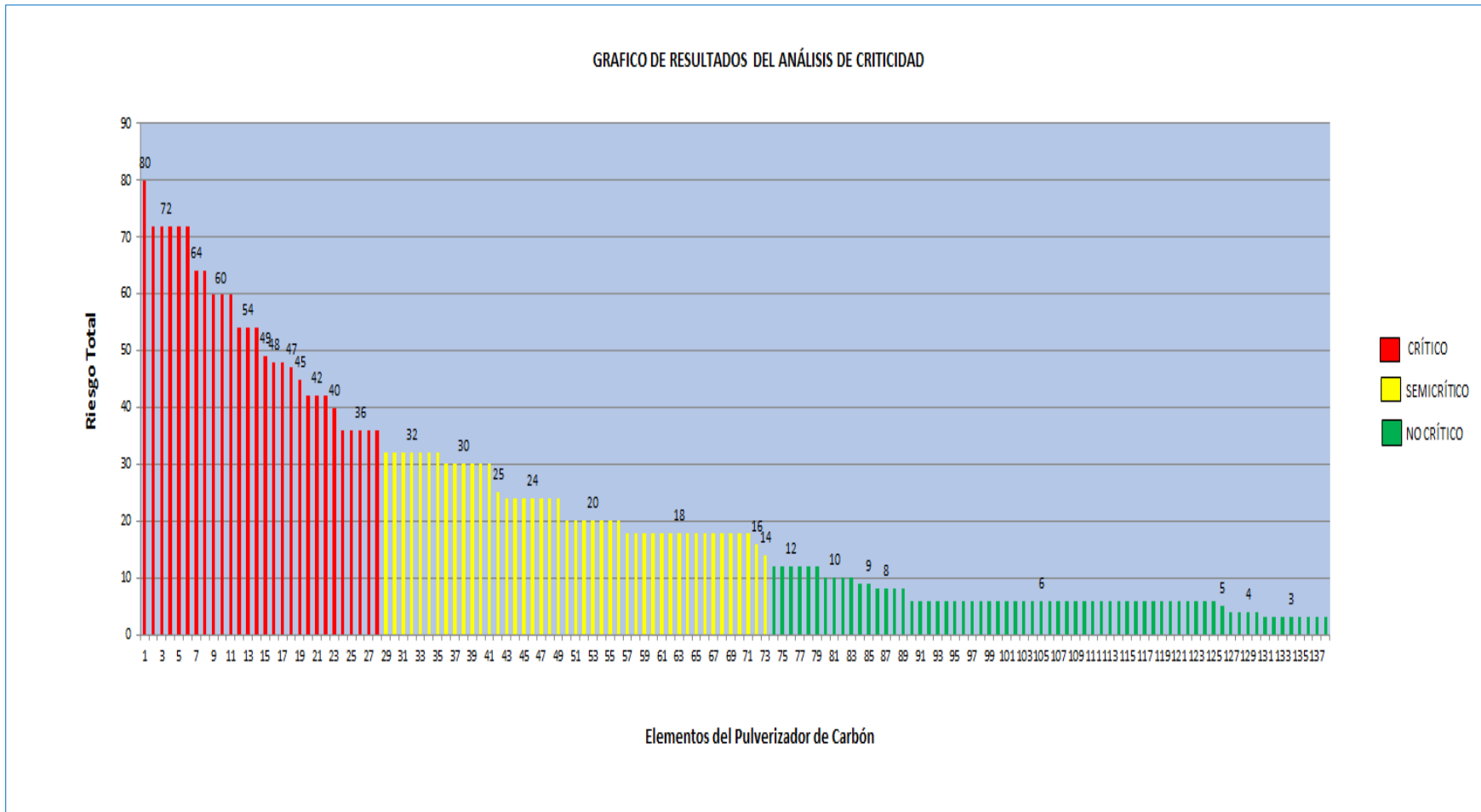
Tabla 21. Resultado análisis de criticidad de los componentes no críticos del pulverizador de carbón, parte II.

Ítem	COMPONENTES	Riesgo Total/ Criterio No Crítico NC
46	SV-203 Válvula solenoide damper caja de viento	6
47	SV-343 Válvula solenoide sello molino	6
48	SV- 346 Válvula solenoide sello tolva pirita	6
49	TE-311 Temperatura salida molino	6
50	TE-312 Temperatura salida molino	6
51	TE-315 Temperatura parte interna molino	6
52	TE-410 Temperatura cojinete motor molino	6
53	TE-411-1 Temperatura cojinete superior molino	6
54	TE-411-2 Temperatura cojinete inferior molino	6
55	TE-412-1 Temperatura cojinete eje parte derecha	6
56	TE-412-2 Temperatura cojinete parte izquierda	6
57	TE-413 Temperatura aceite engranaje molino	6
58	TI-102 Temperatura aceite engranaje molino	6
59	TS-101 Suiche de temeperatura salida molino	6
67	Sensores de temperatura (TE) del motor del pulverizador de car	6
82	Lainas de calibración de los rodillos	6
100	Válvula de corte del sistema de lubricación	6
101	Swich de temperatura del sistema de lubricación	6
102	Anillo del sistema de muelleo	6
103	Anillo de seguridad del sistema de muelleo	6
10	Manhol de los clasificadores	5
7	Brazo ecualizador de los clasificadores	4
77	Camisas de desgaste de los rodillos	4
97	Manómetros de presión	4
124	Falda centro del tazón	4
9	Eje principal de los clasificadores	3
17	Pasadores compuertas de descarga del pulverizador de carbón	3
87	Tuerca inferior del eje de los rodillos	3
88	Tuerca superior del eje de los rodillos	3
94	Tuerca de ajuste de los rodamientos del sinfin	3
105	Contratuerca del sistema de muelleo	3
113	Tornillo que desplaza al resorte del sistema de muelleo	3
118	Anillo retenedor (Varilla de 3/8") del tazón	3

En la figura 22, se muestran los resultados del análisis de criticidad.

El diagrama de barras correspondiente, muestra los resultados consignados en las tablas 18, 19, 20 y 21, donde se indican las tres zonas que caracterizan el análisis de criticidad elaborado al pulverizador de carbón.

Figura 22. Diagrama de barras, zonas que caracterizan el análisis de criticidad



5.2 EJECUCION DE RCM AL PULVERIZADOR DE CARBÓN

Para realizar el análisis de la información de las fallas en el sistema de los pulverizadores de carbón de la central, se definió con los supervisores de mantenimiento mecánico, el grupo técnico de operación y mantenimiento; las funciones y las fallas funcionales, de esta manera se determinaron los modos de falla que pueden ocasionar la falla funcional del sistema.

El análisis de los modos de falla y los efectos (FMEA), se realizó a un segundo nivel aplicando la hoja de decisión de RCM II, en la que se describen, las funciones, fallas de función, modos de falla y efectos de los modos de falla, para poder definir claramente la causa de la falla.

5.2.1 Características técnicas. Las siguientes son las características técnicas de los componentes del pulverizador de carbón de la Central Termoguajira.

Figura 23. Características técnicas del ventilador aire primario


VENTILADOR AIRE PRIMARIO		
	Características Técnicas	
	Tipo:	Radial
	Volumen:	940 m ³ /min
	Presión estática:	Succión +50 mmAq Descarga +1010 mmAq
	Presión diferencial:	960 mmAq
	Potencia del eje:	197 Kw a 373°C
	Velocidad de diseño:	3560 RPM
	Nivel de ruido:	85 dB a 1.5m desde el motor
	Características Operacionales	
	Velocidad operacional:	3560 RPM
Temperatura operacional:	60°C	
Caudal (Q):	534.86 kg/min	
Descarga del ventilador:	>750 mmwc	

Figura 24. Características técnicas del motor de aire de sello

MOTOR AIRE DE SELLO		
	Características Técnicas	
	<i>Motor aire de sello A/B</i>	
	Potencia:	40 HP
	Voltaje:	460 V
	Amperaje:	46 A
	Frecuencia:	60 Hz
	No. de cojinete:	DELT:6312 ZC3 -TRS:6312ZC3
	Velocidad:	1780 RPM
	Temperatura ambiente:	40°C
	Norma:	NEMA
	Características Técnicas	
	<i>Ventilador aire de sello</i>	
Volumen:	m ³ /min	
Presión estática:	Succión +50 mmAq Descarga +1010 mmAq	
Presión diferencial:	mmAq	
Potencia del eje:	Kw a °C	
Velocidad de diseño:	RPM	

Figura 25. Características técnicas de los clasificadores


CLASIFICADORES		
	Características Técnicas	
	No. de aspas:	24
	No. de ejes de 1/2":	24
	Material:	Acero AISI de 1/2"
	Tornillos:	Cabeza abellanada para llave allen de 3/8 x 1" con tuerca
	Retenedores de:	7/8" x 1/2"x1/4"

Figura 26. Características técnicas de las compuertas de descarga


COMPUERTAS DE DESCARGA		
	Características Técnicas	
	No. de compuertas:	4
	No. de cilindros neumáticos:	4
	No. de finales de carrera:	8
	Tornillos cabeza abellanada de:	5/8"x2 1/2"
	Compuerta tipo:	Plato
	Material:	Lámina antidesgaste 450 HB 16mm Forahardox

Figura 27. Características técnicas de la corona


CORONA		
	Características Técnicas	
	Piñón referencia:	74-200-A,
	Código engranaje:	NG001
	Material:	Bronce
	Tipo:	Elicoidal
	No. de parte:	74-481
	Drawing no.:	D-74-481

Figura 28. Características técnicas del eje principal


EJE PRINCIPAL		
	Características Técnicas	
	Referencia:	CE-723 RPB
	Tipo:	Cilindrico
	Serial:	830119
	No. de parte:	74-481
	Drawing no.:	E-74-500-0, Ítem 7

Figura 29. Características técnicas del motor del pulverizador de carbón

MOTOR DEL PULVERIZADOR		
	Características Técnicas	
	Fabricante:	WESTINGHOUSE
	Potencia:	300 HP
	Voltaje:	6600 V
	Amperaje:	24 A
	Frecuencia:	60 Hz
	Velocidad:	891 RPM
	Temperatura ambiente:	40°C

Figura 30. Características técnicas de los raspadores

RASPADORES		
	Características Técnicas	
	Tipo:	Escoba
	No. de guayas:	24
	Guayas de:	5/8" x 250 mm
	Material:	Acero
	Tornillos:	Rosca fina de 5/8" x 2"
Soporte:	Lámina de acero al carbón de 1"	

Figura 31. Características técnicas de los rodillos

RODILLOS		
	Características Técnicas	
	Rodillo tipo:	Cerámico Win pipe mill roller
	Referencia:	RP-723
	Rodamientos:	Referencia HH234048/HH34010 Referencia H234148/H238110
	Retenedor:	CR590740
	Oring:	370,6 x 360,4 x 6,5 mm
	Tuerca:	Eneginnering no. parte RD-177
	Eje:	

Figura 32. Características técnicas del tornillo sinfín

TORNILLO SINFIN		
	Características Técnicas	
	Eje:	Worn Shaftt Bowl Mill CE 723 RPB
	Serial no.:	830199
	No. de Parte:	RD-411-B, ítem 34
	Drawing No.:	E-74-500-0
	Material:	
Longitud:		

Figura 33. Características técnicas del sistema de lubricación

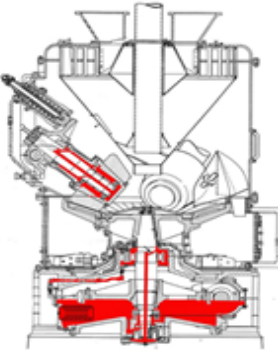
SISTEMA LUBRICACIÓN		
	Características Técnicas	
	Aceite lubricante:	Mobil Gear 600XP-320
	Grasa:	EP2 de Mobil.
	Nivel de aceite rodillos U1:	19 L
Nivel de aceite rodillos U2:	28 L	

Figura 35. Características técnicas del sistema de muelle

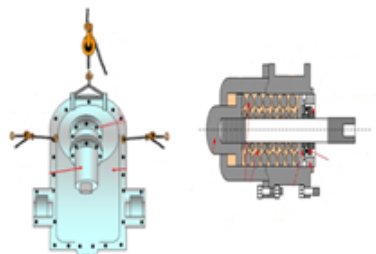
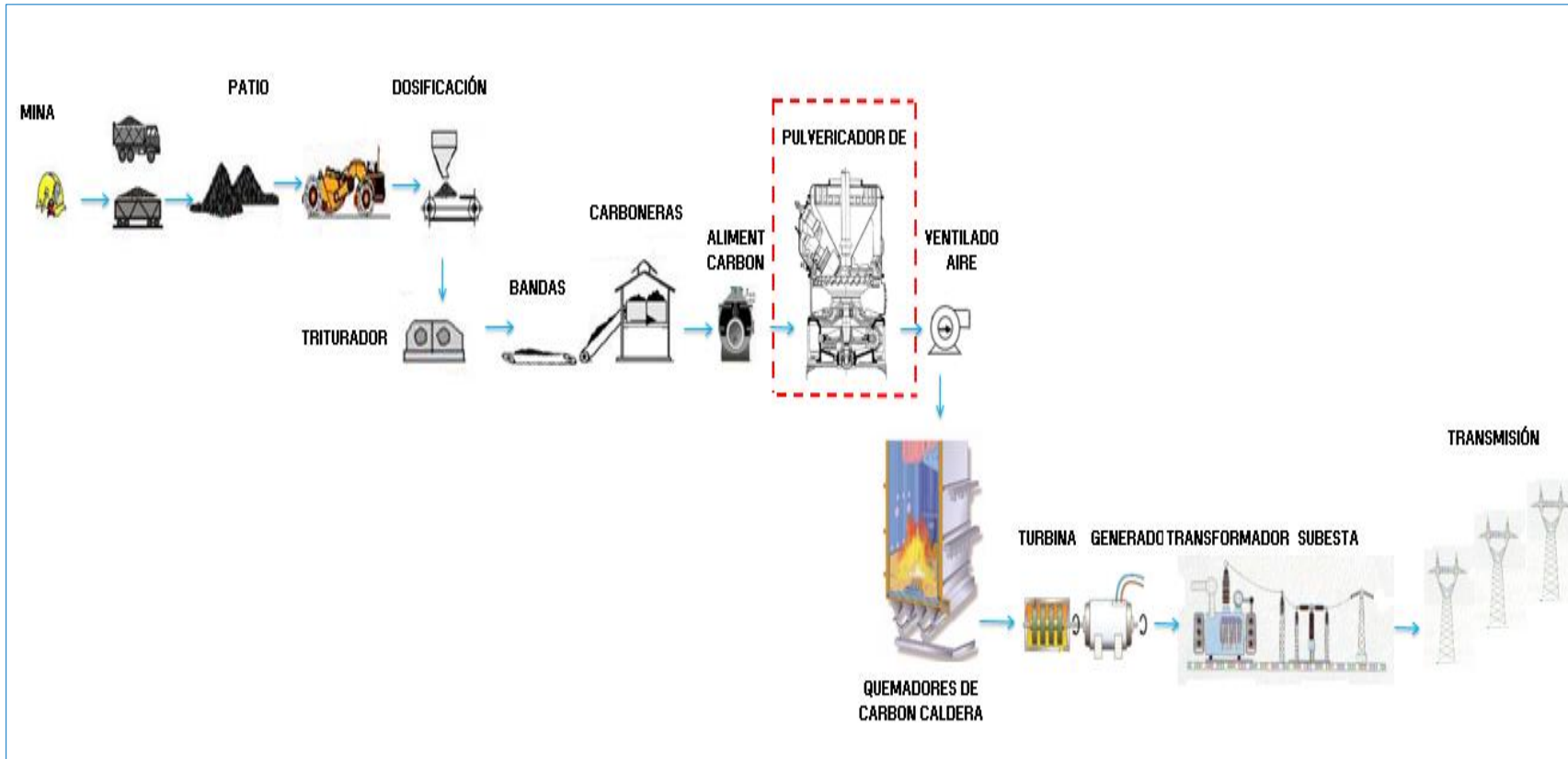
SISTEMA DE MUELLEO		
	Características Técnicas	
	Referencia:	Resorte ajustable CE MHI 643 RP
	Presión de trabajo del resorte:	3200 PSI
	Serial No.:	A117
	No. de parte:	N67-774-7203-1
Drawing no.:	32300-1132 Ítem 004	

Figura 36. Características técnicas del tazón

TAZÓN		
	Características Técnicas	
	Juego de pistas:	40
	Pistas referencia:	RP-723 win pipe table liner
Material:	Cerámico	

5.2.1.3 Fronteras y límites del sistema

Figura 37. Frontera de análisis pulverizadores de carbón



5.2.1.4 Condiciones de trabajo. Se clasifican de la siguiente manera:

❖ **Condiciones Operativas**

El pulverizador de carbón de la Central Termoguajira posee las siguientes condiciones operativas:

- Sistema abierto.
- Opera por demanda, según requerimientos de la producción.
- Con mitigación y equipos de respaldo.

❖ **Especificaciones técnicas de operación**

Tabla 22. Parámetros técnicos de operación pulverizadores de carbón unidad I

PARAMETROS		VALOR
Fineza a través de malla 200	(%)	70
Clasificadores en posición	No.	3
Presión Diferencial Tazón Aire de Sello	(mmH ₂ O)	> 200
Presión Aire Primario entrada molino	(mmH ₂ O)	>250
Temperatura de salida	°C	65° 70 °C
Velocidad entrada particulas al hogar	(fp/min)	3000° 3300
Capacidad	(TON/HR)	15.3° 24.9

Tabla 23. Parámetros técnicos de operación pulverizadores de carbón unidad II

PARAMETROS		VALOR
Fineza a través de malla 200	(%)	70
Clasificadores en posición	No.	3
Presión Diferencial Tazón Aire de Sello	(mmH ₂ O)	>151
Presión Aire Primario entrada molino	(mmH ₂ O)	>500
Temperatura de salida	°C	65° 70
Velocidad entrada particulas al hogar	(fp/min)	3000° 3300
Capacidad	(TON/HR)	17.6° 22.9

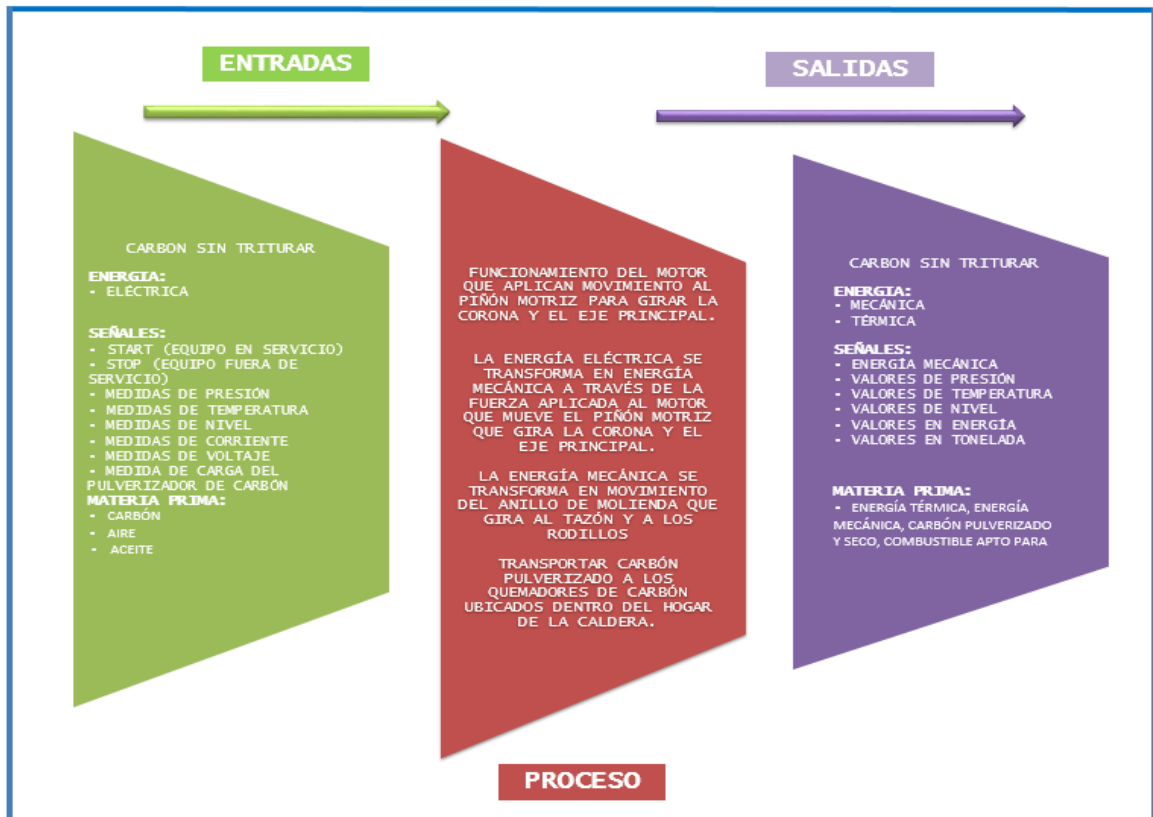
❖ Condiciones Ambientales

En el pulverizador de carbón de la Central Termoguajira impactan las siguientes condiciones ambientales:

- Presencia de material particulado.
- Derrame de aceites.
- Derrame de carbón.

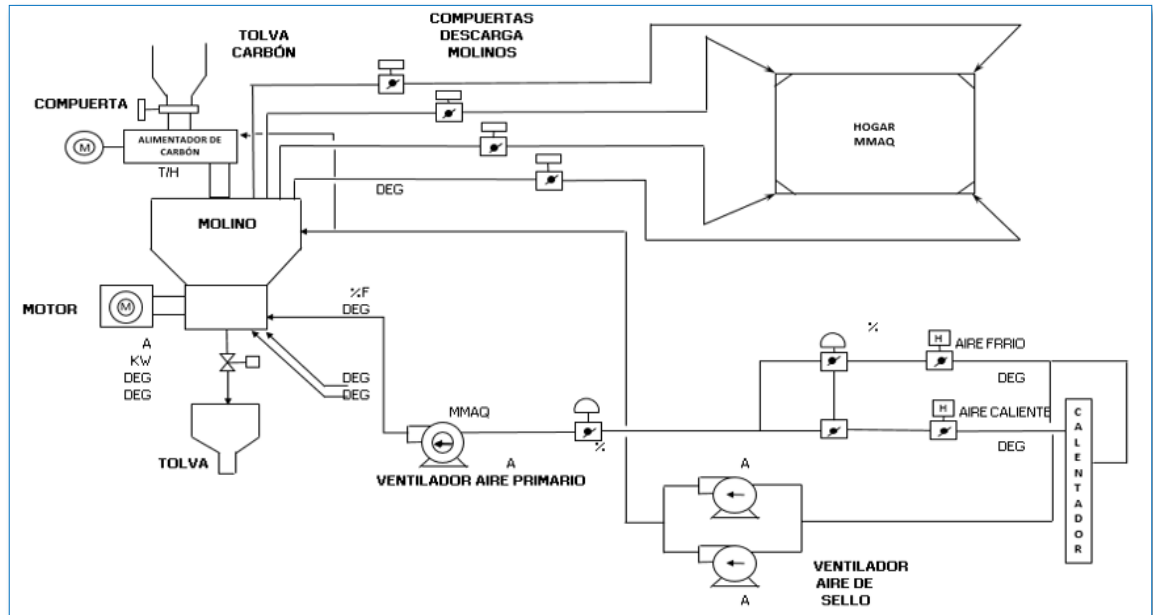
5.2.1.5 Diagrama de Proceso. La siguiente figura muestra el diagrama de proceso del pulverizador de carbón.

Figura 38. Diagrama de Proceso



5.2.1.6 Diagrama Esquemático. A continuación, se muestra el diagrama esquemático del sistema de manejo de carbón, que contiene al pulverizador de carbón.

Figura 39. Diagrama esquemático

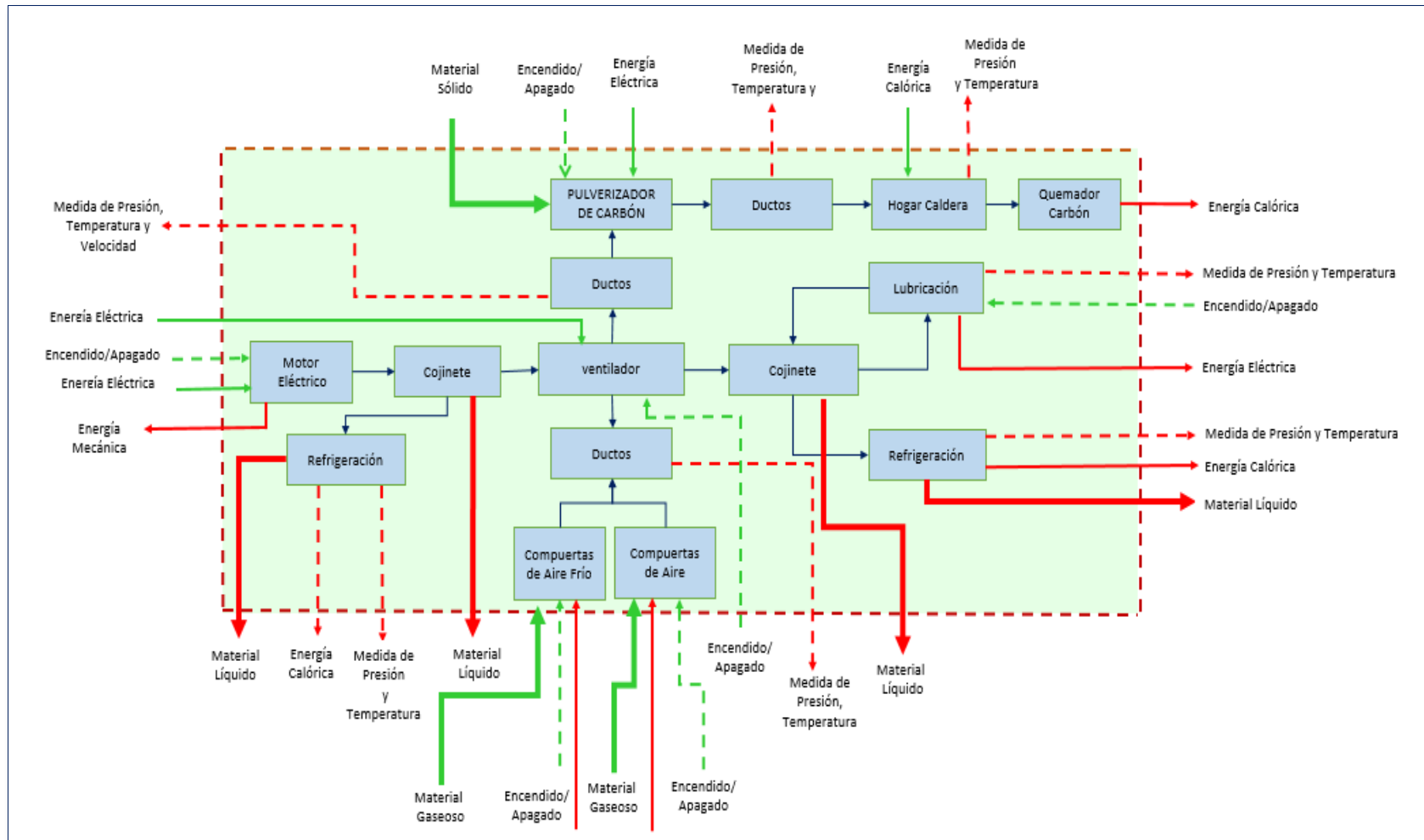


Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

En la Figura 40, Diagrama de bloques sistema de quemado de carbón de la Central Termogujira, se observan las siguientes convenciones:

- ➔ Entrada de Materia Prima
- ➔ Entrada Inicio de operación (encendido)
- ➔ Entrada de Energía (operación/movimiento)
- ➔ Salidas producto de la materia prima
- ➔ Salida visual de encendido e inicio de operación
- ➔ Salida producto del procesamiento de la energía de entrada

Figura 40. Diagrama de bloques sistema de quemado de carbón de la Central Termoguajira



5.2.2 FMEA de la estrategia basada en RCM para pulverizadores de carbón.

Para realizar el análisis de la información de las fallas del pulverizador de carbón, se definieron las funciones y las fallas funcionales, de esta manera se determinaron los modos de falla del pulverizador de carbón.

El análisis de los modos de falla y sus efectos (FMEA), se realizó aplicando, la hoja de información de RCM II, en la que describen las funciones, fallas de función, modos de falla y efectos de modos de falla, para poder definir la causa del modo de falla.

En las siguientes tablas se muestra el análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón y sus efectos (FMEA).

Para mejor visualización del cuadro del análisis de los modos de falla y sus efectos, dirigirse al Anexo D, RCM, donde encuentra el cuadro del desarrollo del FMEA en formato Excel.

Tabla 24. Hoja de información No. 1: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 1
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
PRIMARIA	0	0. Moler 19 Ton/Hr suministradas por el alimentador y clasificarlo hasta obtener una fineza del 75% pasando por malla 200, con una temperatura de 77°C.	A	0-A	0A. El pulverizador de carbón no es capaz de moler 12 Ton/Hr manteniendo la fineza dentro de los parámetros operativos.	1	0-A-1	0A1. Desgaste total de los rodillos del pulverizador.	1	0-A-1	0A1. Se incrementa la presión diferencial entre el tazón y el molino leída en el transmisor PX-121 (presión diferencial tazón molino). La fineza no está dentro de los parámetros, se incrementa el carbón de rechazo por tolva de pirita. Se vuelve inestable la combustión en caldera
						2	0-A-2	0A2. Desgaste total del tazón del pulverizador.	2	0-A-2	0A2. Se incrementa la presión diferencial entre el tazón y el molino leída en el transmisor PX-121 (presión diferencial tazón molino). La fineza no está dentro de los parámetros, se incrementa el carbón de rechazo por tolva de pirita. Se vuelve inestable la combustión en caldera
						3	0-A-3	0A3. Baja presión del resorte del muñón, por flojedad de la contratuerca de fijación.	3	0-A-3	0A3. Se incrementa la presión diferencial entre el tazón y el molino leída en el transmisor PX-121 (presión diferencial tazón molino). La fineza no está dentro de los parámetros, se incrementa el carbón de rechazo por tolva de pirita. Se vuelve inestable la combustión en caldera
			B	0-B	0B. El pulverizador de carbón es capaz de moler parte del carbón suministrado por el alimentador de carbón.	1	0-B-1	0B1. Desgaste parcial de los rodillos del pulverizador.	1	0-B-1	0B1. Se incrementa la presión diferencial en el PX-121 (presión diferencial tazón molino). La fineza no está dentro de los parámetros, se incrementa el carbón de rechazo por tolva de pirita. Se vuelve inestable la combustión en caldera.
						2	0-B-2	0B2. Desgaste parcial del tazón del pulverizador.	2	0-B-2	0B2. Se incrementa la presión diferencial entre el tazón y el molino leída en el transmisor PX-121 (presión diferencial tazón molino). La fineza no está dentro de los parámetros, se incrementa el carbón de rechazo por tolva de pirita. Perdida de la función por desgaste de los clasificadores del pulverizador.
						3	0-B-3	0B3. Baja presión del resorte del muñón, por flojedad de la contratuerca de fijación	3	0-B-3	0B3. Se incrementa la presión diferencial entre el tazón y el molino leída en el transmisor PX-121 (presión diferencial tazón molino). La fineza no está dentro de los parámetros, se incrementa el carbón de rechazo por tolva de pirita. Se vuelve inestable la combustión en caldera.

Tabla 25. Hoja de información No.2: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 2
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
PRIMARIA	0	0. Moler 19 Ton/Hr suministradas por el alimentador y clasificarlo hasta obtener una fineza del 75% pasando por malla 200, con una temperatura de 77°C.	C	0-C	0C. El pulverizador no es capaz de mantener la fineza en el 75% pasando por malla 200.0C.	1	0-C-1	0C1. Perdida de la función por desgaste de los clasificadores del pulverizador.	1	0-C-1	0C1. Se afecta las presiones diferenciales en los transmisores PX -121 (presión diferencial entre el tazón y el molino), PX- 122 (presión diferencial hogar molino), PX-123 (presión parte inferior molino); no se logra mejora al mover los clasificadores en posición de cierre. Se vuelve inestable la combustión en caldera.
						2	0-C-2	0C2. Perdida de la función por falta de lubricación de los brazos axiales de los clasificadores del pulverizador.	2	0-C-2	0C2. No se puede realizar maniobra para mejorar la fineza del carbón a la salida del pulverizador.
						3	0-C-3	0C3. Obstrucción de la toma del trasmisor de flujo de aire primario al pulverizador.	3	0-C-3	0C3. Genera una falsa señal de flujo de aire primario, generando inestabilidad en la combustión de caldera, puede terminar en un Puff de pulverizador.
						4	0-C-4	0C4. Falla del trasmisor de flujo de aire primario al pulverizador.	4	0-C-4	0C4. Genera una falsa señal de flujo de aire primario, generando inestabilidad en la combustión de caldera, puede terminar en un Puff de pulverizador.
			D	0-D	0D. Temperatura de descarga del pulverizador $\pm 77^{\circ}\text{C}$.	1	0-D-1	0D1. Falla en el lazo de control, aire versus temperatura de descarga del pulverizador.	1	0-D-1	0D1. No hay control en la regulación en automático de la temperatura.
						2	0-D-2	0D2. Falla en el lazo de control aire frio a pulverizador.	2	0-D-2	0D2. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.
						3	0-D-3	0D3. Falla en el EP del servomotor de la compuerta de aire frio a pulverizador.	3	0-D-3	0D3. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.
						4	0-D-4	0D4. Pistón del servomotor de regulación de aire frio con problemas por fuga de aire.	4	0-D-4	0D4. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.
						5	0-D-5	0D5. Falla en el lazo de control aire caliente a pulverizador.	5	0-D-5	0D5. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.

Tabla 26. Hoja de información No.3: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 3
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
PRIMARIA	0	0. Moler 19 Ton/Hr suministradas por el alimentador y clasificarlo hasta obtener una fineza del 75% pasando por malla 200, con una temperatura de 77°C.	D	0-D	0D. Temperatura de descarga del pulverizador $\pm 77^{\circ}\text{C}$.	6	0-D-6	0D6. Falla en el EP del servomotor de la compuerta de aire caliente a pulverizador.	6	0-D-6	0D6. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.
						7	0-D-7	0D7. Pistón del servomotor de regulación de aire caliente con problemas por fuga de aire.	7	0-D-7	0D7. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.
						8	0-D-8	0D8. Compuertas de aire calientes pegadas debido a la contaminación de ceniza en sus partes lubricadas.	8	0-D-8	0D8. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.
						9	0-D-9	0D9. Compuertas de aire frío pegadas debido a la contaminación de ceniza en sus partes lubricadas.	9	0-D-9	0D9. No hay control en la regulación en automático de la temperatura, dificulta mantener el flujo de aire y la temperatura de descarga del pulverizador.

Tabla 27. Hoja de información No.4: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 4
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
Secundaria	1	1. Capacidad de ajustar los rodillos en las tolerancias requeridas por el fabricante.	A	1-A	1A. Pérdida de la capacidad de ajustar las tolerancias entre Rodillo –Tazón.	1	1-A-1	1A1. Los tornillos de elevación de los rodillos se encuentran pegados debido a la deficiencia de lubricación.	1	1-A-1	1A1. No se puede calibrar las tolerancias entre Rodillos y Tazón, en caso de desajuste.
Secundaria	2	2. Hermeticidad del pulverizador.	A	2-A	2A. Pérdida de la hermeticidad del pulverizador.	1	2-A-1	2A2. Fuga de carbón por desgaste erosivo de la tubería de transporte.	1	2-A-1	2A1. Fuga de carbón, generando una atmósfera contaminante, aumentando el riesgo de conato de incendio.
						2	2-A-2	2A2. Falla por rotura del empaque en el ducto de descarga de la cámara de raspadores a tolva de pirita.	2	2-A-2	2A2. Fuga de ceniza, generando una atmósfera contaminante.
						3	2-A-3	2A3. Falla por desgaste del pin de pivote de los raspadores.	3	2-A-3	2A3. Se incrementa la presión parte baja del molino, no permitiendo el flujo adecuado de aire y generando inestabilidad, puede llegar a prenderse el pulverizador debido al contacto con partes móviles.
Secundaria	3	3. Capacidad del pulverizador de sacar la pirita para que sea acumulada y recogida en su respectiva tolva.	A		3A. El pulverizador no es capaz de desechar la pirita.	1	3-A-1	3A1. Falla de los tornillos de sujeción del raspador debido a la abrasividad del carbón.	1	3-A-1	3A1. Se incrementa la presión parte baja del molino, no permitiendo el flujo adecuado de aire y generando inestabilidad, puede llegar a prenderse el pulverizador debido al contacto con partes móviles.
						2	3-A-2	3A2. Se obstruye la salida del pulverizador a tolva de pirita, por objeto extraño.	2	3-A-2	3A2. Se incrementa la presión parte baja del molino, no permitiendo el flujo adecuado de aire y generando inestabilidad, puede llegar a prenderse el pulverizador debido al contacto con partes móviles.
						3		3A3. Falla en el lazo de control de descarga de pirita de la tolva.			3A3. No se puede descargar la pirita, pudiendo ocasionar un incendio en el pulverizador. No responde al pulso local del operador.
			B	3-B	3B. Pérdida de la capacidad de evacuar la pirita a la respectiva tolva de pirita.	1	3-B-1	3B1. Falla en el microswitch de la compuerta de entrada a la tolva de pirita.	1	3-B-1	3B1. No inicia la secuencia de evacuación de pirita, ya que los micros deben estar en posiciones de final de carrera para que la secuencia se complete.

Tabla 28. Hoja de información No.5: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 5
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
Secundaria	3	3. Capacidad del pulverizador de sacar la pirita para que sea acumulada y recogida en su respectiva tolva.	B	3-B	3B. Pérdida de la capacidad de evacuar la pirita a la respectiva tolva de pirita.	2	3-B-2	3B2. Falla en el microswitch de la compuerta de salida de la tolva de pirita.	2	3-B-2	3B2. No inicia la secuencia de evacuación de pirita, ya que los micros deben estar en posiciones de final de carrera para que la secuencia se complete.
						3	3-B-3	3B3. Daño en el pistón de apertura y/o cierre de la compuerta de entrada a tolva de pirita.	3	3-B-3	3B3. Debido al pase en la recamara de aire del pistón este no completa el recorrido y deja sin accionar el micro de la compuerta de entrada a tolva de pirita, interrumpiendo la secuencia.
						4	3-B-4	3B4. Daño en el pistón de apertura y/o cierre de la compuerta de salida de la tolva de pirita.	4	3-B-4	3B4. Debido al pase en la recamara de aire del pistón este no completa el recorrido y deja sin accionar el micro de la compuerta de salida a tolva de pirita, interrumpiendo la secuencia.
						5	3-B-5	3B5. Compuerta de entrada a la tolva de pirita obstruida con objeto extraño.	5	3-B-5	3B5. El objeto extraño no permite que el pistón complete el recorrido y deja sin accionar el micro de la compuerta de entrada a tolva de pirita, interrumpiendo la secuencia.
						6	3-B-6	3B6. Compuerta de salida a la tolva de pirita obstruida con objeto extraño.	6	3-B-6	3B6. El objeto extraño no permite que el pistón complete el recorrido y deja sin accionar el micro de la compuerta de salida a tolva de pirita, interrumpiendo la secuencia.
						7	3-B-7	3B7. Falla sensor de nivel de la tolva de pirita.	7	3-B-7	3B7. Sale falsa alarma en Sala de mando de alto nivel tolva de pirita.
Secundaria	4	4. Transportar el carbón de los pulverizadores a caldera.	A	4-A	4A. No se puede transportar el carbón pulverizado del molino a caldera.	1	4-A-1	4A1. Falla en uno de los pistones de las compuertas de descarga del pulverizador, en posición cerrada.			4A1. Las compuertas de descarga no abren, perdiendo el pulverizador la condición para entrar en servicio.
2						4-A-2	4A2. Falla en el suministro de aire a uno de las compuertas de descarga de carbón del pulverizador a caldera, quedando en posición abierta.			4A2. Se puede generar un Puff de pulverizador al generarse retroceso de llama.	
Secundaria	5	5. Evitar el retroceso de llama.	A	5-A	5A. Pérdida de capacidad para impedir el retroceso de llama.	1	5-A-1	5A1. Falla de un pistón dejando la compuerta en posición abierta, válvula de salida del Pulverizador.	1	5-A-1	5A1. Se puede generar un Puff de pulverizador al generarse retroceso de llama.

Tabla 29. Hoja de información No.6: análisis de los modos de falla de los pulverizadores de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 6
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
Secundaria	5	5. Evitar el retroceso de llama.	A	5-A	5A. Pérdida de capacidad para impedir el retroceso de llama.	2	5-A-2	5A2. Falla del motor del ventilador de aire de sello "A", por daño en los rodamientos del motor.	2	5-A-2	5A2. Debería conmutar el ventilador de aire de sello "B", sale alarma en sala de mando, en caso de fallar el ventilador de respaldo, quedan todos los molinos fuera de servicio.
Secundaria	6	6. Dar suministro de aire de sello para las partes rotativas y lubricadas.	A	6-A	6A. Permite la entrada de ceniza y/o ceniza a las partes rotativas y lubricadas.	1	6-A-1	6A1. Falla del motor del ventilador de aire de sello "A", por daño en los rodamientos del motor.	1	6-A-1	6A1. Debería conmutar el ventilador de aire de sello "B", sale alarma en sala de mando, en caso de fallar el ventilador de respaldo, quedan todos los molinos fuera de servicio.
						2	6-A-2	6A2. Falla en el térmico del motor del ventilador de aire de sello "A", generando protección inadecuada.	2	6-A-2	6A2. Debería conmutar el ventilador de aire de sello "B", sale alarma en sala de mando, en caso de fallar el ventilador de respaldo, quedan todos los molinos fuera de servicio.
						3	6-A-3	6A3. Falla del relé del ventilador de aire de sello "A" en el panel de 480V.	3	6-A-3	6A3. Debería conmutar el ventilador de aire de sello "B", sale alarma en sala de mando, en caso de fallar el ventilador de respaldo, quedan todos los molinos fuera de servicio.
						4	6-A-4	6A4. Falla del relé del ventilador de aire de sello "A" en el panel de 480 V.	4	6-A-4	6A4. Debería conmutar el ventilador de aire de sello "B", sale alarma en sala de mando, en caso de fallar el ventilador de respaldo, quedan todos los molinos fuera de servicio.
Secundaria	7	7. Proporcionar al molino aire primario (frío).	A	7-A	7A. No proporcionar al molino aire primario (frío / caliente).	1	7-A-1	7A1. El dâmpner de control de la compuerta de aire frío no modula.	1	7-A-1	7A1. La compuerta de aire frío del molino no actúa. No puede efectuar la mezcla requerida por el proceso para lograr una temperatura del de 77°C.
Secundaria	7	7. Proporcionar al molino aire primario (caliente).	B			2	7-B-1	7B1. Depósito de material particulado sobre la estructura de la compuerta de aire caliente impiden su correcto funcionamiento.	2	7-B-1	7B1. La compuerta de aire caliente del molino no actúa. No puede efectuar la mezcla requerida por el proceso para lograr una temperatura del de 77°C.
Secundaria	8	8. Girar el carbón sobre el tazón para ser triturado por los rodillos.	A	8-A	8A. No gira el carbón sobre el tazón para ser triturado por los rodillos.	1	8-A-1	8A1. Fallo por acumulación de piritas e inmolturables en el molino.	1	8-A-1	8A1. Se acumulan los inmolturables o piritas lo que provoca atascamiento y evita que los raspadores dispongan de estos desechos de forma eficiente.
Secundaria	9	9. Ser capaz el motor del molino de protegerse.	A	9-A	9A. No se protege el motor del molino	1	9-A-1	9A1. Vibraciones mecánicas por desbalanceo del rotor.	1	9-A-1	9A1. Fatiga y falla de los rodamientos el motor, bloqueo del motor, sobrecarga, daño del equipo salida del sistema.

Tabla 30. Hoja de información No.7: análisis de los modos de falla del pulverizador de carbón

HOJA DE INFORMACIÓN: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA DEL PULVERIZADOR DE CARBÓN						CENTRAL TERMOGUAJIRA GECELCA S.A. E.S.P.					FMEA N°. 7
Función	Código	Descripción de la Función	Ítem Falla Funcional	Código Falla Funcional	Descripción de la Falla Funcional	Ítem del Modo de Falla	Código del Modo de Falla	Descripción del Modo de Falla	Ítem Efectos de la Falla	Código Efectos de la Falla	Descripción Efectos de la Falla
Secundaria	9	9. Ser capaz el motor del molino de protegerse.	A	9-A	9A. No se protege el motor del molino	2	9-A-2	9A2. Perdida de aislamiento por presencia de contaminantes o abrasivos en el bobinado.	2	9-A-2	9A2. Cortocircuito entre bobinados de diferentes fases, o entre bobinados y tierras, salida del sistema.
						3	9-A-3	9A3. Presencia de puntos calientes por conexiones flojas por la vibración del sistema o conexiones mal ajustadas.	3	9-A-3	9A3. Rotura de conductores, falla a tierra y/o cortocircuito entre fases, salida del sistema eléctrico.
Secundaria	10	10. Ser capaz el molino de Protegerse.	A	10-A	10A. Incapacidad de protegerse el molino.	1	10-A-1	10A1. Más de una indicación de la compuerta de descarga del molino indican no abierta, por fallo de los pistones.	1	10-A-1	10A1. Disparo del molino y el alimentador; poner en servicio el pulverizador de reserva. El pistón deberá ser ajustado o cambiado según se requiera.
						2	10-A-2	10A2. Más de una indicación del final de carrera de compuerta de descarga del pulverizador falla.	2	10-A-2	10A2. Disparo del molino y el alimentador; poner en servicio el pulverizador de reserva. El final de carrera deberá ser ajustado o cambiado según se requiera.
						3	10-A-3	10A3. Fuga entre cámaras del pistón de la compuerta de aire caliente.	3	10-A-3	10A3. Compuerta de aire caliente del molino no cierra. En caso de disparo del molino, este queda desprotegido por temperatura. Puede producirse un incendio en el molino.
						4	10-A-4	10A4. Compuerta de la compuerta de aire caliente falla en posición abierta.	4	10-A-4	10A4. Compuerta de aire caliente no cierra. En caso de disparo del molino, éste queda desprotegido por temperatura.

6. PLAN DE MANTENIMIENTO

6.1 HOJA DE DECISIÓN

El registro de las respuestas a las preguntas formuladas en el diagrama de decisión de Moubray, se consignó en las hojas de decisión, que se pueden observar en las siguientes tablas. Para mejor visualización de la hoja de decisión, dirigirse al Anexo D, RCM, Hoja de decisión.

Tabla 31. Hoja de decisión No.1 del pulverizador de carbón

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 ALADON LTD			SISTEMA: Quemado de Carbón							Sistema N°.			Facilitador:		Fecha:	Hoja N°. 1
			SUBSISTEMA: Pulverizadores de Carbón							Subsistema N°			Auditor:		Fecha:	De: 3
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4					
0	A	1	S	N	N	S	N	N	N		S		Rescondicionamiento cíclico	Observar la presión diferencial PX -121 (presión diferencial tazón molino), y en el caso que esta varíe, coordinar para realizar granulometría. Si se encuentra fuera de rango, realizar cambio de rodillo.	Overhaul	Operador Principal / Mantenimiento Mecánico
0	A	2	S	N	N	S	N	N	N		S		Rescondicionamiento cíclico	Observar la presión diferencial PX -121 (presión diferencial tazón molino), y en el caso que esta varíe, coordinar para realizar granulometría. Si se encuentra fuera de rango, realizar cambio de rodillo.	Overhaul	Operador Principal / Mantenimiento Mecánico
0	A	3	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	Observar la curva de carga del pulverizador vs. potencia consumida y en caso de estar baja, informar a mantenimiento mecánico para su ajuste y nueva calibración. (Ningún mantenimiento programado).	Diaria	Operador Principal
0	B	1	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Observar la presión diferencial PX -121 (presión diferencial tazón molino), y en el caso que esta varíe, coordinar para realizar granulometría. Si se encuentra fuera de rango, revisar holguras y medición del perfil de desgaste de rodillo, en caso que esté fuera de rango, realizar cambio de rodillo.	Diaria	Operador Principal
0	B	2	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Observar la presión diferencial PX -121 (presión diferencial tazón molino), y en el caso que esta varíe, coordinar para realizar granulometría. Si se encuentra fuera de rango, revisar holguras y medición del perfil de desgaste del tazón, en caso que esté fuera de rango se realizara cambio de tazón.	Diaria	Operador Principal
0	B	3	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	Observar un valor no acorde a los parámetros de presión diferencial del pulverizador PX-121 (presión diferencial tazón molino), PX-122 (presión diferencial hogar molino), PX- 123 (presión parte inferior molino). Identificar el valor fuera de rango, para soplar las líneas y retirar la obstrucción. En el caso de un daño mayor realizar cambio. (Ningún mantenimiento programado).	Diaria	Operador Principal
0	C	1	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspeccionar el estado de desgaste de las palas de los clasificadores.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico
0	C	2	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspeccionar el estado de lubricación de los brazos axiales de las palas de los clasificadores.	Trimestral	Mantenimiento Mecánico
0	C	3	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	Observar un valor no acorde a los parámetros de presión diferencial del pulverizador PX 121 (presión diferencial tazón molino), PX-122 (presión diferencial hogar molino), PX- 123 (presión parte inferior molino). Identificar valores fuera de rango, para soplar las líneas y retirar la obstrucción. (Ningún mantenimiento programado).	Semanal	Operador Principal
0	C	4	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	Observar un valor no acorde a los parámetros de presión diferencial del pulverizador PX-121 (presión diferencial tazón molino), PX-122 (presión diferencial hogar molino), PX- 123 (presión parte inferior molino). Identificar el valor fuera de rango, para soplar las líneas y retirar la obstrucción. En el caso de un daño mayor realizar cambio. (Ningún mantenimiento programado).	Diaria	Operador Principal
0	D	1	S	N	N	S	N	N	N				Ninguno	No hay mantenimiento programado.	Overhaul	Regulación y control
0	D	2	S	N	N	S	N	N	N				Ninguno	No hay mantenimiento programado.	Overhaul	Regulación y control
0	D	3	S	N	N	N	S	N	N				A condición	Realizar ajustes y limpieza con señales de 0.2 a 1 kg/cm2, para verificar el recorrido del servomotor.	Anual	Regulación y control
0	D	4	S	N	N	S	S	N	N				Ninguno	Revisar los oring, las mangueras y prueba de pase entre las recamaras.	Anual	Regulación y control
0	D	5	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	No hay mantenimiento programado.	Overhaul	Regulación y control

Tabla 32. Hoja de decisión No.2 del pulverizador de carbón

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 ALADON LTD			SISTEMA: Quemado de Carbón SUBSISTEMA: Pulverizadores de Carbón							Sistema N°.			Facilitador:		Fecha:	Hoja N°. 2		
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas			Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4						
0	D	6	S	N	N	N	S	N	N				A condición	Realizar ajuste y limpieza con señales de 0.2 a 1 kg/cm2, para verificar el recorrido del servomotor.	Anual	Regulación y control		
0	D	7	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	No hay mantenimiento programado.	Overhaul	Regulación y control		
0	D	8	S	N	N	N	S	N	N				A condición	Realizar prueba los fines de semana de apertura y cierre, en caso de no responder, ejecutar limpieza y lubricación de los rodamientos de las compuertas.	Semanal	Operación		
0	D	9	S	N	N	N	S	N	N				A condición	Realizar prueba los fines de semana de apertura y cierre, en caso de no responder, ejecutar limpieza y lubricación de los rodamientos de las compuertas.	Semanal	Operación		
1	A	1	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Limpieza y lubricación del tornillo de elevación de los rodillos y contratuerca.	Semestral	Mantenimiento Mecánico		
2	A	1	S	N	S	N	S	N	N				A condición	Retirar la abrazadera, extracción y sustitución del empaque grafiado.	Diaria	Operación		
2	A	2	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspección diaria, en caso de encontrarse fuga, realizar cambio del tramo, y si amerita colocar un parche soldado en el tramo afectado.	Diaria	Operación		
2	A	3	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Realizar inspección diaria en la operación de descarga de pirita, en caso de falla efectuar cambio de empaque, cuando el pulverizador salga de servicio.	Diaria	Operación		
3	A	1	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Observar si el valor de entrada de aire, en la parte baja del pulverizador, no está acorde al diseño, si evacua la pirita. Proceder a rectificar el buje y cambiar el pin.	Diaria	Operación		
3	A	2	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Observar si el valor de entrada de aire, en la parte baja del pulverizador, no está acorde al diseño, si evacua la pirita. Proceder a extraer los tornillos y realizar cambios de tornillería.	Diaria	Operación		
3	A	3	S	S	N	S	S	N	N				A condición	Observar si el valor de entrada de aire, parte baja del pulverizador, no está acorde al diseño, si evacua la pirita. Abrir el manhol y retirar el material, en caso de ser alguna parte del molino desprendida, realizar una inspección total.	Diaria	Operación		
3	B	1	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	No hay mantenimiento programado.		Regulación y Control		
3	B	2	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Observar anomalías en la pantalla de tolva de pirita, revisar el final de carrera y en caso de mal estado, realizar cambio.	Diaria	Operación		
3	B	3	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Observar anomalías en la pantalla de tolva de pirita. Verificar presencia de fuga de aire por el pistón, efectuar revisión y cambio los interiores.	Diaria	Operación		
3	B	4	S	S	N	S	S	N	N				A condición	Observar anomalías en la pantalla de tolva de pirita. Verificar presencia de fuga de aire por el pistón, efectuar revisión y cambio los interiores.	Diaria	Operación		
3	B	5	S	S	N	S	S	N	N				A condición	Observar anomalías en la pantalla de tolva de pirita. Verificar si localmente la compuerta no está cerrada, desacoplar y retirar objeto extraño.	Diaria	Operación		
3	B	6	S	S	N	S	S	N	N				A condición	Observar anomalías en la pantalla de tolva de pirita. Verificar si localmente la compuerta no está cerrada, desacoplar y retirar objeto extraño.	Diaria	Operación		
3	B	7	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Alarma en sala de control por alto nivel de tolva de pirita. Retirar la varilla y realizar limpieza y mantenimiento al sensor.	Diaria	Operación		
4	A	1	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspección visual y prueba al pistón en banco.	Semanal	Operación /Regulación y Control		

Tabla 33. Hoja de decisión No.3 del pulverizador de carbón

HOJA DE DECISIÓN RCM II © 1990 ALADON LTD			SISTEMA: Quemado de Carbón							Sistema N°.			Facilitador:		Fecha:	Hoja N°. 3
			SUBSISTEMA: Pulverizadores de Carbón							Subsistema N°			Auditor:		Fecha:	De: 3
Referencia de Información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Acción a falta de			Tipo de Mantenimiento	Tareas Propuestas	Intervalo Inicial	A realizarse por
F	FF	FM	H	S	E	O			H4	H5	S4					
4	A	2	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspección visual y prueba al sistema neumático que envía el aire al pistón para cerrar las compuertas de salida de los pulverizadores.	Diaria	Operación
5	A	1	N	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspección visual y prueba al sistema neumático que envía el aire al pistón para cerrar las compuertas de salida de los pulverizadores.	Diaria	Operación
5	A	2	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	Realizar megueo al motor para descartar daños en las bobinas, y cambiar los rodamientos.		Mantenimiento Eléctrico
6	A	1	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Realizar prueba de vibración y ultrasonido a los rodamientos del motor. Efectuar cambio si se requiere.	Mensual	Mantenimiento Mecánico
6	A	2	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Desarmar y efectuar mantenimiento al pistón, verificar el estado de los interiores, cambiar si se requieren, verificar la existencia de pase de aire entre las cámaras. Verificación de correcto funcionamiento, normalizar el pistón.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico
6	A	3	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Verificar alarma de 480 V, bajar la presión de aire de sello, monitoreo de la continuidad.	Diaria	Operación
6	A	4	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Realizar pruebas, ajustar y calibrar el relé de sobrecorriente, sobrevoltaje y la puesta a tierra.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico
7	A	1	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Desarmar y efectuar mantenimiento al pistón, verificar el estado de los interiores, cambiar si se requieren, verificar la existencia de pase de aire entre las cámaras. Verificación de correcto funcionamiento, normalizar el pistón.	Anual	Regulación y Control
7	B	1	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Inspección de ductos para identificar el punto de polución y contaminación para solicitar su corrección a través de una chaqueta, o el cambio de la tubería si se requiere.	Mensual	Mantenimiento Mecánico
8	A	1	S	N	N	S	S	N	N				A condición	Limpieza y evacuación de los inmorturables o piritas del molino.	Diaria	Operación
9	A	1	N	N	N	S	N	N	N				Ninguno	Realizar medición de vibraciones con espectro al motor.	Trimestral	Mantenimiento Eléctrico
9	A	2	N	N	N	S	N	N	N				A condición	Tomar datos de tensiones, corrientes y temperatura de operación del sistema. Realizar medición de aislamiento e índice de polarización del motor.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico
9	A	3	N	N	N	S	S	N	N		S		Reacondicionamiento cíclico	Tomar datos de temperatura en puntos de conexión, realizar limpieza y ajuste de conexiones, en las borneras del motor.	Semestral	Mantenimiento Eléctrico
10	A	1	S	N	N	N	N	N	N				A condición	Realizar revisión y/o cambio de pistón si se requiere, inspeccionar y realizar cambio de interiores y empaquetadura.	Mensual	Regulación y Control
10	A	2	S	N	N	N	N	N	N				A condición	Limpieza, lubricación de partes móviles; prueba y verificación de correcto funcionamiento.	Mensual	Regulación y Control
10	A	3	S	N	N	N	N	N	N				A condición	Limpieza de la compuerta, remoción de ceniza y contaminación de la compuerta. Desacople del pistón, desarme y mantenimiento al pistón, verificación del estado de los interiores, cambiar si se requieren, verificación de no existente de pase de aire entre las cámaras. Normalización del pistón.	Mensual	Regulación y Control
10	A	4	S	N	N	N	N	N	N				A condición	Limpiezas de la compuerta, remoción de ceniza y contaminación de la compuerta. Desacople del pistón, desarme y mantenimiento al pistón, verificación del estado de los interiores, cambiar si se requieren, verificación de no existente de pase de aire entre las cámaras. Normalización del pistón.	Trimestral	Regulación y Control

6.2 DOCUMENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL MANTENIMIENTO

6.2.1 Manual de Mantenimiento. El manual de mantenimiento³⁵, es un documento indispensable para cualquier tipo y tamaño de industria. Refleja la filosofía, política, organización, procedimientos de trabajo y de control de esta área de la empresa. Disponer de un manual es importante por cuanto:

- Constituye el medio que facilita una acción planificada y eficiente del mantenimiento.
- Es la manifestación a clientes, proveedores, autoridades competentes y al personal de la empresa del estado en que se encuentra actualmente este sistema.
- Permite la formación de personal nuevo.
- Induce al desarrollo de un ambiente de trabajo conducente a establecer una conducta responsable y participativa del personal y al cumplimiento de los deberes establecidos.

El formato y contenido de cada manual dependerá de factores tales como el tamaño de la empresa, el tipo de productos que elabora o de servicios que brinda, los procedimientos de trabajo, los equipos, instalaciones y tecnología de que dispongan y el nivel educativo-cultural de todo su personal.

La función armónica y eficiente de la empresa se logra cuando todos sus trabajadores y funcionarios:

- Conocen y entienden las políticas y procedimientos de la organización.
- Funcionan eficientemente de acuerdo a esas políticas y procedimientos.

³⁵ Mantenimiento Industrial. Manual de mantenimiento. [En línea] [Fecha de consulta: 18 febrero 2017]. Disponible en: <http://mantenimientoindustrial17.blogspot.com.co/2008/10/manual-de-mantenimiento.html>

- Participan en su actualización en función de las necesidades cambiantes del entorno, del consumidor y del mercado.

La Central Termoguajira Gecelca S.A. E.S.P., está en la labor de crear y estructurar de forma adecuada, los manuales de mantenimiento, con el fin de disponer de forma ordenada de la información de cada uno de sus equipos de planta, con el objeto de facilitar la planeación y ejecución del mantenimiento.

6.2.2 Formatos de Mantenimiento. Para llevar un registro de reparaciones, mejoras y correcciones de fallas, etc., de un equipo, es pertinente hacerlo de forma apropiada, a través de los formatos de mantenimiento. En los formatos de mantenimiento, se llevan los registros de historial de todos los cambios de partes, modos fallas, plan de mantenimiento ejecutado, etc., para asegurar el máximo rendimiento operativo de cada equipo. En cada uno de los formatos de mantenimiento se registra si fue realizado el mantenimiento mensualmente o cada cierta cantidad de meses. Es importante que cada formato esté bien diligenciado. Además, los formatos de mantenimiento permiten llevar un inventario de todos los equipos operativos y de los que no están funcionando.

En Gecelca S.A. E.S.P., no se cuenta en la actualidad, con los formatos de mantenimiento adecuados, para la mayoría de los equipos. Por lo anterior y de acuerdo a los requerimientos de mantenimiento se propone el siguiente formato basado en RCM, para la realización de inspecciones, en donde se busca dar mayor participación a la parte operativa, motivando su capacidad y experiencia a la hora de detectar como primeros receptores de las fallas, la causa de las mismas y el comportamiento del equipo a la hora de dar a conocer fallas y anomalías durante su operación.

RCM a través de sus herramientas permite detallar para convertirnos en cazadores de fallas, por tal razón, se propone el siguiente formato de inspección de equipos para la Central Termoguajira.

Figura 41. Formato de inspección para la identificación de modos de falla

Código: Página: de Versión: Fecha: día/mes/año	Título: Formato de inspección para la identificación de modos de fallas y fallas Central Termoguaijra	
Equipo: _____ Activo: _____	Unidad: _____	Responsable: _____ Frecuencia: _____
1. Identificación del problema: _____ _____		
2. Condiciones encontradas fuera del estándar - Falla: _____ _____		
3. Evidencias con que se cuenta - (Especificación técnica: datos, planos, fotografías, datos reales y verbales, procedimientos, normas, otros, etc.): _____ _____		
4. Procedimiento: Plantear diferentes posibles causas inmediatas: _____ _____		
Esbozar causas básicas potenciales:		
	a. _____ b. _____ c. _____	
	a. _____ b. _____ c. _____	
	a. _____ b. _____ c. _____	
	a. _____ b. _____ c. _____	
5. Actuaciones a realizar (política de control) que garantice erradicación o control de la Falla:		
a. Sobre la Falla: _____		
b. Sobre la causa inmediata única: _____		
c. Sobre la causa básica única: _____		
d. Implementación de controles: Tareas y responsables, recursos, controles y nuevas mediciones para verificar validez del control aplicado: _____ _____		
Falla a resolver y erradicar: _____		
Fechas de registro: _____		
Ejecutor:	Fecha de ejecución:	Revisado por:

Fuente: MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 3ª ed. Medellín.: Coldi, 2016. 235 p. ISBN: 978-958-98902-0-2.

6.2.3 Formato de Planeación de Mantenimiento

En la actualidad Gecelca S.A. E.S.P., cuenta con el siguiente formato de planeación de mantenimiento.

Figura 42. Formato actual de planeación de Gecelca S.A. E.S.P.

Código: xxxx		Título: Planeación de Mantenimiento					
Versión:							
Página de		Responsable: Gerente de Mantenimiento					
Fecha: día/mes/año		Equipo: _____		Unidad: __		Responsable: _____	
		Fecha: _____		Activo: _____		Frecuencia: _____	
		Tiempo de ejecución: _____				Turnos de trabajo: _____	
Item	Descripción de la Tarea						
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
Recursos Requeridos							
Material Consumible	Cantidad	Repuestos	Cantidad	Herramientas y Equipos	Cantidad	Recurso Humano	Cantidad
Observaciones: _____							

Responsable:		Revisión:			Aprobación:		
Ejecutor		Supervisor					

Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

Se propone el siguiente formato de planeación de mantenimiento como modelo para efectuar mejor la organización de los recursos, tiempo, herramientas y demás detalles que requiere una adecuada planeación de trabajos de mantenimiento.

Figura 43. Hoja 1 Formato Propuesta para la planeación del mantenimiento

Código: xxxx Versión: Página 1 de 3 Fecha: día/mes/año	Título: Planeación de Mantenimiento									
	Responsable: Gerente de Mantenimiento									
Fecha: <input type="text"/>	Equipo: <input type="text"/>									
No. Activo: <input type="text"/>	Unidad: <input type="text"/>									
Grupo: <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td></tr> </table>									Descripción: <input type="text"/>	
Informe de Inspección										
Ubicación del Equipo:	<input type="text"/>									
Inspección Realizada:	<input type="text"/>									
Lista de Verificación										
Item	Descripción									
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
Recomendaciones										

Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

Figura 44. Hoja 2 Formato propuesta para la planeación de mantenimiento

Código: xxxx Versión: Página 2 de 3 Fecha: día/mes/año		Título: Planeación de Mantenimiento			
		Responsable: Gerente de Mantenimiento			
ITEM	LISTA DE ACTIVIDADES				
FASES DEL TRABAJO		PERSONAL POR TURNOS	TURNOS SUCESIVOS	ESTIMACION EN HORAS	RESPONSABLE
FASE I: PREPARATIVOS Y POTO COLO DE SEGURIDAD					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE II: DESARME					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE III: MEDICIONES INICIALES					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE IV: ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE V: ARMADO					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE VI: MEDICIONES FINALES					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE VII: NORMALIZACIÓN DEL EQUIPO Y EL AREA					
1					
2					
3					
4					
5					
FASE VIII: PRUEBA					
1					
2					
3					
4					
5					

Fuente: Gecelca S.A. E.S.P.

6.3 FORMATOS DE PLANEACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE LOS PULVERIZADORES DE CARBÓN

6.2.1 Planificación del Trabajo. Al efectuar el estudio del RCM, en el que se han definido los diferentes fallos que podrían producirse en los pulverizadores de carbón utilizados en la central térmica, así como los métodos o tareas a desarrollar para poder prevenir dichos fallos, a continuación, se exponen tres planes de trabajo, cuyo objetivo será llevar a cabo el mantenimiento de los pulverizadores de carbón. Para observar de forma detallada los planos y las figuras, contenidos en los planes de trabajo, remitirse al Anexo C. Planos y figuras del pulverizador de carbón.

En función de las tareas a desarrollar diferenciaremos cuatro planes de trabajo: plan no.1, plan no.2 y plan no.3.

6.3.1.1 Plan No.1. Se realizarán inspección y engrase del pulverizador de carbón, estando en funcionamiento. Su ejecución es responsabilidad del personal de operación y se llevará a cabo diariamente o semanalmente.

Las figuras 46 y 47, ilustran el formato sugerido para ejecutar el plan de mantenimiento rutinario, para los pulverizadores de carbón.

Figura 46. Hoja 1, Revisión diaria del pulverizador de carbón

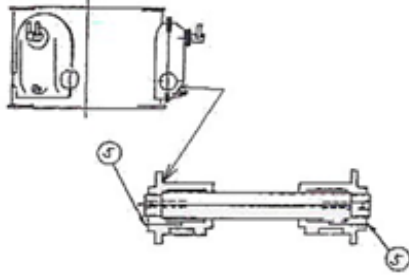
Código: Página: 1 de 2 Versión: Fecha: día/mes/año	Título: Mantenimiento Rutinario Pulverizadores de Carbón Central Termoguajira	
Equipo: <u>Pulverizador de Carbón Molino</u> Activo: _____	Unidad: __	Responsable: <u>Operación</u> Frecuencia: <u>Diario</u>
Plan de Trabajo: Revisión Diaria Pulverizador de Carbón Inspección, limpieza y engrase del Pulverizador de Carbón		
		
Figura A.		
Efectuar este procedimiento antes de arrancar el molino y durante la operación solo cuando esté fuera de servicio:		
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel de aceite del carter o caja de engranajes. Reponer hasta su nivel de trabajo si se requiere. Nivel de trabajo 680L. (Verificar nivel máximo y mínimo de las mirillas).	
<input type="checkbox"/>	Comprobar nivel de aceite de los rodillos. Reponer hasta su nivel de trabajo correcto si se requiere. Nivel de trabajo 19 (L), nivel 530~610 mm.	
<input type="checkbox"/>	Engrasar ligeramente el punto 5 "rodamientos planos" de la figura A. Con grasa EP2 de Mobil.	
<input type="checkbox"/>	Verificar pérdida de aceite en el carter o caja de engranajes. Inspección visual.	
<input type="checkbox"/>	Limpieza general del Molino. Remoción de pirita, ceniza, carbón, etc., depositados sobre el cuerpo del Molino.	
<input type="checkbox"/>	Verificar el aumento del nivel de aceite del carter, para descartar roturas y fugas en el sistema de refrigeración del aceite.	
<input type="checkbox"/>	Efectuar una inspección visual general a todo el Molino, para observar el estado aparente, tornillería, anclajes, seguridades, etc.	
<input type="checkbox"/>	Reportar las condiciones encontradas en un informe que debe ser entregado al ingeniero de turno, como parte de la rutina de inspección del operador.	
Inspección	Revisión	Cliente
Nombre: Inspector	Nombre: Planeación	Ingeniero de Mantenimiento

Figura 47. Hoja 2, Revisión diaria pulverizador de carbón

Código: Página: 2 de 2 Versión: Fecha: día/mes/año		Título: Mantenimiento Rutinario Pulverizadores de Carbón Central Termoguajira	
Equipo: <u>Pulverizador de Carbón Molino</u> Unidad: __		Responsable: <u>Operación</u>	
Activo: _____		Frecuencia: <u>Diario</u>	
Plan de Trabajo: Revisión Diaria Pulverizador de Carbón			
Criterios para la Lubricación del Pulverizador de Carbón			
<input type="checkbox"/>	Debe cambiarse el aceite cuando éste muestre signos de contaminación o tendencia a espesarse, o cuando un análisis de laboratorio indique que se requiere el cambio.		
<input type="checkbox"/>	El nivel de aceite de los muñones de los rodillos debe verificarse cuando el molino esté fuera de servicio.		
<input type="checkbox"/>	Se recomienda la inspección periódica de la temperatura del aceite en la caja de engranajes, a través de un termómetro instalado en la pared lateral de la caja de engranajes. La temperatura de éste debe mantenerse por debajo de 65°C, si está por encima de este valor es indicación de: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 1. Bajo nivel de aceite, reponga el nivel lo más pronto posible. <input type="checkbox"/> 2. Agotamiento del lubricante o sedimentación. Cambie el aceite. <input type="checkbox"/> 3. Formación de depósitos en el serpentín de enfriamiento. Ver figura 15 plano 32300-1113, para las instrucciones del caso. <input type="checkbox"/> 4. Cantidad insuficiente de agua enfriamiento. Incremente el flujo de agua. Redúzcala si es posible. 		
<input type="checkbox"/>	El muñón del Rodillo se debe llenar con aceite hasta el nivel mostrado en la placa de instrucciones para aceite, adjunta a la tapa de apertura del muñón. (Ver plano 32300-1131, numeral 9, M3 ½).		
<input type="checkbox"/>	La apertura entre la cabeza del muñón (6) y la cubierta del muñón superior (7) debe inspeccionarse para evidenciar escape de aceite o no. Esta inspección se debe realizar cada seis meses y/o cuando se presenten las oportunidades. (Ver plano 32300-1131, numeral 6 y 7, M3 ½).		
<input type="checkbox"/>	Para cambiar el aceite, se extrae por sifón el aceite agotado y se adiciona el nuevo hasta el nivel requerido.		
<input type="checkbox"/>	Engrasar los siguientes elementos según recomendaciones del Protocolo 12: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 1. Los pernos de tope del muñón. <input type="checkbox"/> 2. Los tornillos de ajuste del resorte. <input type="checkbox"/> 3. Los cojinetes. <input type="checkbox"/> 4. Los casquillos del botón del resorte sobre los molinos. <input type="checkbox"/> 5. Los tornillos de tope de los muñones (Figura 7 Numeral 8, Plano 32300-1131 M3 ½). 		
<input type="checkbox"/>	El acople motor a molino debe lubricarse de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.		
Inspección	Revisión	Cliente	
Nombre: Inspector	Nombre: Planeación	Ingeniero de Mantenimiento	

6.3.1.2 Plan No.2. Se procede a realizar una toma de holguras, ajuste de la presión de los rodillos y la verificación de la posición del actuador. Su ejecución es responsabilidad del personal de mantenimiento mecánico y se llevará a cabo anualmente, aproximadamente cada 8.000 horas de funcionamiento del pulverizador de carbón.

El siguiente es el plan sugerido, incluye mantenimiento del sistema de muelleo y de los rodillos (Anexo E).

Figura 48. Hoja 1, Mantenimiento del sistema de muelleo y los rodillos

Código: Página: 1 de 4 Versión: Fecha: día/mes/año		Título: Mantenimiento Anual Pulverizadores de Carbón Central Termoguajira	
Equipo: Pulverizador de Carbón Molino Activo: _____		Unidad: ____	Responsable: Mantenimiento Mecánico Frecuencia: 8000 horas
Plan de Trabajo: Mantenimiento Sistema de Muelleo del Pulverizador de Carbón Plano No. D-74-234-12			
Pasos	Actividades		
<input type="checkbox"/> 1	Abrir los 3 manholes con llave mixta de 24mm o dado con perra neumática.		
<input type="checkbox"/> 2	Realizar limpieza interna al molino.		
<input type="checkbox"/> 3	Revisar la separación del rodillo respecto del tazón y al muñón del cabezote del resorte. Tomar medidas.		
<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 1. Quitar el aro que asegura el eje y la tuerca del eje del resorte. <input type="checkbox"/> 2. Aflojar la contratuerca según No. 54 y colocar dispositivo y gato de 20 toneladas con manómetro en bar o tonelada para verificar presión del resorte que debe estar en 11 toneladas o 3200 psi.		
<input type="checkbox"/> 5	Soltar la contra tuerca según plano No. 51 y desenroscar el tornillo que separa el cabezote del resorte del muñón aproximadamente 30 mm.		
<input type="checkbox"/> 6	Presionar el resorte con el gato hasta que afloje la tuerca según plano No. 53 y verificar la presión del resorte. Nota: una vez verificada la presión, se debe liberar el gato aflojándolo poco a poco y cuidadosamente, hasta que la tuerca quede floja. Desmontar el dispositivo.		
<input type="checkbox"/> 7	<input type="checkbox"/> 1. Aflojar las dos contratuercas posición No.25 y después los dos tornillo gato según posición No.23 para que el rodillo repose en el tazón. <input type="checkbox"/> 2. Desmontar toda la tomillería frontal y lateral que ajusta la tapa al cuerpo del molino.		
<input type="checkbox"/> 8	<input type="checkbox"/> 1. Trasladar las tapas al taller. <input type="checkbox"/> 2. Retirar la tuerca según posición No. 53 que ajusta el resorte. <input type="checkbox"/> 3. Desenroscar el tornillo según No. 47 que desplaza el resorte. <input type="checkbox"/> 4. Desmontar rodamiento axial y radial.		
<input type="checkbox"/> 9	<input type="checkbox"/> 1. Soltar el tornillo del cilindro No.36, que ajustan el resorte. <input type="checkbox"/> 2. Retirar el eje, los resortes, anillo y pistón según posición No.42, rodamientos axiales y radiales.		
Elaborado por: Ing. Kenny Guerra Fuenmayor Supervisor Mantenimiento TEG.		Revisado por:	

6.3.1.3 Plan No.3. Se sugiere realizar una revisión parcial del pulverizador de carbón (verificación de la corona y el sinfín. Su ejecución es responsabilidad del personal de mantenimiento mecánico y se llevará a cabo aproximadamente cada 16.000 horas de funcionamiento del equipo. El siguiente es el plan de trabajo sugerido (Anexo F).

Figura 49. Hoja 1, Mantenimiento de la corona y sinfín del pulverizador de carbón

Código: Página: 1 de 3 Versión: Fecha: día/mes/año		Título: Mantenimiento Bianual Pulverizadores de Carbón Central Termoguajira	
Equipo: <u>Pulverizador de Carbón Molino</u>		Unidad: <u> </u>	Responsable: <u>Mantenimiento Mecánico</u>
Activo: <u> </u>		Frecuencia: <u>16000 horas</u>	
Plan de Trabajo: Mantenimiento de la Corona			
Plano No. E-74-500			
Pasos	Actividades		
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 1. Desmontar la tornillería de los enfriadores de aceite. <input type="checkbox"/> 2. Desmontar enfriadores de aceite.		
<input type="checkbox"/> 2	Asegurar el eje vertical en la parte superior con un diferencial de 5 T y un cáncamo.		
<input type="checkbox"/> 3	Retirar la tornillería de la tapa del rodamiento inferior según plano E-74-500, posición No. 78, tornillería según plano posición No. 28.		
<input type="checkbox"/> 4	Soltar tornillería de la tapa inferior de mayor diámetro, según plano E-74-500, posición No. 19.		
<input type="checkbox"/> 5	Retirar la tornillería que ajusta el rodamiento según plano No. E-74-500, posición No. 23.		
<input type="checkbox"/> 6	Quitar la tapa que sostiene el rodamiento, según plano No. E-74-500, posición No. 22.		
<input type="checkbox"/> 7	Desmontar el buje que aloja al rodamiento según plano No. E-74-500, posición No. 74		
<input type="checkbox"/> 8	Soltar tornillería de la tapa principal del carter según plano No. E-74-500, posición No. 16, parte inferior, y los pines de guía según plano No. E-74-500, posición No. 84.		
<input type="checkbox"/> 9	Desmontar la tapa del carter.		
<input type="checkbox"/> 10	Desmontar el rodamiento axial.		
<input type="checkbox"/> 11	Asegurar con unos esparragos, la corona con la tapa superior del carter.		
<input type="checkbox"/> 12	Quitar el prisionero de la tuerca que ajusta a la corona.		
<input type="checkbox"/> 13	Desmontar la tuerca.		
<input type="checkbox"/> 14	Soltar el prisionero que ajusta la cuña de la corona al eje, según no. E-74-500, posición no.39.		
Elaborado por: Ing. Kenny Guerra Fuenmayor Supervisor Mantenimiento TEG.		Revisado por:	

6.2.1.4 Plan No.4. Se procede a realizar un mantenimiento total del pulverizador de carbón. Su ejecución es responsabilidad del personal de mantenimiento mecánico y se llevará a cabo aproximadamente cada 32.000 horas de funcionamiento del equipo. Para mejor visualización de los planos y figuras, consignados en el procedimiento no.4, consultar el Anexo C, Planos y figuras del Pulverizador de Carbón, y el Anexo F, plan completo del mantenimiento total del pulverizador de carbón. El formato sugerido para dicha intervención es el siguiente:

Figura 50. Hoja 1, Mantenimiento total del pulverizador de carbón

Código: Página: 1 de 8 Versión: Fecha: día/mes/año		Título: Mantenimiento Total Pulverizadores de Carbón Central Termoguajira	
Equipo: <u>Pulverizador de Carbón Molino</u>		Unidad: <u> </u>	Responsable: <u>Mantenimiento Mecánico</u>
Activo: <u> </u>		Frecuencia: <u>32000 horas</u>	
Plan de Trabajo: Revisión Total Pulverizador de Carbón			
Lista de Actividades			
Pasos	Actividades		
<input type="checkbox"/> 1	Gestión de Permisos: <input type="checkbox"/> 1. Generación de orden de trabajo. <input type="checkbox"/> 2. Hacer la libranza. <input type="checkbox"/> 3. Desenergizar el equipo <input type="checkbox"/> 4. Procedimiento de etiqueta y candado (motor molino). <input type="checkbox"/> 5. Entregar libranza al operador. <input type="checkbox"/> 6. Registrar en el libro de libranzas con las firmas del operador y el técnico encargado.		
<input type="checkbox"/> 2	Puesta en fuera de servicio del Molino, desenergizando los siguientes elementos: <input type="checkbox"/> 1. Motor del molino. <input type="checkbox"/> 2. Motores del alimentador de carbón. <input type="checkbox"/> 3. Motor circuito lubricación.		
<input type="checkbox"/> 3	Verificar: <input type="checkbox"/> 1. Cierre de las compuertas de aire caliente, frío y aire de sello. <input type="checkbox"/> 2. Verificar que no exista aire a molino: ni aire primario, ni de sello. <input type="checkbox"/> 3. Aunque la unidad no esté en operación se debe desconectar y bloquear la fuente de poder del motor del molino como medida de precaución.		
<input type="checkbox"/> 4	Abrir manholes del molino y raspadores.		
<input type="checkbox"/> 5	Medir la concentración de O ₂ en el Molino y purgar el Molino: asegurarse que el valor de O ₂ es del 18%.		
<input type="checkbox"/> 6	Ventilar completamente el molino cuando el valor de O ₂ es menor que el deseado, cuando quede bastante carbón residual en el molino o cuando se va a hacer soldadura en el molino.		
<input type="checkbox"/> 7	Efectuar una limpieza exterior e interior de todo el molino hasta que quede limpio.		
<input type="checkbox"/> 8	Adecuar las herramientas de izaje de carga.		
<input type="checkbox"/> 9	Desmontar la instrumentación de las compuertas de descarga del molino.		
<input type="checkbox"/> 10	Desacoplar y desmontar carrito de acople motor molino.		
<input type="checkbox"/> 11	Desmontar tubería de carbón (ductos y bridas), de las compuertas de salida del molino y ducto de alimentación, así mismo retirar los tubos y ángulos de soportería del molino ubicado en la tapa superior.		
<input type="checkbox"/> 12	Desmontar las cuatro compuertas de descarga del molino.		
Elaborado por: Ing. Kenny Guerra Fuenmayor Supervisor Mantenimiento TEG.		Revisado por:	

7. CONCLUSIONES

Al desarrollar la propuesta de la estrategia de mantenimiento basado en confiabilidad RCM, para los pulverizadores de carbón de la Central Termoguajira, Gecelca S.A. E.S.P., podemos concluir:

Con la colaboración del personal de mantenimiento y producción de Gecelca S.A. E.S.P., se logra la construcción de la estrategia basada en RCM, para el plan mantenimiento de los Pulverizadores de Carbón de la Central Termoguajira, necesaria para lograr iniciar un cambio de cultura entorno al mantenimiento de estos equipos, importantes para el quemado de carbón. Lo anterior con el objetivo de mejorar los indicadores de resultados de la gestión del mantenimiento, disminuyendo las pérdidas asociadas a la mala ejecución, a través del aprovechamiento de los recursos asociados para el logro de tal fin.

La aplicación del RCM a los pulverizadores de carbón de la central, permitió identificar, de forma dinámica, los modos de falla más frecuentes y críticos, además de reconocer el impacto y consecuencias que estos producen. Con la anterior información se logró establecer las actividades de mantenimiento, su frecuencia y los responsables de su ejecución, lo cual, nos permite prever que ocurran fallas inesperadas en la operación de pulverización del carbón.

Se identificaron los criterios de funcionamiento de cada uno de los sistemas y componentes que conforman al pulverizador, permitiendo adquirir un gran entendimiento de cada uno de estos, su relación y dependencia entre ellos y su correspondencia con la función primaria o principal. Para los Pulverizadores de

Carbón, se identificaron cuatro funciones necesarias para lograr la función principal de la máquina, moler 19 Ton/Hr suministradas por el alimentador y clasificarlo hasta obtener una fineza del 75% pasando por malla 200, con una temperatura de 77°C.

El análisis de modos y efectos de falla (FMEA), permitió de forma ordenada la aplicación de una metodológica lógica y simple, para identificar los diferentes modos y efectos de falla, que pueden ocasionar la pérdida de la función de un equipo. Cabe agregar, que, por medio de la matriz de riesgo, se evaluó el nivel de criticidad del efecto generado por el modo de falla, esto desde el punto de vista de seguridad, medio ambiente, costos, impacto y flexibilidad operacional. Para el pulverizador de carbón, se identificaron 19 modos de falla y sus efectos, para la función primaria, y 32 modos de falla y sus efectos para la función secundaria.

Con el estudio de la criticidad, se logró identificar y clasificar en tres niveles de criticidad, a los componentes del pulverizador de carbón (Críticos C, Semi críticos SN y No críticos NC), lo cual, permitió, replantear la toma de decisión y el direccionamiento de los esfuerzos, que se deseen adoptar en la organización, para la aplicación del RCM.

La consecución y análisis de datos, del sistema de información de la organización, denominado Mainsaver, permitió identificar oportunidades de mejora. Efectuar un correcto registro de las actividades de mantenimiento y alimentar al sistema de información con datos claros, completos y precisos, hace la diferencia en el momento de obtener, registros históricos de mantenimiento, tiempos de ejecución, horas hombre utilizadas, fallas y modos de fallas identificados, repuestos, materiales e insumos requeridos, etc. Las anteriores son solo, algunas de las ventajas que deja el adecuado manejo de la información, que se constituye en una herramienta clave

para efectuar análisis de fallas y modos de falla e identificar frecuencias de ocurrencias, tiempos de ejecución; con esto, se obtienen variables importantes que arrojan resultados reales del comportamiento y gestión del mantenimiento en la organización.

La hoja de decisión facilitó la implementación de una metodología coherente, para la elección del tipo de mantenimiento más pertinente, que se debe efectuar para contrarrestar los modos de falla, y de esta manera evitar la ocurrencia de las fallas funcionales. Para el pulverizador de carbón, el 6% corresponde a reacondicionamiento cíclico, el 73% a mantenimiento a condición y el 21% a ningún mantenimiento programado.

Dentro de las actividades de mantenimiento propuestas, se encuentra la implementación y uso de formatos de inspección, procedimientos de mantenimiento y planeación, los cuales, buscan fortalecer a los operarios y al personal de mantenimiento, en la búsqueda e identificación de fallas y modos de falla, en la ejecución adecuada del mantenimiento con los procedimientos y manuales indicados y en la planeación del mantenimiento. Utilizando estas herramientas, como apoyo, se cultiva la mentalidad predictiva que permite adelantarse a la falla, se ejecutan mantenimientos de calidad con el uso de manuales e instructivos y se fomenta la planeación proactiva y dinámica. Es importante resaltar que esta mejora se logrará con capacitación y sensibilización del personal, para crear una cultura de compromiso hacia el mantenimiento.

La metodología del mantenimiento centrado en confiabilidad RCM, es una grandiosa herramienta para establecer el plan de mantenimiento, sin embargo, para lograr mejores resultados en el tiempo, se debe alimentar constantemente en la

medida que se vayan identificando modos de falla no contemplados en esta propuesta inicial.

BIBLIOGRAFÍA

AGUIRRE, Ángela y Bravo, David. Diseño y propuesta para la implementación de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM para la planta de asfalto de Conalvías equipos ubicada en la regional de Plato Magdalena. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015.

BERMEO, Nory y BAUTISTA, Miguel. Diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para una turbina de gas General Electric LM6000PC en térmicas Ecopetrol GDA, Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, 2015, pp. 52-53.

_____. Diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para una turbina de gas General Electric LM6000PC en térmicas Ecopetrol GDA, Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. pp. 74-75.

_____. Diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para una turbina de gas General Electric LM6000PC en térmicas Ecopetrol GDA, Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. 77 p.

Central Termoeléctrica. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016].
Disponible en: https://www.ecured.cu/Central_termoeléctrica

DISTRAL, Guía de operación y mantenimiento de Pulverizadores de Carbón, Corporación Eléctrica de la costa Atlántica, Central Termoeléctrica del Cerrejón Unidad II, Vol. B2. 1983. 1 p.

Energía térmica de combustión. [En línea] [Fecha de consulta: 10 mayo 2016].
Disponible en: <http://energiatermicadecombustion.blogspot.com.co/>

Generación de Energía. [En línea] [Fecha de consulta: 12 diciembre 2016].
Disponible en: <https://www.gecelca.com.co/index.php/generacion>

Generador de Vapor. Unidad de Capacitación y Desarrollo/Comisión Federal de Electricidad. V0.1. 16 de diciembre de 1999. [Consulta: 20 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

GONZÁLEZ, Andrea y BOHÓRQUEZ, Daniel. Propuesta del plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para la operación de un taladro de perforación de una empresa del sector minero en Antioquia. Monografía Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Bucaramanga 2015. 44 p.

Norma SAE JA 1011. [En línea] [Fecha de consulta: 28 diciembre 2016]. Disponible en: rcm3.org/la-norma-sae-ja-1011

Mantenimiento Industrial. Manual de mantenimiento. [En línea] [Fecha de consulta: 18 febrero 2017]. Disponible en: <http://mantenimientoindustrial17.blogspot.com.co/2008/10/manual-de-mantenimiento.html>

MHI, Mitsubishi Ltda. Manual de Instrucciones, Corporación Eléctrica de la costa Atlántica, Central Termoeléctrica del Cerrejón Unidad I, Equipos de Combustión Vol. M-3 ½. 1891. pp. 18-21. [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

_____. Manual de Instrucciones, Corporación Eléctrica de la costa Atlántica, Central Termoeléctrica del Cerrejón Unidad I, Equipos de Combustión Vol. M-3 ½. 1981. pp. 21-24. [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

MORA, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo. 3ª ed. Medellín: Coldi, 2016. 17p. ISBN: 978-958-98902-0-2.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Fases del Proceso RCM. En: Ponencia clase de RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (10-11, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016. 2 p.

MORA GUTIERREZ, Alberto. Principios básicos a desarrollar para la implementación del RCM. En: Ponencia en clase de RCM. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial De Santander UIS (10-11, junio, 2016: Barranquilla). Memorias. Barranquilla: 2016.

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. 7p. ISBN: 09539603-2-3.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon LLC. Edición en español. 2004. 202 p. ISBN: 09539603-2-3.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad RCM II. Aladon LLC. Edición en español, 2004. Pp. 206 -210. ISBN: 09539603-2-3.

ORTIZ, Daniel. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá, junio 2011. 3p.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 4p.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 11p.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 12p.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. 13p.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. pp. 14-15.

_____. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. En: Diplomado en Gestión de Mantenimiento. ACIEM, Asociación Colombiana de Ingenieros. (junio, 2011: Bogotá). Memorias. Bogotá: 2011. pp. 16-18.

Organigrama [En línea] [Fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <https://www.gecelca.com.co/index.php/organigrama>

Reseña Histórica de Gecelca S.A. E.S.P. [En línea] [Fecha de consulta: 14 abril 2016]. Disponible en: <http://www.gecelca.com.co/index.php/empresa/resena-historica>

Turbina de Vapor. Unidad de Capacitación y Desarrollo/Comisión Federal de Electricidad. V0.1-23 de marzo de 1999. [Consulta: 21 mayo 2016]. Disponible en: Archivo de la Central Termoguajira.

Ubicación de Gecelca S.A. E.S.P. [En línea] [Fecha de consulta: 12 diciembre 2016]. Disponible en: <http://www.gecelca.com.co/index.php/empresa/ubicacion>

ANEXOS

ANEXO A. Tratamiento de datos.

ANEXO B. Análisis de criticidad.

ANEXO C. RCM del pulverizador de carbón

ANEXO D. Planos y figuras del pulverizador de carbón.

ANEXO E. Plan No.2, Mantenimiento del sistema de muelle y rodillos del pulverizador de carbón.

ANEXO F. Plan No.3, Mantenimiento de la corona y el sinfín del pulverizador de carbón.

ANEXO G. Plan No.4, Mantenimiento total del pulverizador de carbón