

**ELABORACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA
LOS EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN DE CARBÓN DE LAS UNIDADES II Y III
DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A.
E.S.P.**

CARLOS ANDRÉS RIVERA ROMERO

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

2016

**ELABORACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA
LOS EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN DE CARBÓN DE LAS UNIDADES II Y III
DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A.
E.S.P.**

CARLOS ANDRÉS RIVERA ROMERO

**Monografía de grado como requisito para optar al título de ESPECIALISTA
EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

Director

**GUSTAVO ANDRÉS ÁNGEL FLECHAS
Ingeniero Electromecánico**

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

2016

DEDICATORIA

A mis padre Carlos y Carmen que los amo profundamente, porque creyeron en mí y que con su sacrificio y entrega me sacaron adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta. Va por ustedes por lo que valen, porque admiro su fortaleza, responsabilidad y entrega.

A mi familia que con su apoyo incondicional sirvieron de motor para darme apoyo en las situaciones difíciles y salir adelante en el trascurso de la especialización, mis palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su compromiso y consejos en todo momento

AGRADECIMIENTOS

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por mi trabajo y sugerencias recibidas del Ingeniero Gustavo Andrés ángel, Ingeniero de la unidad de servicios técnicos GENSA-TERMOPAIPA, Coordinador del proyecto, ya que con sus aportes profesionales se obtuvo la creación de parte del proyecto, que con su colaboración desinteresada influyo en el desarrollo del proyecto.

A la empresa GENSA .S.A E.S.P. Central Termoeléctrica de Paipa, en especial a todo el personal de talleres de mantenimiento de caldera, eléctrico, industrial y de servicios técnicos que a través de su contribución técnica, profesional y su experiencia contribuyeron de una u otra forma en el desarrollo del proyecto.

Un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibido de mi familia.

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN DE UN MODELO DE GESTIÓN DE MANTENIMIENTO PARA LOS EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN DE CARBÓN DE LAS UNIDADES II Y III DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A. E.S.P. *

AUTOR: CARLOS ANDRÉS RIVERA ROMERO **

PALABRAS CLAVES: pulverizadores de carbón, mantenimiento preventivo, medio ambiente.

DESCRIPCIÓN

Este proyecto tiene como objetivo la elaboración de un programa estructurado para el desarrollo de las actividades de mantenimiento de la Central Termoeléctrica de Paipa en los sistemas de pulverización de carbón para el proceso de combustión en la caldera. Se realiza un estudio del sistema de pulverización de carbón mediante información obtenida de los manuales de los fabricantes, personal de operación y mantenimiento para crear un programa de mantenimiento preventivo con el objeto de evitar estados de falla de los equipos, los cuales son críticos para reducir tiempos en paradas correctivas de la unidad, en algunos casos reducir emisiones atmosféricas de carbón pulverizado emitidos por averías dentro del cuerpo de la máquina.

Se realiza la identificación de los equipos que conforman los sistemas y se organizan de acuerdo al esquema funcional, así como sus especificaciones técnicas. Se describen en detalle cada uno de los componentes. Se realiza una revisión del historial de mantenimiento para establecer modos de falla y un diagnóstico para generar el programa de mantenimiento preventivo y un plan de mejoras, las cuales serán presentadas al comité técnico para su implementación. También, se hizo una propuesta de inversión para el carbón pulverizado, con el objetivo de optimizar el proceso.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia del Mantenimiento, Director: Gustavo Andrés Ángel Flechas, Ingeniero Electromecánico.

SUMMARY

TITLE: DEVELOPMENT OF A MANAGEMENT MODEL FOR EQUIPMENT MAINTENANCE SPRAY COAL UNIT II AND III OF THE CENTRAL PAIPA Thermoelectric Energy Management S.A. E.S.P.*

AUTHOR: CARLOS ANDRÉS ROMERO RIVERA **

KEY WORDS: coal pulverizers, preventive maintenance, environment.

DESCRIPTION

This project aims at developing a structured approach to the development of maintenance activities of the Thermoelectric Central Paipa in coal pulverizing systems for the combustion process in the boiler program. A study of the spraying system of coal is performed using information obtained from manufacturers' manuals, operating and maintenance personnel to create a preventive maintenance program in order to avoid state failure of equipment, which are critical to reducing corrective times stops, in some cases reduce atmospheric emissions from pulverized coal issued by faults within the body of the machine.

The identification of equipment that make up the systems is made and is organized according a functional scheme is carried out; as well as their technical specifications. They described in detail each of the components. Is made a review the maintenance history is reviewed to establish failure modes and a diagnostic to generate the preventive maintenance program and an improvement plan which will be submitted to the technical committee for implementation. Also, was made an investment proposal for the pulverized coal, with the aim of optimizing the process.

* Degree Work.

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director Gustavo Andrés Ángel Flechas, Mechanical Engineer.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. GESTIÓN ENERGÉTICA S.A. GENSA S.A. E.S.P. CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA	20
1.1 ASPECTOS GENERALES	20
1.2 RESEÑA HISTÓRICA	22
1.3 UBICACIÓN	25
1.4 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	25
1.4.1 Estructura Organizacional	25
1.4.2 Visión	26
1.4.3 Misión	26
1.4.4 Política de calidad	26
1.4.5 Certificaciones	27
1.5 PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA	28
1.5.1 Descripción del Proceso de Generación	28
1.5.2 Sistema de carbón de la Central Termoeléctrica de Paipa.	32
1.5.2.1 Recepción del carbón	32
1.5.2.2 Traslado y trituración	32
1.5.2.3 Alimentación del pulverizador	32
1.5.2.4 Pulverización	33
1.5.2.5 Combustión	33
1.5.2.6 Evacuación de cenizas	33
1.5.3 Breve descripción de los pulverizadores de carbón	33
2. OBJETIVOS	35
2.1 OBJETIVO GENERAL	35
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35

3. MARCO TEÓRICO	36
3.1 PULVERIZADORES	36
3.1.1 Pulverizadores de carbón	36
3.2 MANTENIMIENTO	41
3.2.1 Historia del mantenimiento	41
3.2.2 Definición de Mantenimiento	44
3.2.3 Tipos de mantenimiento	45
3.2.3.1 Mantenimiento preventivo	45
3.2.3.2 Mantenimiento correctivo	49
3.2.3.3 Mantenimiento predictivo	50
3.2.3.4 Mantenimiento proactivo	51
4. AUDITORÍA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL PARA EL SISTEMA DE PULVERIZACIÓN DE CARBÓN CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA	52
4.1 RESULTADO DE LA AUDITORÍA	63
4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	66
4.2.1 Pulverizador B&W EL 76	66
4.2.1.1 Partes principales	68
4.2.2 Elementos de molienda	74
4.2.2.1 Resortes	74
4.2.2.2 Anillo superior de molienda	75
4.2.2.3 Anillo inferior de molienda	76
4.2.2.4 Bolas	77
4.2.2.5 Clasificador	77
4.2.2.6 Sistema de aire primario	78
4.2.2.7 Blindajes	79
4.2.2.8 Válvulas de balance	79

4.2.2.9 Sistema de aire caliente	80
4.2.2.10 Flujo de carbón	81
4.2.2.11 Mezcla carbón- aire	81
4.2.2.12 Mecanismo conductor	82
4.3 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO Y FALLAS	83
5. INVENTARIO Y CODIFICACIÓN	92
5.1 INVENTARIO	92
5.2 CODIFICACIÓN	96
5.2.1 Código de área de la empresa	98
5.2.2 Código de clase de equipo	99
5.2.3 Número consecutivo	99
6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD	102
6.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR	102
6.2 ALCANCE Y OBJETIVO DEL ESTUDIO	104
6.3 SELECCIÓN DE PERSONAL A ENTREVISTAR	104
6.4 RECOLECCIÓN DE DATOS	105
6.4.1 Modelo de criticidad de factores ponderados basados en el concepto del riesgo	105
6.4.1.1 Valores de factores ponderados	107
6.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA	108
6.5.1 Clasificación de los equipos organizado en la matriz de criticidad	110
7. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (FMEA)	113
7.1 ACTIVIDADES PARA REALIZAR UN FMEA	114
7.1.1 Gravedad (G)	116
7.1.2 Ocurrencia (O)	116
7.1.3 Detección (D)	117

7.1.4 Número de prioridad del riesgo (NPR)	117
8. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO	124
8.1 MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO	124
8.2 PROPUESTAS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA GRANULOMETRÍA DEL CARBÓN PULVERIZADO	130
8.2.1 Consideraciones generales	133
8.2.2 Número de bolas de relleno	135
8.2.3 Programa de actividades para el método de dos juegos de bolas	136
8.2.4 Programa de actividades para el método de un solo juego de bolas en el pulverizador	140
8.2.5 Control de desgaste de los elementos de molienda.	144
8.3 ESTUDIO ECONÓMICO	147
8.3.1 PRESUPUESTO DE INVERSIÓN.	148
8.3.1.1 Inversiones fijas	148
8.3.1.2 Inversiones diferidas	149
8.3.2 Presupuesto para el método de dos juegos de bolas	150
8.3.2.1 Inversiones fijas	150
8.3.2.2 Inversiones diferidas	151
8.3.3 Presupuesto para el método de un juego de bolas	154
9. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	158
10. CONCLUSIONES	159
11. RECOMENDACIONES	162
BIBLIOGRAFÍA	164
ANEXOS	166

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normatividad de la Empresa	27
Tabla 2. Temperaturas comunes de mezcla carbón-aire a la salida del pulverizador	40
Tabla 3. Características de pulverizadores tipos EL y MPS	41
Tabla 4. Auditoría de la gestión del mantenimiento	53
Tabla 5. Resultado de auditoría de mantenimiento	63
Tabla 6. Características del motor	70
Tabla 7. Características resorte	74
Tabla 8. Inventario proceso de pulverización	93
Tabla 9. Código áreas de la empresa	99
Tabla 10. Código de área y proceso	99
Tabla 11. Codificación de repuestos del pulverizador B&W EL 76	100
Tabla 12. Valores de Factores Ponderados	107
Tabla 13. Análisis de criticidad	108
Tabla 14. Análisis de criticidad pulverizadores de carbón GENSA. S.A. E.S.P.	109
Tabla 15. Rango de análisis de criticidad	111
Tabla 16. Clasificación gravedad	120
Tabla 17. Clasificación frecuencia de ocurrir	120
Tabla 18. Clasificación defectibilidad	121
Tabla 19. Análisis de modo de falla	121
Tabla 20. Programa de mantenimiento preventivo pulverizadores de carbón	124
Tabla 21. Desgaste de las bolas del pulverizador con las horas de trabajo acumuladas juego 1 y 2	133
Tabla 22. Tiempo de trabajo para cada uno de los intervalos de desgaste	134

de los dos juegos de bolas	
Tabla 23. Diámetros Normalizados de bolas para pulverizador	134
Tabla 24. Elementos utilizados en la reparación general de la cámara de molienda	136
Tabla 25. Resumen de actividades para el uso de dos juegos de bolas alternativamente	139
Tabla 26. Horas de trabajo acumuladas para desgaste a los diámetros normalizados	140
Tabla 27. Duración del juego de bolas para el desgaste entre los intervalos de diámetros normalizados	141
Tabla 28. Resumen de las actividades de relleno de bolas cuando se usa un solo juego	143
Tabla 29. Formato para el registro del control de desgaste elementos de molienda	145
Tabla 30. Formato para el registro del control de desgaste elementos de molienda	146
Tabla 31. Personal operativo necesario para la reparación general de la cámara de molienda	151
Tabla 32. Personal operativo necesario para el cambio de bolas, ajuste y calibración	152
Tabla 33. Personal operativo necesario para el ajuste	152
Tabla 34. Inversiones fijas para el método de dos juegos de bolas	153
Tabla 35. Inversiones diferidas para el método de dos juegos de bolas	154
Tabla 36. Inversiones diferidas para el método de un juego de bolas	155
Tabla 37. Inversiones fijas para el método de un juego de bolas	155

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Línea de tiempo Termopaipa	23
Figura 2. Sedes principales de GENSA en el país	24
Figura 3. Ubicación planta Termopaipa	25
Figura 4. Organigrama Corporativo	26
Figura 5. Proceso de transformación de la energía	28
Figura 6. Proceso de producción de energía a carbón	31
Figura 7. Pulverizador B&W EL 76	39
Figura 8. Interpretación gráfica de la auditoría de mantenimiento	65
Figura 9. Carcaza pulverizador	69
Figura 10. Mecanismo conductor	70
Figura 11. Motor pulverizador	71
Figura 12. Eje principal.	71
Figura 13. Placa superior	72
Figura 14. Yugo	73
Figura 15. Resortes	74
Figura 16. Placa superior	75
Figura 17. Anillo inferior de molienda	76
Figura 18. Juego de bolas	77
Figura 19. Clasificador	78
Figura 20. Válvula de carga o de balance	79
Figura 21. Acumulación de ceniza en cámara de molienda.	84
Figura 22. Desgaste cono interior	84
Figura 23. Desgaste del perno resorte	85
Figura 24. Desgaste resorte helicoidal	85
Figura 25. Desgaste soporte láminas del clasificador	86

Figura 26. Desgaste láminas ajustables	86
Figura 27. Desgaste dientes separadores pista superior	87
Figura 28. Bolas desgastadas y abolladas	87
Figura 29. Abolladuras y desgaste pista inferior	88
Figura 30. Desgaste en codos y ductor superiores	88
Figura 31. Degaste de paredes del cuerpo	89
Figura 32. Desgaste paredes yugo	89
Figura 33. Blindajes desgastados	90
Figura 34. Pista inferior fracturada por alta vibración	90
Figura 35. Eje rayado por desalineación	91
Figura 36. Esquema de codificación de equipos	98

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis de modo y efecto de falla pulverizador	134

INTRODUCCIÓN

Gestión Energética S.A. E.S.P GENSA - TERMOPAIPA es una empresa encargada de generar energía a partir de carbón en la región de Boyacá y entregarla al Sistema Interconectado Nacional mediante tres Unidades de Generación denominadas: Unidad I, Unidad II, Unidad III. Estas tres unidades cuentan con una capacidad total instalada de 181 MW, distribuidos en 33 MW, 74 MW y 74 MW por cada unidad respectivamente. Adicionalmente cuenta con la representación comercial de la Unidad IV de Propiedad de CES con una capacidad de generación de 150 MW. La capacidad instalada disponible en Termopaipa equivale aproximadamente al 6,73 % del total de la capacidad térmica instalada en el país y el 30.98 % del total de la capacidad térmica a carbón, lo que mantiene a GENSA como el generador térmico a carbón más grande del país.

Para el proceso de generación de energía la central termoeléctrica de Paipa cuenta con un conjunto de instalaciones donde se aprovecha la energía calorífica contenida en un combustible para luego producir energía eléctrica. El grupo termoeléctrico está compuesto básicamente por un Generador de Vapor o Caldera, donde usando el calor producido por el Fuel Oil, ACPM o Carbón, se calienta una determinada cantidad de agua hasta vaporizarla; la turbina por su parte, transforma el vapor en energía mecánica de rotación, mientras el alternador convierte la energía mecánica que convierte la turbina en energía eléctrica. Por último, tenemos la subestación con sus respectivos transformadores, disyuntores, seccionadores, entre otros, es aquí donde se realizan las maniobras para distribuir la energía generada.

Dentro del proceso de generación de energía de Termo-Paipa, se encuentra el proceso para la pulverización de carbón encargada de suministrar carbón pulverizado a la caldera para el proceso de combustión. Este proceso cuenta con unos equipos para la pulverización de carbón que actualmente presentan modos de falla que en ocasiones, conducen a paradas no programadas, derrateo de las unidades y aumento en las emisiones atmosféricas. Por tal razón, es necesario realizar un modelo de gestión de mantenimiento de este sistema para categorizar los diferentes modos de falla, sus causas y consecuencias para así lograr un mejor desempeño.

Históricamente este sistema, cuenta con planes de mantenimiento de tipo correctivo, estudios de eficiencia y planes de inversión anuales para la adquisición de repuestos. Sin embargo, es requerido optimizar la gestión de mantenimiento para lograr una reducción en los modos de falla presentados en estos equipos.

1. GESTIÓN ENERGÉTICA S.A. GENSA S.A. E.S.P. CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA

1.1 ASPECTOS GENERALES

GESTIÓN ENERGÉTICA S.A E.S.P- GENSA es una sociedad anónima dedicada a actividades de generación, distribución y comercialización de energía eléctrica principalmente desde la Central Térmica a Carbón Termopaipa (Boyacá, Colombia), con domicilio principal en Manizales, personería jurídica propia, plena autonomía administrativa y capital independiente. GENSA ejecuta la administración, operación y mantenimiento de centrales en todo el país además asume el reto de comercializar la energía de las tres Unidades de Termopaipa y de la Unidad IV de Empresa de Energía de Sochagota.

Gestión Energética S.A. E.S.P, que se adoptó oficialmente desde el 27 de febrero de 2004, el cual se ajusta perfectamente a la variedad de actividades al objeto principal de la sociedad, las cuales se enuncian a continuación:

- Prestación de uno o más de los servicios públicos de que trata la Ley 142 de 1994 o realización de una o varias de las actividades de la ley considera como complementarias o una y otra actividad.
- Promoción del desarrollo de proyecto hidroeléctricos y de cualquier otra fuente de energía convencional, y no convencional o alternativa, incluyendo los

posibles trasvases hídricos para aumentar la producción de centrales generadoras.

- Promoción y desarrollo de programas y proyectos de Uso Racional de la Energía (URE) y fuentes no convencionales de energía.
- Construcción, administración, operación, mantenimiento y reparación de todo tipo de infraestructura eléctrica (centrales de generación, líneas y subestaciones eléctricas).
- Exploración, explotación y beneficio de minerales, de canteras y de materiales de construcción.
- Realización de estudios de consultoría, interventoría, dirección y administración técnica, construcción, operación y mantenimiento en cualquier actividad, proyectos, obras civiles, electromecánicas y trabajos anexos y complementarios.
- Realización de estudios de consultoría, interventoría, y todo lo relacionado con la gestión ambiental de infraestructura existente y proyectos en general, así como estudios de impacto ambiental (EIA) , planes de licenciamiento ambientales, planes de reforestación de cuencas hidrográficas, explotación industrial y comercial de las mismas, actividad ecológicas, turísticas, socioeconómicas, de prestación de públicos en zonas y corredores territoriales

de influencia de los proyectos que realice y realicen otros y en todo con los estudios correspondientes que se ejecuten con tales propósitos.

- Realización de inversiones, actividades comerciales de energéticos de uso industrial o cualesquiera otros productos relacionados con la prestación de servicios públicos, el medio ambiente o actividades conexas y complementarias.

1.2 RESEÑA HISTÓRICA

Entra en operación con la unidad uno, cuyo montaje de esta se llevó a cabo en la década de los 60 y entró en operación comercial en el año 1963, con una capacidad inicial de generación de 33 Mw. Luego se realizó el montaje de la unidad dos en la década de los 70 y entró en operación comercial en el 1976 con una capacidad inicial de generación de 66 Mw, en el año de 1993 se repotencio aumentando su generación a 74Mw. La unidad tres fue montada en la década de los 80 y entró en operación comercial en el año 1981 con una capacidad de generación de 74 Mw.

Desde el año 2004 GENSA empezó a abrir su portafolio de servicios, realizando actividades de administración, operación y mantenimiento de infraestructura eléctrica (centrales de generación, subestación y líneas de distribución de energía), interventoría y gerenciamiento de proyectos.

En el 2005, cuando el Gobierno Nacional decidió capitalizar a GENSA S.A E.S.P con los activos de generación de Termo Paipa, representados en las unidades I, II, III de la Central y el Contrato de compra venta de potencia con la central Termoeléctrica Paipa IV que tenía EBSA S.A E.S.P con la Compañía Eléctrica de Sochagota CES, contrato conocido como PPA de Paipa IV, para que fuera administrado hasta su terminación en el año 2019.

La figura 1 ilustra el desarrollo a través del tiempo de la Central Termoeléctrica de Paipa desde su creación en 1955, incluyendo los cambios en la empresa encargada de su administración, primero fue responsabilidad de EBSA hasta el 2005 cuando GENSA asume su operación.

Figura 1. Línea de tiempo Termopaipa.



Fuente: Departamento de Servicios Técnicos GENSA S.A E.S.P. “Reseña histórica y Caracterización de las unidades I, II y III, versión 02”

GENSA S.A E.S.P., se convirtió en el mayor productor térmico a carbón en el país y empezó a obrar como generador y comercialización en el Mercado de Energía Mayorista. Esta empresa ha hecho presencia en 31 departamentos en Colombia desde el año 2005 a través de proyectos de generación de energía, redes de distribución, generación en las ZNI (Zonas no Interconectadas), infraestructuras Civil y tecnológica. GENSA cuenta con sedes principales en Manizales (caldas), Bogotá (Cundinamarca), Paipa (Boyacá), Puerto Inírida (Guainía), Guapi (cauca), Mitú (Vaupés), Bahía Solano (choco) como lo muestra la siguiente figura.

Figura 2. Sedes principales de GENSA en el país.

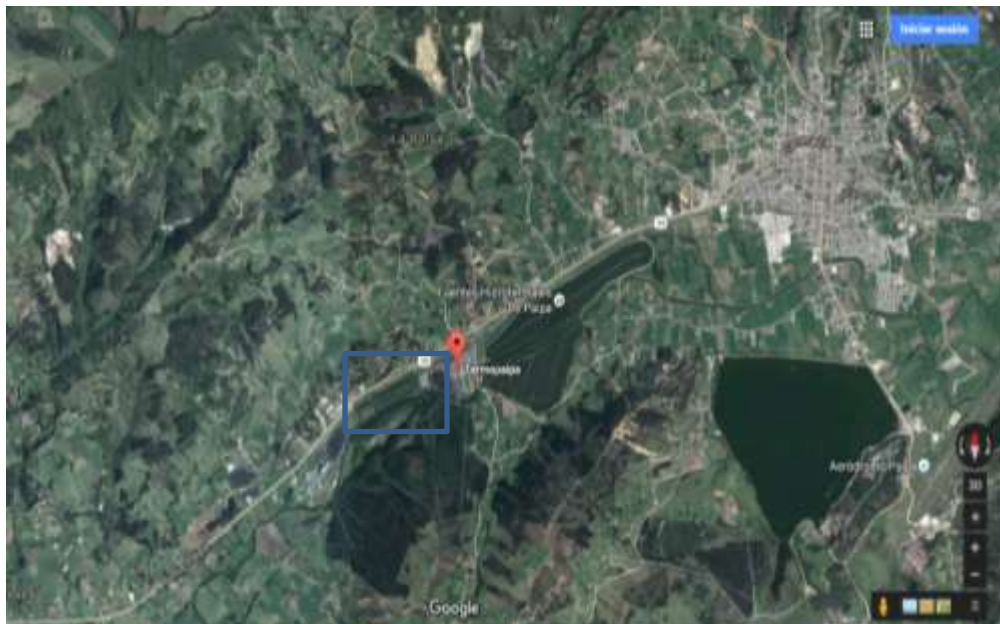


Fuente: <http://www.gensa.com.co>

1.3 UBICACIÓN

La Central Termoeléctrica TERMOPAIPA propiedad de GENSA, está ubicada en el Kilómetro 3 vía Paipa - Tunja, Municipio de Paipa (Ver figura 3), Departamento de Boyacá, se encuentra a una altura de 2576 metros sobre el nivel del mar, distante de 195 km del norte de Bogotá.

Figura 3. Ubicación planta Termopaipa.

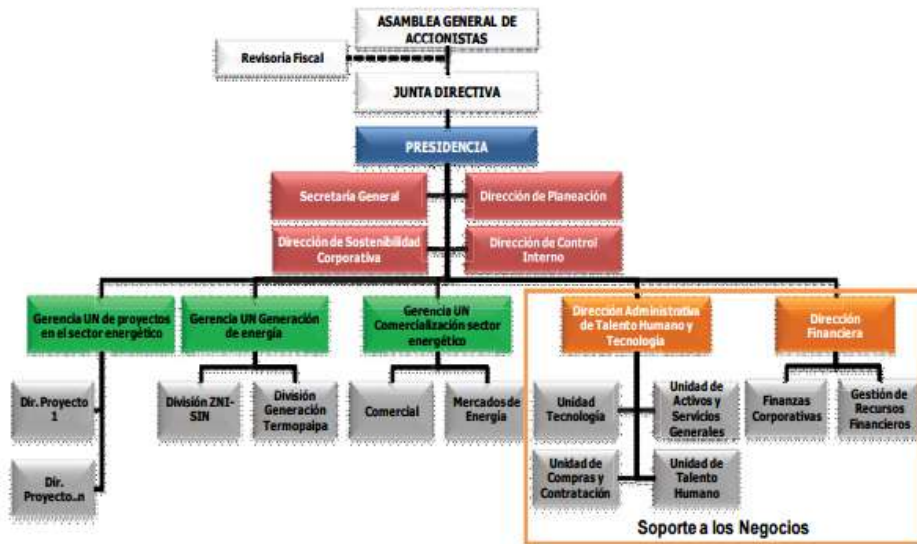


Fuente: <https://maps.google.es>

1.4 ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

1.4.1 Estructura Organizacional. Cuenta con un organigrama en el cual se puede determinar la jerarquización de la empresa como lo muestra la siguiente figura.

Figura 4. Organigrama Corporativo.



Fuente: <http://www.gensa.com.co>

1.4.2 Visión. “GENSA S.A E.S.P en el año 2018 será una de las mejores empresas generadoras y comercializadoras de energía eléctrica de América Latina y se constituirá en unos de los pilares fundamentales del estado para aportar soluciones sostenibles al Sistema Energético Colombiano.

1.4.3 Misión. Contribuir a mejorar la calidad de vida y al progreso de las regiones donde interactuamos, a través del desarrollo eficiente y sostenible de actividades con énfasis en el sector energético, generando valor para los grupos de interés.

1.4.4 Política de calidad. Cumplir con todos los requisitos que garanticen una eficiente, efectiva y eficaz gestión desarrollo en el sector energético a través en la calidad de sus procesos, involucrando la seguridad industrial, salud ocupacional y protección del medio ambiente a todos sus grupos de interés, dando cumplimiento

a las directrices institucionales y requisitos legales, superando las expectativas y mejorando continuamente.

1.4.5 Certificaciones. Nuestra gestión propende por la calidad y el compromiso con la prevención de riesgos, el manejo sostenible de nuestros procesos y entorno social, convirtiéndonos en una empresa líder que orienta sus esfuerzos hacia la producción más limpia y el empleo eficiente de los recursos naturales renovables, uso racional de la energía y disminución de costos, superando las expectativas a través del mejoramiento continuo.

La empresa cuenta con las siguientes normas vigentes de la tabla 1⁵.

Tabla 1. Normatividad de la Empresa.

NORMA	PROCESO
ISO 9001:2008	Generación y comercialización de energía eléctrica, interventoría, administración, operación y mantenimiento de infraestructura energética en sistemas interconectados y zonas no interconectadas. Gerencia técnica administrativa y ambiental de proyectos de infraestructuras, civil, eléctrica y mecánica.
ISO 9001:2008	Procedimiento para la operación y mantenimiento de las unidades I, II y III de Termopaipa.
NTC GP 1000: 2009	Generación y comercialización de energía eléctrica, interventoría, administración, operación y mantenimiento de infraestructura energética en sistemas interconectados y zonas no interconectadas. Gerencia técnica administrativa y ambiental de proyectos de infraestructuras, civil, eléctrica y mecánica.

⁵ Departamento de Servicios Técnicos GENSA. S.A E.S.P. “Sistema Integrado de Gestión”

**OHSAS
18001:2007**

Generación y comercialización de energía eléctrica, interventoría, administración, operación y mantenimiento de infraestructura energética en sistemas interconectados y zonas no interconectadas.

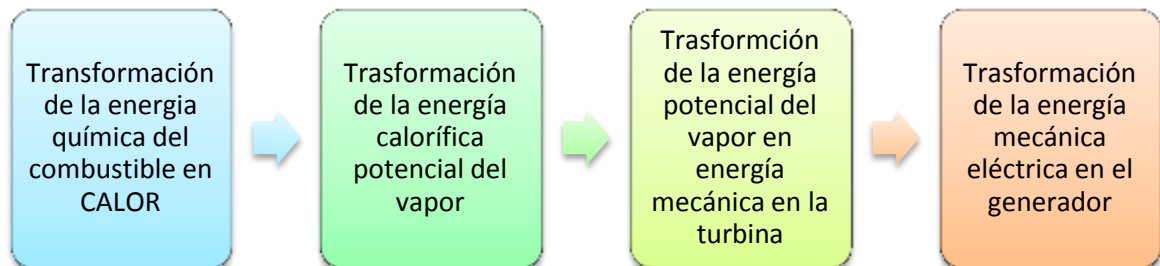
Gerencia Técnica administrativa y ambiental de proyectos de infraestructuras, civil, eléctrica y mecánica.

Fuente: Departamento de Servicios Técnicos GENSA S.A E.S.P.

1.5 PROCESO DE GENERACIÓN DE ENERGÍA.

1.5.1 Descripción del Proceso de Generación. “En la Central Termoeléctrica de Paipa se obtiene la producción de energía partiendo de la Energía Térmica del combustible, esta transformación de energía se efectúa en 4 etapas básicas como lo muestra la figura 5.

FIGURA 5. Proceso de transformación de la energía.



Fuente: Departamento de Servicios Técnicos GENSA S.A E.S.P.

El carbón que llega de las minas existentes en la region del altiplano Cundi-boyacense a la planta es almacenado en pilas de acopio. De allí es elevado a tolvas de almacenamiento a través del sistema de bandas transportadoras haciendolá pasar por una etapa de trituración, luego pasa a los alimentadores que son encargados de regular la cantidad de carbón que debe pasar a los pulverizadores, allí se mezcla con aire caliente a una temperatura entre 65°C a

75°C: la mezcla de carbón pulverizado y aire es impulsada a través de ductos hasta los quemadores y la cámara de combustión de la caldera.

Los generadores de vapor o calderas lo que buscan es convertir el fluido que se encuentra en estado líquido (agua) en vapor con determinadas características de temperatura y presión.

Las calderas modernas de alta presión están compuestas básicamente por un hogar, un conjunto de quemadores, un domo, un sobrecalentador de baja temperatura (SBT), un sobrecalentador de alta temperatura (SHT), un atemperador, economizadores, un calentador de aire, ventiladores de tiro forzado, ventiladores de tiro inducido, sistema de filtros para ceniza y sopladores de hollín o deshollinadores, que permiten que el agua que circula por el interior de los tubos de la caldera se caliente al punto de convertirse en vapor saturado y sobrecalentado, que será utilizado para impulsar los alabes de la turbina y generar un movimiento rotacional que impulsará el eje del generador.

Luego de todo el proceso de evaporización de agua en la caldera, llega este vapor a la turbina. El vapor que efectúa este trabajo en la turbina, sufre una expansión, es decir que pasa de una presión P_1 a una P_2 adquiriendo por lo tanto una velocidad en otras palabras la energía de presión adquirida por el vapor de la caldera se transforma en energía cinética transformándose en la turbina en energía mecánica.

Siguiendo el ciclo térmico se encuentra el condensador que es un gran intercambiador de calor, compuesto por miles de tubos de bronce, conectados a dos caras en lámina de acero. Por el interior de los tubos circula agua fría, que es

tomada del lago de refrigeración. En nuestra planta se generan 178MW del cual se requiere un flujo de agua de 20000 m³/h, la entrada de agua de refrigeración al condensador esta sobre unos 18°C y la salida del condensador entre 23°C y 25°C.

Por el exterior de los tubos del condensador circula vapor de baja presión que al entrar en contacto con ellos les cede al agua de refrigeración su calor latente de vaporización, se condensa disminuyendo volumen creando en el condensador cierto grado de vacío, el agua condensada es llevada a la parte inferior del condensador.

Luego de aquí se extrae por medio de unas bombas llamadas bombas de extracción de condensado, que llevan a los recalentador de baja y alta presión, mezclándose con el agua de alimentación y cumpliendo así el ciclo térmico del vapor.

El generador eléctrico o alternador es el encargado de convertir la energía mecánica transmitida por la turbina en energía eléctrica. Es una máquina sincrónica que gira a 3600 rpm, en una tensión de 13600 voltios y 60 Hz. En la figura 6 se muestra el proceso de producción a carbón de la central termoeléctrica de Paipa. ”⁶

⁶ Departamento de Servicios Técnicos GENSA S.A E.S.P. “Reseña histórica y Caracterización de las unidades I, II y III, versión 02”

1.5.2 Sistema de carbón de la Central Termoeléctrica de Paipa. En la Central Termoeléctrica de Paipa, se usa carbón mineral como combustible para la generación de vapor en las calderas, para que el carbón sea sometido al proceso de combustión en el hogar de dichas calderas debe seguir un proceso previo de preparación, el cual puede descubrirse de la siguiente forma:

1.5.2.1 Recepción del carbón. El mineral procedente de yacimientos ubicados en regiones aledañas a la planta, llega en volquetas, a cuyo contenido se forma una primera muestra, la cual es analizada para conocer el poder calorífico, la humedad, movilidad y demás características de calidad del carbón que ser utilizado posteriormente, además se realiza la medición del peso del carbón que ingresa, el cual es apilado en el patio de carbón en el que permanece hasta cuando sea necesario utilizarlo.

1.5.2.2 Traslado y trituración. Del patio de carbón se traslada por bandas transportadoras a un triturador, el cual regula el tamaño de grano de máximo 1in de arista aproximadamente, para luego ser trasladadas a otra banda hasta las tolvas de alimentación.

1.5.2.3 Alimentación del pulverizador. Antes de llegar al molino de pulverización, el flujo de carbón es regulado por un alimentador, este es regulado por el control de pulverización para mantener un nivel adecuado de carbón en el pulverizador continuamente. El alimentador es accionado por un motor de inducción con velocidad variable para su óptimo funcionamiento, el alimentador debe ser colocado en el piso inmediatamente superior al del molino de pulverización.

1.5.2.4 Pulverización. El carbón debidamente dosificado entra al molino pulverizador, donde debe llegar al tamaño de grano deseado; por acción del aire primario, el carbón ya pulverizado sale por tres ductos los cuales se dirigen a los diferentes niveles de la caldera.

1.5.2.5 Combustión. Al llegar la mezcla primario-carbón a su respectivo nivel, es aplicado el flujo de aire secundario en los quemadores, donde se realiza la combustión de la mezcla.

1.5.2.6 Evacuación de cenizas. Al salir de la cámara de combustión, la ceniza de carbón es humedecida y trasladada por medio de bandas transportadoras al silo de almacenamiento para luego ser evacuada al exterior de la planta.

1.5.3 Breve descripción de los pulverizadores de carbón. En la Central Termoeléctrica de Paipa, unidades II y III se encuentran instalados molinos tipo bolas marca Babcock & Wilcox Company EL 76, cuatro molinos de por cada unidad. En este tipo de molinos, un árbol vertical accionado por engrane cónico, lleva un anillo giratorio sobre el que rueda cierto número de bolas de gran tamaño hechas de acero resistentes a la erosión, dispuestas en una fila circular, el carbón baja del alimentador colocado en el piso superior y se descarga sobre el anillo superior fijo y la fila de bolas, el anillo superior está presionado por resortes para mantener cierta presión sobre las bolas. Una vez molido el carbón, pasa al exterior y hacia arriba por encima del anillo de retención, entonces encuentra una corriente ascendente de aire precalentado, que lo arrastra hacia la parte alta y choca con la periferia del clasificador giratorio donde entra tangencialmente.

Las partículas de tamaño excesivo son devueltas al molino, mientras el ventilador extrae el carbón fino y el aire primario por el cono inferior; la temperatura del aire primario se controla a fin de mantener un rango de 65 a 71°C (150 A 160 °F) en la temperatura de la mezcla carbón-aire. La presión de las bolas se gradúa apretando más o menos un tornillo de la tapa, se usan cojinetes de alta calidad con engranajes a presión. El molino se mueve con un motor de velocidad constante (100rpm); variando el ajuste del alimentador se varía la producción.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar un modelo de gestión de mantenimiento para los equipos de pulverización de carbón de las unidades II y III de la Central Termoeléctrica de Paipa Gestión Energética S.A. E.S.P.

2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ◆ Realizar un diagnóstico de la situación actual de la gestión de mantenimiento para el proceso de pulverización de carbón en GENSA S.A E.S.P.

- ◆ Obtener los indicadores de gestión que permitan medir, de la mejor manera, la gestión de mantenimiento.

- ◆ Determinar la mejor estrategia de mantenimiento para el modelo gerencial.

- ◆ Proponer la estrategia para su implementación.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 PULVERIZADORES

3.1.1 Pulverizadores de carbón. El desarrollo de la pulverización de carbón es paralelo al de la tecnología de combustión del carbón pulverizado; los primitivos sistemas utilizaban molinos con carga de bolas para pulverizar el carbón, y silos para el almacenaje antes de quemarlo.

La evolución tecnológica para eliminar los silos y quemar el carbón, transportado directamente por vía neumática desde los pulverizadores, requiere equipamientos más sensibles y fiables, necesidad que complementan los pulverizadores verticales con extracción por chorro de aire, que emplean elementos rodantes sobre mesas o platos giratorios que muelen finamente el carbón que se extrae del molino mediante aire, para su transporte directo a los quemadores.

Actualmente se dispone de una amplia gama de pulverizadores, como:

- MPS, Loesche (que cubren las necesidades de las plantas termoeléctricas).
- El tipo EL, que cubre los requisitos industriales de cargas menores.

Para mantener operativas las modernas plantas termoeléctricas que queman carbón, es fundamental disponer de unas características operativas fiables en los pulverizadores de combustible. Un pulverizador tiene que ser capaz de manipular una amplia variedad de carbones y de acomodarse a las oscilaciones de la demanda de la red eléctrica.

Una diferencia fundamental entre los sistemas de caldera y los pulverizadores de carbón, radica en que éstos se dimensionan y operan como máquinas de flujo másico, mientras que cualquier caldera se regula térmicamente, por lo que el poder calorífico del combustible juega un papel importante. Dentro del sistema de alimentación de combustible para la caldera, se encuentra la preparación del carbón. Después de ser triturado como se dijo antes a un tamaño regular de 1 in aproximadamente, este debe ser pulverizado para cumplir con los requerimientos necesarios para una combustión adecuada. La función de los pulverizadores o sistemas de carbón pulverizado consiste en pulverizar el carbón, llevarlo al equipo de combustión y realizar una combustión completa en el hogar con un mínimo de aire de exceso. Una porción del aire necesario para la combustión (15 al 20%) se utiliza para transportar el carbón, el remanente de aire se introduce al quemador y se le conoce como aire secundario.

Para el procedimiento, distribución y quemado del carbón pulverizado, han usado dos sistemas principales: el sistema de depósitos y el sistema de quemado directo, en la actualidad el sistema que se instala de manera casi exclusiva es el de quemado directo.

El sistema de aire directo permite el empleo continuo de carbón en bruto directamente desde las carboneras. Esto se realiza mediante la alimentación directa de carbón con un tamaño límite máximo, al pulverizador, donde se seca que se pulveriza para enviarse luego a los quemadores en una sola operación continua, existen dos métodos de quemado directo: Tipo presión y el Tipo succión.

- Quemador a presión: en este método el ventilador principal de aire ubicado en la entrada del pulverizador, fuerza el aire caliente primario a través del

pulverizador donde recoge el carbón pulverizado y suministra la mezcla apropiada de carbón-aire a los quemadores.

- Quemador a succión: el aire y el carbón se succiona a través del pulverizador bajo una presión negativa por un extractor localizado a la salida del pulverizador, luego llevado al quemador.

Todas las máquinas de pulverización funcionan para moles por impacto, rozamiento, compresión o una combinación de dos o más de ellas. Existen cuatro tipos principales de pulverización: Molino de tubo, molino de bolas, molino de tazón, y molino de fricción.

Los pulverizadores generalmente se operan bajo pequeña succión, pero si tienen un sello adecuado se pueden operar bajo presión de aire. El nivel de carbón en los molinos debe controlarse y mantenerse constante para una mejor operación. El carbón pulverizado es clasificado y las partículas grandes se regresan al molino para ser pulverizado y luego llevarlas a los quemadores. Según la velocidad de operación de los pulverizadores, estos pueden también clasificarse como sigue:

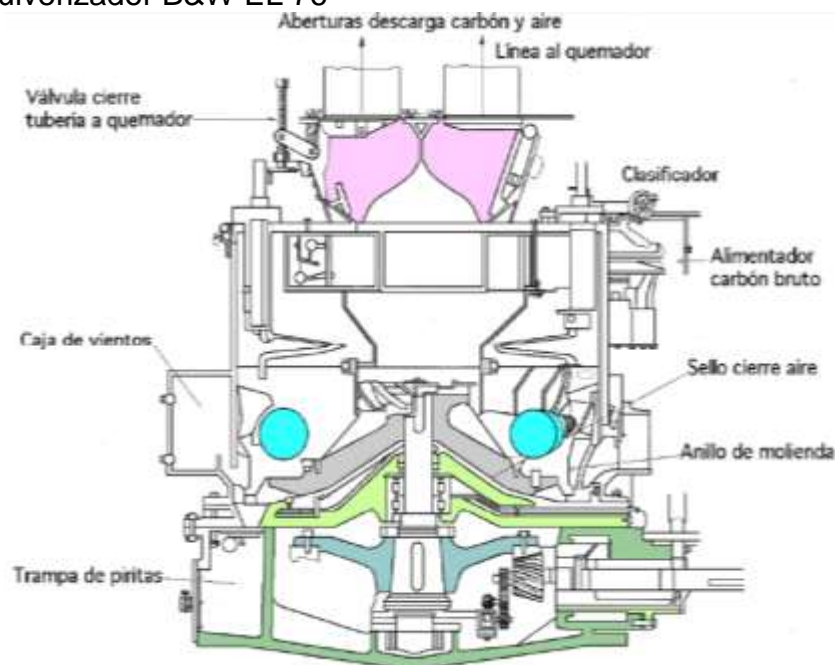
- De velocidad baja- menores de 75 rpm.
- De velocidad media- de 75 a 225 rpm.
- De velocidad alta- más de 225 rpm.

Por lo general, los molinos de velocidad baja son del tipo de tazón, los de velocidad media suelen ser de bolas y los de alta velocidad del tipo de fricción. En la mayor parte de las instalaciones, se aplica el sistema de inyección directa en el

que el carbón pulverizado mezclado con aire pasa directamente del pulverizador a los quemadores y la rapidez de combustión se regula por la rapidez de pulverización.

Para producir el flujo de aire seco y temperado que transporte el carbón pulverizado, es necesario un ventilador, este se denomina ventilador de aire primario. El aire primario entra al pulverizador a temperaturas que puedan oscilar entre 150 y 400 °C (300 Y 750 °F), dependiendo de la humedad de carbón y del tipo del pulverizador.⁷

Figura 7. Pulverizador B&W EL 76



Fuente: Operating instructions for type el pulverize the Babcock Wilcox Company

⁷ TERMOPAIPA II & III- MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO, The Babcock & Wilcox Company.

El porcentaje de material volátil en el combustible tiene relación directa con la temperatura recomendada del aire primario para la combustión. Los valores aceptados en general para las temperaturas de la mezcla aire-combustible a la salida del pulverizador son los que muestran en la siguiente tabla.

Tabla 2. Temperaturas comunes de mezcla carbón-aire a la salida del pulverizador.

COMBUSTIBLE	°F	°C
Lignito	120-140	49-60
Bituminoso muy volátil	150	66
Bituminoso poco volátil	150-175	66-79
Antracita	175-212	79-100

Fuente: manual del ingeniero mecánico

Los pulverizadores tipos E y EL tienen identificaciones numéricas que indican el diámetro medio de la pista huella de molturación del plato inferior, en ("). El tipo E se ha construido hasta el tamaño E-70, y capacidad de 17 ton/h (15 Tm/h).

El tipo EL se ha construido hasta el tamaño EL-76, y capacidad de 20 ton/h (18 Tm/h). Las partes de mayor desgaste en ambos pulverizadores son, los dos anillos plato y el conjunto de las bolas de molturación, que se fabrican con aleaciones resistentes a la abrasión y son fácilmente sustituibles.⁸

⁸ Steam Its generation and de use, The Babcock & Wilcox Company, 42 st Edition, Barberton, Ohlo, U.S.A., 2005.

Tabla 3. Características de pulverizadores tipos EL y MPS.

<i>Concepto</i>	<i>"EL" (pista y bolas)</i>	<i>"MPS" (pista y rodillos)</i>
<i>Rango de tamaños</i>	<i>EL-71 a EL-76</i>	<i>MPS-56 a MPS-118</i>
<i>Capacidad, ton / h (t / h)</i>	<i>1,5 a 20 (1,4 a 18)</i>	<i>17 a 105 (15 a 95)</i>
<i>Potencia motor, HP (kW)</i>	<i>25 a 300 (18 a 224)</i>	<i>200 a 1.250 (149 a 933)</i>
<i>Nivel de velocidad</i>	<i>Medio</i>	<i>Bajo</i>
<i>Velocidad plato, rev / min</i>	<i>231 a 90</i>	<i>32 a 21</i>
<i>Operación</i>	<i>Presurizada</i>	<i>Presurizada</i>
<i>Clasificador</i>	<i>Interno, centrífugo</i>	<i>Interno, centrífugo</i>
<i>Ajuste de clasificación</i>	<i>Interno</i>	<i>Interno</i>
<i>Límite de secado</i>	<i>40% H₂O ó temperatura aire primario 700°F (321°C)</i>	<i>40% H₂O ó temperatura aire primario 750°F (399°C)</i>
<i>Corrección carga / humedad</i>	<i>Ninguna hasta límite temperatura</i>	<i>Correcc. carga con > 4% hum. superficial</i>
<i>Límite máximo temperatura salida</i>	<i>250°F (121°C)</i>	<i>210 F (99 C)</i>
<i>Efecto desgaste sobre operación</i>	<i>Ninguno si se añaden bolas rellenas</i>	<i>Consumo +15% para desgaste completo</i>
<i>Sistema control, aire / combustible</i>	<i>Nivel molino con alimentador de plato Control paralelo con alimentador cinta</i>	<i>Control paralelo flujos aire y carbón</i>
<i>Relación aire / combustible en peso</i>	<i>1.75 / 1 a plena carga</i>	<i>1.75 / 1 a plena carga</i>
<i>Inventario interior</i>	<i>Medio, tras 2 ó 3 minutos de parada</i>	<i>Alto, tras 5 ó 6 minutos de parada</i>
<i>Respuesta a demanda de carga</i>	<i>> 10 % / minuto</i>	<i>> 10 % / minuto</i>
<i>Consumo específico, kW/ton (kW/t)</i>	<i>Bajo, 14 (15) con ventilador aire primario</i>	<i>Bajo, 14 (15) con ventilador aire primario</i>
<i>Nivel de ruido, dB</i>	<i>> 90</i>	<i>> 90, 85 (atenuado)</i>
<i>Vibración</i>	<i>Moderada</i>	<i>Baja</i>

Fuente: pulverizadores de carbón. <http://libros.redsauce.net/>

3.2 MANTENIMIENTO

3.2.1 Historia del mantenimiento. La historia de mantenimiento acompaña al desarrollo Técnico-Industrial de la humanidad. Al final del siglo XIX, con la mecanización de las industrias, surgió la necesidad de las primeras reparaciones.

Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecución por el mismo personal de operación o producción. Con el advenimiento de la primera guerra mundial y de la implantación de la producción en serie, fue instituida por la compañía Ford-Motor Company, fabricante de vehículos, las fábricas pasaron a establecer programas mínimos de producción y, en consecuencia, sentir la necesidad de crear equipos de que pudieran ejecutar el mantenimiento de las máquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible.

Así surgió un órgano subordinado a la operación, cuyo objetivo básico para la ejecución del mantenimiento, hoy conocida como mantenimiento correctivo. Esa situación mantuvo hasta la década del año 30, cuando en función de la segunda guerra mundial, y de la necesidad de aumentar la rapidez de la producción, la alta administración industrial se preocupó, no solo en corregir fallas, sino evitar que estas ocurriesen, y el personal técnico de mantenimiento, pasó a desarrollar el proceso del mantenimiento preventivo, de las averías que, juntamente con la corrosión, completaban el cuadro general de mantenimiento como la operación o producción.

Desde el principio de los tiempos, el hombre siempre ha sentido la necesidad de mantener su equipo, aún las más rudimentarias herramientas o aparatos. La mayoría de las fallas que se experimentaban eran el resultado del abuso y esto sigue sucediendo en la actualidad. Al principio solo se hacía mantenimiento cuando ya era imposible seguir usando el equipo. A eso se le llamaba "Mantenimiento de Ruptura o Reactivo".

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipo acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos.

Esta nueva tendencia se llamó "Mantenimiento Preventivo". Como resultado, los gerentes de planta se interesaron en hacer que sus supervisores, mecánicos, electricistas y otros técnicos, desarrollaran programas para lubricar y hacer observaciones clave para prevenir daños al equipo.

Aun cuando ayudó a reducir pérdidas de tiempo, el Mantenimiento Preventivo era una alternativa costosa. La razón: Muchas partes se reemplazaban basándose en el tiempo de operación, mientras podían haber durado más tiempo. También se aplicaban demasiadas horas de labor innecesariamente.

Los tiempos y necesidades cambiaron, en 1960 nuevos conceptos se establecieron, "Mantenimiento Productivo" fue la nueva tendencia que determinaba una perspectiva más profesional. Se asignaron más altas responsabilidades a la gente relacionada con el mantenimiento y se hacían consideraciones acerca de la confiabilidad y el diseño del equipo y de la planta. Fue un cambio profundo y se generó el término de "Ingeniería de la Planta" en vez de "Mantenimiento", las tareas a realizar incluían un más alto nivel de conocimiento de la confiabilidad de cada elemento de las máquinas y las instalaciones en general.

Diez años después, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevas y más fuertes necesidades de excelencia en todas las actividades. Los estándares de "Clase Mundial" en términos de mantenimiento del equipo se comprendieron y un sistema más dinámico tomó lugar. TPM es un concepto de mejoramiento continuo que ha probado ser efectivo. Primero en Japón y luego de vuelta a América (donde el concepto fue inicialmente concebido, según algunos historiadores). Se trata de participación e involucramiento de todos y cada uno de los miembros de la organización hacia la optimización de cada máquina.

Esta era una filosofía completamente nueva con un planteamiento diferente y que se mantendrá constantemente al día por su propia esencia. Implica un mejoramiento continuo en todos los aspectos y se le denominó TPM.

Por otra parte, vale la pena resaltar que la evolución del mantenimiento se estructura en las cuatro siguientes generaciones:

- Primera generación. Mantenimiento correctivo total. Se espera a que se produzca la avería para reparar.
- Segunda generación: se empiezan a realizar tareas de mantenimiento para prevenir averías. Trabajos cíclicos y repetitivos con una frecuencia determinada.
- Tercera generación. Se implanta el mantenimiento a condición. Es decir, se realizan monitorizaciones de parámetros en función de los cuales efectuarán los trabajos propios de sustitución o reacondicionamiento de los elementos.
- Cuarta generación. Se implantan sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y, de la organización y ejecución del mantenimiento. Se establecen los grupos de mejora y seguimiento de acciones.

3.2.2 Definición de Mantenimiento. Mantenimiento es el conjunto de acciones, operaciones y actitudes tendientes a poner o restablecer un bien a un estado específico que le permitan asegurar un servicio determinado.

Mantener es realizar operaciones tales como: limpieza, lubricación, inspección, conservación, reparaciones y mejoras que permitan conservar el potencial de un

equipo para asegurar su continuidad y garantizar la calidad de la producción. Mantener bien o mantener con calidad es: utilizar inteligentemente la planeación, la programación y el control, de manera que mejoren la efectividad y la productividad, disminuyan las paradas y los costos de mantenimiento sean mínimos logrando una rentabilidad óptima de la función del mantenimiento.

3.2.3 Tipos de mantenimiento. Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo que se realizan, algunos de ellos o simplemente centran su atención en tareas de corregir las fallas sino que también tratan de actuar antes de la aparición de las mismas. Los tipos de mantenimiento son los siguientes:

3.2.3.1 Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo es el que se realiza a los equipos de una planta en forma planificada y programada anticipadamente, con base en inspecciones periódicas y debidamente establecidas según la naturaleza de cada máquina y encaminada a descuidar posibles daños que pueda ocasionar paradas intempestivas de los equipos o daños mayores que afecten la vida útil de los equipos.

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento o el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Este tipo de mantenimiento tiene las siguientes características:

- Se realiza en un momento en que no se ésta produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por las directivas de la empresa.
- Está destinada a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Facilita a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

MP consiste en la inspección periódica y armónicamente coordinada de los elementos, equipos y procesos propensos a fallas y la corrección antes de que esta ocurra. Dentro de los objetivos del mantenimiento preventivo, pueden enumerarse entre otros, los siguientes:

- Disminuir el tiempo ocioso por menos paros imprevistos, esto es mejor la disponibilidad operativa de los equipos.
- Reducir las reparaciones en gran escala a los grandes mantenimientos.
- Distribuir óptimamente la fuerza laborar, para evitar la acumulación de trabajo contingente.
- Lograr disminución sustantiva de las reparaciones repetitivas.
- Adaptar correctamente los equipos al servicio requerido, mejorando la eficiencia.
- Realizar un buen control de la calidad de la producción y/o servicio. Logrando llevar a cero el número de rechazar.
- Con políticas cero pérdidas, disminuir los desperdicios.
- Aplazar o eliminar los reemplazos prematuros de equipos debido a su mejor conservación y aumento de la vida probable.
- Disminuir la necesidad de equipos en operación mediante el incremento de rendimiento de los rendimientos operacionales.

- Mejorar el control del trabajo utilizando adecuados sistemas de programación y control de las tareas de mantenimiento.
- Mediante la utilización de políticas cero inventarios, disminuir los niveles de inventarios de materiales, repuestos e insumos requeridos a los mínimos estrictamente necesarios para la obtención de óptimos resultados.
- Establecer políticas de seguridad y salud ocupacional para las plantas, equipos y personal de mantenimiento. Establecer las mejores relaciones entre el personal de operaciones, mantenimiento y demás para lograr máxima armonía en el trabajo.
- Disminuir los costos de operación y mantenimiento.

El definir cuál será el alcance del programa de mantenimiento, éste puede realizarse priorizando equipos críticos, o tal vez, iniciando por una línea o departamento. En el mejor de los casos sería considerar la planta en totalidad. Por otra parte se debe considerar el alcance del proyecto y definir el presupuesto, teniendo en cuenta que posiblemente requiera autorización de algún recurso que no se consideró. Durante la preparación e implementación del programa de mantenimiento preventivo no se puede presentar resultados de mejoramiento en la maquinaria o equipo. Esto lleva algún tiempo, por tanto, es importante tener en cuenta que se necesitará hacer algunos ajustes en el plan de mantenimiento.

El mantenimiento preventivo puede variar de simples rutas de lubricación o inspección hasta el más complejo sistema de monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación de los equipos. Muchos de los sistemas complejos de monitoreo proporcionan bastante información útil que debe ser considerada en el mantenimiento preventivo.

Un programa de mantenimiento preventivo puede incluir otros sistemas de mantenimiento y pueden ser considerados todos en conjunto como un programa de mantenimiento preventivo. Dependiendo del tipo de programa que se utilice, se necesita obtener información real del estado de las máquinas, equipos e instalaciones y en algunos casos se requerirá de inversiones para llevarles a condiciones básicas de funcionamiento.

3.2.3.2 Mantenimiento correctivo. Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir solo actuará cuando se presenta un error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección. Este tipo de mantenimiento acarrea las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.

- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrá comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planeación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

3.2.3.3 Mantenimiento predictivo. Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentra en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicación de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimiento preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversiones en equipos, instrumentos y en la contratación de personal calificado.

3.2.3.4 Mantenimiento proactivo: este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión de mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el plan estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.⁹

⁹ [En línea]. [15 sept de 2016]. Disponible en: <<https://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento>

4. AUDITORÍA DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO ACTUAL DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA GESTIÓN ENERGÉTICA S.A. E.S.P.

Cuando una empresa se plantea si la gestión que se hace del mantenimiento es la adecuada, la respuesta puede ser SI, NO o REGULAR. Claro está que cualquiera de las tres respuestas es insatisfactoria, porque entre cada una de ellas hay muchos puntos intermedios de respuesta, y porque no informa sobre qué cosas tendrían que cambiar para que la gestión del departamento pudiera considerarse excelente. La mejor solución en el caso de que busquen soluciones y posibilidades de mejora es sin duda realizar una **Auditoría de Mantenimiento**.¹⁰

En el desarrollo de este trabajo se realizó una auditoría que consta de catorce bloques de autoanálisis que contemplan 132 preguntas claves, con las que se logró diagnosticar con suficiente certeza la situación del departamento de mantenimiento en los sistemas de pulverización.

En caso de dar una puntuación negativa debe ser objeto de reflexión y quizás de mayor número de preguntas planteadas sobre debilidades y propuestas de mejora que, a ser posible, sean aportadas por su equipo técnico.

La encuesta tiene los siguientes ítems de autoanálisis:

- A. Organización general.
- B. Métodos y sistemas de trabajo.
- C. Control técnico de instalaciones y equipos.
- D. Gestión de la carga de trabajo.

¹⁰ <http://ingenieriadelmantenimiento.com/index.php/9-estrategias-de-mantenimiento/9-auditorias-de-mantenimiento>

- E. Compra y logística de repuestos y equipos.
- F. Sistemas informáticos.
- G. Organización del taller de mantenimiento.
- H. Herramientas y medios de prueba.
- I. Documentación técnica.
- J. Personal y formación.
- K. Contratación.
- L. Documentación.
- M. Capacitación.
- N. Control de actividad.

En la siguiente tabla se muestra la auditoría de la gestión de mantenimiento. Cada pregunta se valora con un puntaje de 5 cuando se implementa en la empresa, con un puntaje de 3 cuando la respuesta está en el intermedio y con un puntaje de 1 cuando es malo o desfavorable.

Tabla 4. Auditoría de la gestión del mantenimiento.

A. Organización general	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Está definida por escrito y aprobada, la organización y responsabilidades del departamento de mantenimiento (organigrama)?		x			3
2. ¿Existe un encargado de mantenimiento?	x				5
3. ¿El personal encargado de mantenimiento conoce las responsabilidades, limitaciones y obligaciones de su cargo?		x			3
4. ¿Está suficientemente dimensionada la estructura de dirección de mantenimiento y su equipo técnico para abordar nuevos procesos de mejora?		x			3
5. ¿El taller cuenta con personal certificado y calificado para realizar los mantenimientos?	x				5

6. ¿Tiene cada sección y/o actividad un presupuesto de funcionamiento y hay seguimientos periódicos de su adecuación a la realidad?		x		se requiere que cada sección realice un presupuesto para garantizar el buen funcionamiento	3
7. ¿Existe un área de planificación y coordinación de trabajos para realizar estudios de mejora y formación?	x				5
8. ¿Existe descripciones de las funciones (en el terreno de responsabilidad y en el de iniciativa) para cada uno de los puestos de ejecución?		x			3
9. ¿El personal de producción tiene instrucciones para llevar a cabo operaciones de mantenimiento de primer nivel y las ejecutan?			x	El personal de producción no ejecuta ninguna operación de mantenimiento.	1
10. ¿Todas operaciones preventivas y correctivas se ejecutan con órdenes de trabajo y aplican adecuadamente las actividades y repuestos?			x	Las actividades no se realizan adecuadamente por presentar demora en la adquisición de los repuestos.	1
11. ¿Tiene objetivos claros e indicadores de funcionamiento que sirvan de pauta como resultados de servicio prestado?		x			3
12. ¿Hay reuniones periódicas y se realizan seguimientos de niveles de calidad de servicios percibidos por nuestros clientes?		x			3
B. Métodos y sistema de trabajo	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Disponen de sistema de planificación y preparación de trabajos para intervenciones importantes (cronogramas de actividades y actividades a realizar)?		x			3
2. ¿Tiene procedimientos para preparar trabajos, establecer presupuestos y justificar nuevas adquisiciones o proponer nuevas actividades?			x		1
3. ¿Disponen ustedes de métodos operativos escritos para trabajos complejos delicados?			x		1
4. ¿Tienen ustedes un procedimiento por escrito (y aplicado) que defina las autoridades de trabajo (consignación, des-consignación) para los trabajos que conlleven riesgos?	x				5
5. ¿Se archivan en los expedientes o historiales de equipos y sistemas los trabajos de preparación y planificación de grandes intervenciones?		x			3
6. ¿Hay acciones que lleven a organizar	x				5

las máquinas y unidades?					
7. ¿Tienen ustedes métodos para estimación de tiempos distintos de la estimación global?			x		1
8. ¿utilizan ustedes el método de Gantt, para preparación de trabajos largos, importantes o que necesite mucha coordinación?		x			3
9. ¿Tiene métodos formalizados para hacer las reparaciones y protocolos de pruebas?		x			3
10. ¿Guardan y preparan ustedes herramientas y repuestos antes de sus intervenciones?			x		1
11. ¿Está el conjunto de la documentación debidamente clasificada y fácilmente accesible.		x			3
12. ¿Tiene sistemas de priorización de actividades con base en su criticidad?			x		1
C. Control técnico de instalaciones y equipos	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Disponen ustedes de una lista recopilada (inventario) de ubicación de los equipamientos de su unidad?			x		1
2. ¿La empresa cuenta con planos de ubicación Y/O disposición de cada máquina?			x		1
3. ¿Tienen cada equipamiento un número de identificación cronológico de inmovilización?			x		1
4. ¿En su instalación tiene todo el equipamiento un número de identificación claramente señalado?			x		1
5. ¿Se registran sistemáticamente las modificaciones, instalaciones nuevas o la supresión de equipamientos?		x			3
6. ¿Hay un archivo informático o en papel de cada equipo o instalación, y de sus subgrupos funcionales, con reseñas históricas de todos los trabajos llevados a cabo y su costo?	x				5
7. ¿ Tiene efectuados análisis de criticidad de equipos y estudio de averías y modos de falla (MFE, RCM, etc.,)			x		1
8. ¿Disponen ustedes de información sobre las horas pasadas, las piezas consumidas y los costos, equipamiento por equipamiento?		x			3

9. ¿Hay responsables del cuidado de las reseñas históricas de los trabajos?			x		1
10. ¿Está asegurado el seguimiento y control formal de las operaciones reglamentarias y de seguridad llevadas a cabo?		x			3
11. ¿Se audita periódicamente la situación de inventario y su documentación?			x		1
12. ¿Tiene posibilidad de analizar sistema a sistema el costo real de los ciclos de vida LLC?			x		1
13. ¿Posee la empresa algún método de estimación de costos por mantenimiento de las diferentes máquinas y herramientas?		x			3
D. Gestión de carga de trabajo	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Tienen ustedes, un programa establecido de mantenimiento preventivo? (Acciones preventivas, periódicas, carga de trabajo)		x			3
2. ¿Disponen ustedes de fichas (o check-lists) escritas de mantenimiento preventivo?		x			3
3. ¿Existe algún responsable del conjunto de las acciones de mantenimiento preventivo (en términos de control y de actualización)?		x			3
4. ¿Tiene los usuarios (u operadores) de los equipos responsabilidades en materia de ajuste y mantenimiento de rutina?			x		1
5. ¿Tienen ustedes un sistema de registro de la demanda o solicitudes de trabajo?	x				5
6. ¿Hay algunas personas más específicamente responsable de la planificación de los trabajo?		x			3
7. ¿Tienen ustedes reglas definidas que permitan asignar los trabajos según las prioridades?			x		1
8. ¿Existe algún documento (o solicitud de trabajo) que permita informar o seguir toda intervención que se utilice sistemáticamente para cada trabajo?			x		1
9. ¿Disponen ustedes de una planeación semanal (o periódica) de distribución de los trabajos?		x			3
10. Cuándo un trabajo no puede ser		x			3

abordado con la celeridad que les exige producción, ¿Tiene un procedimiento para informar de ello y poner medidas correctivas y preventivas?					
E. Compra y logística de repuestos y equipos	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. Cuando se realiza un mantenimiento, ¿Existe registro de materiales utilizados?	x				5
2. ¿Existe un registro de repuestos o piezas de la maquinaria que se reemplazan durante el mantenimiento?	x				5
3. ¿Tiene un almacén específico o diferenciado para mantenimiento y un sistema de lanzamiento y seguimiento de pedidos a su medida?		x			3
4. ¿Disponen de un sistema de libre servicio para artículos y piezas de consumo habitual?	x				5
5. ¿El stock de repuestos está al día, accesible a su personal de forma informatizada y disponible el valor, número de artículos, plazo, etc.?			x		1
6. ¿Esta todas las piezas de repuesto identificadas codificadas?			x		1
7. ¿Hay un procedimiento formalizado de solicitud de ofertas con pliegos adaptados a sus necesidades y adjudicación de pedidos?			x		1
8. ¿Los procedimientos de aprovisionamiento son rápidos y flexibles?			x		1
9. ¿Tiene proveedores concertados que almacenan en sus dependencias los materiales y repuestos de su suministro?		x			3
10. ¿Tiene facilidad y homologados suministradores distintos al propio fabricante del equipamiento o instalación?			x		1
11. ¿Tiene un sistema rápido y eficaz de reparación de equipos y de sistemas de inventario?			x		1
12. ¿Hay gran conexión entre el servicio de compras y de mantenimiento para las decisiones de compra y negociación con los suministros?			x		1
13. ¿Los procedimientos administrativos y operativos para solicitar un repuesto o un traslado son ágiles y amigables?			x		1
F. Los sistemas informáticos	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS

1. ¿Cuentan con un software especializado para administrar el mantenimiento preventivo de los de los equipos?			x		1
2. ¿La empresa tiene un programa informático para llevar un control de gastos de mantenimiento?		x			3
3. ¿Se dispone de una herramienta informática con las especificaciones y pasos a seguir para el mantenimiento?		x			3
4. ¿Existe un software o inventario de los repuestos que se pueden encontrar en la bodega o una base de datos de empresas que los pueden suministrar?	x				5
G. Organización del taller de mantenimiento	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. El espacio que tiene asignado a su Departamento para actividades de banco, oficina, de planificación e ingeniería, almacén, etc., es suficiente?		x			3
2. Dispone a pie de obra de las instrucciones operativas y protocolos para ser consultados por sus Mandos y operarios directamente?		x			3
3. ¿Se encuentra bien ubicado el almacén de herramientas y repuestos?		x			3
4. ¿Disponen de suficiente utillaje y medio de manutención y transporte adecuados a sus trabajos preventivos y correctivos?		x			3
5. ¿Las ordenes de trabajo se abren y se cierran a fin de obra, con terminales ubicados en las plantas o con terminales portátiles?	x				5
6. ¿Las zonas destinadas a materiales útiles, a averiados y de envío o recepción exterior están correctamente identificadas y delimitadas?		x			3
7. ¿Hay un responsable de logística de la custodia de herramientas y útiles de verificación y calibración periódica de ellas?		x			3
H. Herramientas y medios de prueba	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Dispone de un inventario documentado y actualizado de herramientas y equipos de prueba?		x			3

2. Dispone de Departamento, en propiedad o con accesibilidad inmediata, de las herramientas especiales y equipamientos de precisión?	x				5
3. ¿Está correctamente definido el procedimiento de verificación y calibración de herramientas especiales y útiles?		x			3
4. ¿Dispone de proceso de puesta a disposición o bono de responsabilización de herramientas para el caso de que estas se utilicen por contratistas?			x		1
5. ¿Cada operario dispone de una caja de herramientas personal?			x		1
6. ¿Existen verificaciones periódicas de puesta en conformidad de máquinas y herramientas nuevas, usadas o modificadas por ustedes?		x			3
7. Cuando necesitan un medio extraordinario de mantenimiento o transporte, ¿Lo disponen con las características y celeridad precisa?			x		1
8. ¿La logística, contratación y gestión de nuevas herramientas y medios, es realizada directamente por Uds.?			x		1
I. Documentación técnica	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Disponen Uds. De documentación técnica general suficiente: mecánica de construcción, electricidad, código de entorno y nocividad, regulaciones?			x		1
2. Disponen Uds. de planos de conjunto y los esquemas necesarios?			x		1
3. Están disponibles las instrucciones técnicas de utilización y mantenimiento, así como las listas de las piezas sueltas para equipamientos de mayor envergadura?			x		1
4. ¿Son fácilmente obtenibles y utilizables (en español) los planos de las instrucciones?			x		3
5. ¿Se disponen al día los planos y los esquemas a medida que aportan las modificaciones?			x		3
6. ¿Se registran los trabajos de modificaciones de los equipamientos y se archivan los expedientes de preparación correspondientes (preparación, puesta al día de la documentación)?		x			3
7. ¿Son Fácilmente obtenibles los			x		1

contratos de mantenimiento de constructores, contratistas?					
8. ¿Son suficientes los medios de fotocopiado e impresión?			x		1
J. Personal y formación	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿El ambiente laboral es en general positivo?	x				5
2. ¿Dirigen y supervisan correctamente los manejos intermedios los trabajos efectuados por los operarios bajo su responsabilidad?	x				5
3. ¿Se examina en grupo los problemas a menudo, incluyendo también a los operarios (círculos de calidad, grupos de progreso)?			x		1
4. ¿Se llevan a cabo encuentros periódicos de apreciación entre el personal directivo y el operario?		x			3
5. ¿Los mandos intermedios y los operarios están lo suficientemente disponibles? (Alargamiento de jornada laboral para acabar un trabajo, trabajar los domingos)	x				5
6. ¿Consideran Uds. En general que la formación técnica de su personal es satisfactoria?		x			3
7. En el trabajo diario, ¿estiman Uds. Que el personal tiene la iniciativa necesaria?			x		1
8. ¿Sus mandos intermedios aseguran de forma regular el perfeccionamiento del personal en materias técnicas?		x			3
9. ¿Reciben sus mandos intermedios formación en nuevas tecnologías gracias a estancias, visitas a constructores, exposiciones, etc.?			x		1
10. ¿Recibe su personal en seguridad y prevención de accidentes de forma regular?	x				5
11. ¿Programa y domina la formación del personal el servicio de mantenimiento?			x		1
12. ¿Se sigue rigurosamente las cualificaciones y la habilitación del personal?			x		1
13. ¿Tienen Uds. Pérdidas importantes de tiempo productivo debido a retrasos o ausencias?			x		1
14. ¿Son buenas las relaciones de su personal con los agentes de		x			3

producción?					
K. Contratación	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. Tiene Uds. Un proceso de evaluación formal de los contratistas?	x				5
2. Se elaboran cuidadosamente los documentos descriptivos de los trabajos y los pliegos de condiciones?		x			3
3. La selección de los contratistas se lleva a cabo según criterios de técnica y competencia?	x				5
4. Cuando el mantenimiento no se realiza por personal de la empresa, ¿se tiene base de datos de personas o empresas que realicen el trabajo?	x				5
5. ¿Contratan Uds. Las tareas para las que se consideran no disponen de suficientes técnicos?	x				5
6. ¿Incluyen en sus contratos con las empresas de contratistas de cláusulas de resultados?			x		1
7. ¿Desarrollan Uds. Una garantía de calidad y la colaboración de los contratistas?			x		1
8. ¿Crean Uds. Y ponen al día un expediente por asunto, según un procedimiento de constitución predeterminado?			x		1
9. El control del trabajo de los contratistas y la recepción de estos, ¿las lleva a cabo una persona de su servicio, especialmente designada y según procedimientos rigurosos?		x			3
10. ¿Disponen ustedes de documentación específica para que empresas externas lleven a cabo el mantenimiento de sus equipamientos?			x		1
L. Documentación	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Poseen inventarios de equipos?		x			3
2. ¿Los inventarios de los equipos se encuentran actualizados?			x		1
3. ¿Poseen hoja de vida de los equipos?			x		1
4. ¿La hoja de vida de los equipos se encuentra actualizada?			x		1
5. ¿La hoja de vida máquinas cuenta con la información necesaria para realizar los mantenimientos y su			x		1

respectivo historial (herramientas, piezas)?					
6. ¿Tienen órdenes de trabajo para un mantenimiento preventivo?			x		1
7. ¿Tienen órdenes de trabajo para un mantenimiento correctivo?		X			3
8. ¿Las ordenes de trabajo contienen la información necesaria?			x		1
9. ¿La empresa posee los programas de mantenimientos para todas sus máquinas herramientas?			x		1
10. ¿La empresa posee instructivo de cada máquina herramienta?			x		1
11. ¿La empresa realiza permiso de trabajo?	x				5
12. ¿La empresa posee manual de procedimientos?			x		1
13. ¿Tienen cronogramas de trabajo de mantenimiento?		X			3
14. ¿Los documentos anteriormente nombrados se encuentran sistematizados en un software?			x		1
M. Capacitación	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Se realiza capacitación a los operadores sobre los planes de mantenimiento de la empresa?			x		1
2. ¿Se evalúa lo visto en la capacitación?			x		1
N. Control de la actividad	SI	INTERMEDIO	NO	OBSERVACIONES	PUNTOS
1. ¿Se dan informes regulares del control de las horas, los costos de mano de obra, y repuestos?		X			3
2. ¿Se controla la eficacia, grados de saturación y tiempos muertos del potencial de mantenimiento?		X			3
3. ¿Dominan ustedes su carga de trabajo?		X			3
4. ¿Posee la empresa algún método de estimación de costos por mantenimiento de las diferentes máquinas y herramientas?		x			3
5. ¿Emiten ustedes de forma regular un informe de las actividades a desarrollar (todos los meses anualmente)?		x			3

Fuente: auditoría del mantenimiento e indicadores de gestión pág. 101.

4.1 RESULTADO DE LA AUDITORÍA

Los resultados se determinan de la siguiente manera: cada parámetro consta de una serie de preguntas las cuales conforman el 100%, el número de preguntas por parámetro establece el valor de cada una de ellas. Así se obtiene el porcentaje de cada parámetro del puntaje que recibió cada pregunta.

En la siguiente tabla podemos observar los resultados de la auditoría de mantenimiento.

Tabla 5. Resultado de auditoría de mantenimiento.

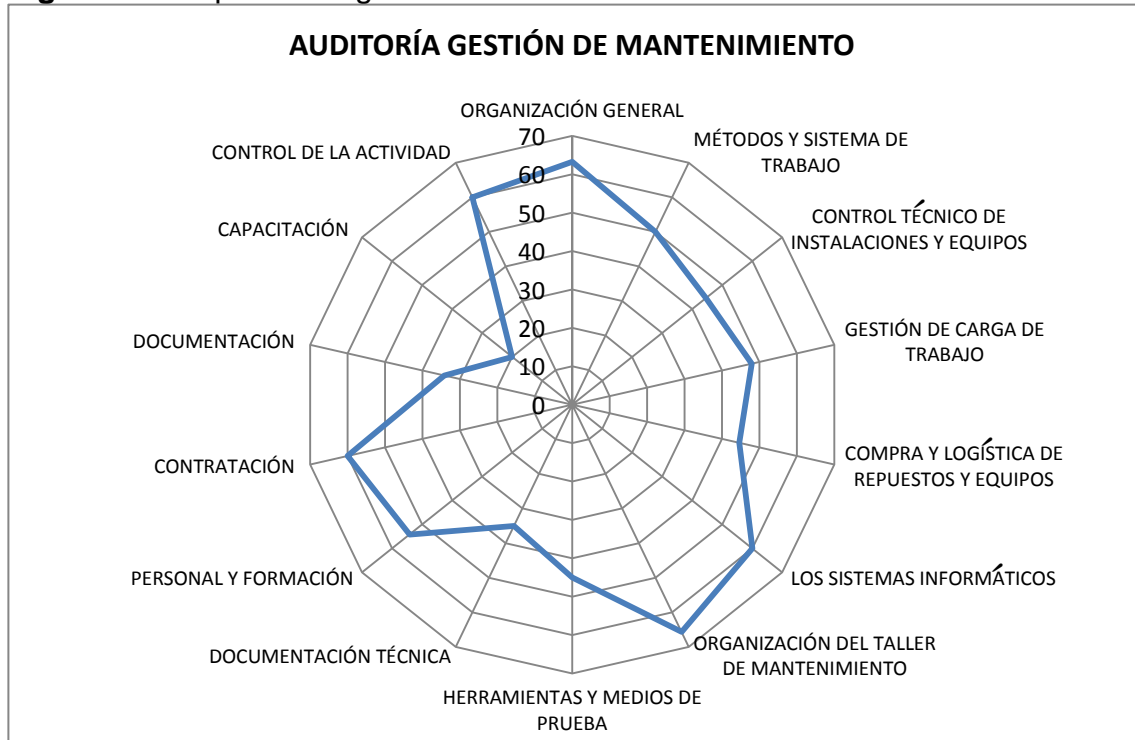
PARÁMETROS	PROMEDIO %
A. ORGANIZACIÓN GENERAL	63.3
B. MÉTODOS Y SISTEMA DE TRABAJO	50
C. CONTROL TÉCNICO DE INSTALACIONES Y EQUIPOS	44.6
D. GESTIÓN DE CARGA DE TRABAJO	48
E. COMPRA Y LOGÍSTICA DE REPUESTOS Y EQUIPOS	44.6
F. LOS SISTEMAS INFORMÁTICOS	60
G. ORGANIZACIÓN DEL TALLER DE MANTENIMIENTO	65.7
H. HERRAMIENTAS Y MEDIOS DE PRUEBA	45
I. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	35

J. PERSONAL Y FORMACIÓN	54.2
K. CONTRATACIÓN	60
L. DOCUMENTACIÓN	34.2
M. CAPACITACIÓN	20
N. CONTROL DE LA ACTIVIDAD	60

Es conveniente representar los resultados obtenidos de una forma gráfica y pedagógica; tanto para nuestros propios colaboradores técnicos más directos como para elevar las conclusiones y propuestas a la alta dirección.

Proponemos realizar un mallado o trama como el representado en la siguiente figura. En ella se simboliza mediante ejes separados de 30 grados, los catorce bloques temáticos abordados, se indican en cada malla, a escala las puntuaciones máximas que potencialmente se podrían obtener para cada bloque y, de forma concéntrica como lo muestra la figura 8.

Figura 8. Interpretación gráfica de la auditoría de mantenimiento.



Podemos observar en la gráfica que los puntos más bajos son de capacitación, documentación, en el desarrollo del proyecto se incluyen estos puntos como puntos críticos que son de gran utilidad para el buen desempeño de la gestión de mantenimiento.

La empresa no cuenta con una codificación, de los equipos ni un orden según el área de ubicación que sea de fácil entendimiento para el área de mantenimiento.

El mantenimiento que se realiza a algunas máquinas (PULVERIZADORES DE CARBÓN) es de tipo correctivo, lo que causa demoras y paradas imprevistas, esto también produce uso excesivo de repuestos lo cual incrementa en costos el mantenimiento y perjudica la producción de generación.

Aunque la empresa cuenta con algunos instructivos para el mantenimiento dichas actividades no se realizan de manera ideal, lo que causa daño a las máquinas y disminución de su vida útil.

La empresa carece de hojas de vida actualizadas de los activos, por lo cual causa una incertidumbre al momento de realizar ajustes en las máquinas, ya que se lleva un registro de las reparaciones, cambios o modificaciones hechas anteriormente.

4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Se realiza una descripción de los equipos y algunas especificaciones técnicas.

4.2.1 Pulverizador B&W EL 76. En la central termoeléctrica de Paipa, unidades II y III se encuentran instalados molinos tipo bolas marca Babcock & Wilcox Company. En este tipo de molinos, un árbol vertical accionado por engrane cónico, lleva un anillo giratorio sobre el que rueda cierto número de bolas de gran tamaño hechas de acero resistentes a la erosión, dispuestas en una fila circular, el carbón baja del alimentador colocado en el piso superior y se descarga sobre el anillo superior fijo y la fila de bolas, el anillo superior está presionado por resortes para mantener cierta presión sobre las bolas.

Una vez molido el carbón, pasa al exterior y hacia arriba por encima del anillo de retención, entonces encuentra una corriente ascendente de aire precalentado, que lo arrastra hacia la parte alta y choca con la periferia del clasificador giratorio donde entra tangencialmente. Las partículas de tamaño excesivo son devueltas al

molino, mientras el ventilador extrae el carbón fino y el aire primario por el cono inferior; la temperatura del aire primario se controla a fin de mantener un rango de 65 a 71°C (150 A 160 °F) en la temperatura de la mezcla carbón-aire.

Los pulverizadores tipos E y EL tienen identificaciones numéricas que indican el diámetro medio de la pista huella de molturación del plato inferior, en ("). El tipo E se ha construido hasta el tamaño E-70, y capacidad de 17 ton/h (15 Tm/h). El tipo EL se ha construido hasta el tamaño EL-76, y capacidad de 20 ton/h (18 Tm/h)

Las partes de mayor desgaste en ambos pulverizadores son, los dos anillos plato y el conjunto de las bolas de molturación, que se fabrican con aleaciones resistentes a la abrasión y son fácilmente sustituibles”¹¹

En la mayor parte de las instalaciones, se aplica el sistema de inyección directa en el que el carbón pulverizado mezclado con aire para directamente del pulverizador a los quemadores y la rapidez de combustión se regula por la rapidez de pulverización.

Para producir el flujo de aire seco y temperado que transporte el carbón pulverizado, es necesario un ventilador, este se denomina ventilador de aire primario. El aire primario entra al pulverizador a temperaturas que puedan oscilar entre 150 y 400 °C (300 Y 750 °F), dependiendo de la humedad de carbón y del tipo del pulverizador.

¹¹ Departamento de Servicios Técnicos GENSA S.A E.S.P. “Reseña histórica y Caracterización de las unidades I, II y III, versión 02”

La presión de las bolas se gradúa apretando más o menos un tornillo de la tapa, se usan cojinetes de alta calidad con engranajes a presión. El molino se mueve con un motor de velocidad constante (100rpm); variando el ajuste del alimentador se varía la producción.

4.2.1.1 Partes principales. En la Central Termoeléctrica unidades II y III, se encuentran instalados pulverizadores de bolas de velocidad media de la Bobcock & Wilcox Company, la referencia específica de dichos pulverizadores es EL 76. Esta referencia corresponde al pulverizador de carbón de mayor tamaño fabricado por B&W, del cual a continuación se da una descripción clara de sus partes.

♦ **Carcaza.** Cubre absolutamente todo el mecanismo, tanto el de conducción como el de molienda, entre estos mecanismos cuando el pulverizador está en funcionamiento existe una separación y un aislamiento por medio de un sello de aire. La carcaza, en general está formada por láminas de 1/2 in a 1 in de espesor aproximadamente, para evitar el ingreso de material extraño al interior del mecanismo, así mismo la carcaza posee a la altura de la cámara de molienda, puertas de acceso que permiten la revisión, mantenimiento y cambio de partes dentro de dicha cámara, estas puertas deben ser cerradas y ajustadas herméticamente para evitar escapes de aire y polvo de carbón durante el proceso de pulverización.

Existe también como parte de la carcaza, el anillo de aire primario ubicado en la parte inferior externa de la cámara de molienda y alrededor del pulverizador, además la parte baja del pulverizador contiene el mecanismo conductor, cuya carcaza es mucho más robusta y en su interior contiene un nivel determinado de lubricante, a cierta presión, también existe en esta carcaza inferior los cojinetes

que sostienen el eje conductor procedente del motor que se encuentra en la parte externa.

Figura 9. Carcaza pulverizador.



♦ **Mecanismo conductor.** Ubicado en la parte inferior del pulverizador, consta básicamente de un engranaje cónico reductor de velocidad formada por un piñón cónico de 18 dientes y una corona de 116 dientes cuyos ejes están a 90° , es decir la corona hace girar al árbol principal (vertical) que mueve todo el mecanismo de molienda, mientras que el eje del piñón (horizontal) va acoplado al motor conductor externo.

Además de este engranaje, dentro de la carcaza del mecanismo conductor se encuentra alojado una bomba de aceite manejada por el eje del piño, que hace circular el lubricante a los cojinetes del árbol de piñones, a los cojinetes superiores del eje principal y demás zonas de fricción, este aceite circulante tiene dos finalidades, lubricar y refrigerar los cojinetes.

Figura 10. Mecanismo conductor.



El motor del pulverizador se encuentra ubicado al exterior de la carcasa donde se acopla su eje al piñón conductor de la zona de pulverización, este motor no debe ser acoplado al pulverizador hasta que su sentido de giro haya sido establecido correctamente y el acoplamiento se ha alineado correctamente.

La última alineación del mecanismo del pulverizador y el acoplamiento del motor deben hacerse con el motor y el pulverizador calientes. El motor del pulverizador tiene las siguientes especificaciones:

Tabla 6. Características del motor.

Potencia	200 HP
Velocidad	560 rpm
Voltaje	4150 V trifásico
Corriente nominal	31 A

Fuente: manual de operación B&W EL 76

Figura 11. Motor pulverizador.



♦ **Eje principal.** La corona que engrana con el piñón conductor se encuentra acoplada a un eje vertical que descansa sobre el fondo de la carcasa del mecanismo, apropiadamente ajustada con su cojinete, y en la parte superior de la corona se encuentra ajustada con el cojinete de la placa superior de soporte. La función del eje principal es mover todo el mecanismo de molienda, pues el eje se acopla al yugo sobre porción cónica sobre el que se encuentra soportado el anillo de molienda inferior, acoplado al cono que hace girar el clasificador.

Figura 12. Eje principal.



♦ **Placa superior de soporte.** Se encuentra ubicada sobre el mecanismo conductor y bajo la cámara de molienda, su principal función es precisamente la de separar estas dos cámaras y evitar la mezcla de los flujos de material que cada una de ellas maneja.

Es una placa circular de hierro colado, del diámetro del pulverizador, con cierta conicidad en su parte central; en su centro se encuentra el orificio con su respectivo cojinete por el que pasa el eje principal, en dicho orificio se halla instalado además un sistema de sello de aire para impedir que el polvo pase hacia abajo por el eje principal vertical hacia el mecanismo conductor.

El sello consiste en una cámara anular en la carcasa del sello de aire que se encuentra bajo presión a través de una tubería de entrada de aire de sellos. Asegurando el flujo de aire hacia arriba a través del delgado anillo entre el árbol y la placa de soporte, su función es impedir el paso de material particulado o polvo de carbón a través del sello. La presión de aire del sello se encuentra entre 10 y 15 mm de H₂O.

Figura 13. Placa superior de soporte.



♦ **Yugo.** Es una pieza de acero, de forma cónica con un orificio también cónico taladrado en su centro, dentro de este orificio se aloja el eje principal para su acople.

Sobre la parte exterior del yugo, es decir cerca de su periferia descansa el anillo inferior de molienda; cuando el eje rota, hace girar el yugo y este a su vez gira la pista inferior de molienda.

El peso aproximado del yugo en condiciones óptimas de trabajo, para el pulverizador EL 76 es de 7200 lbs. Además de sostener y conducir el anillo inferior de molienda, la función del yugo durante la operación de pulverización es llevar el carbón hacia la pista de debajo de las bolas para que este sea debidamente pulverizado.

Figura 14. Yugo.

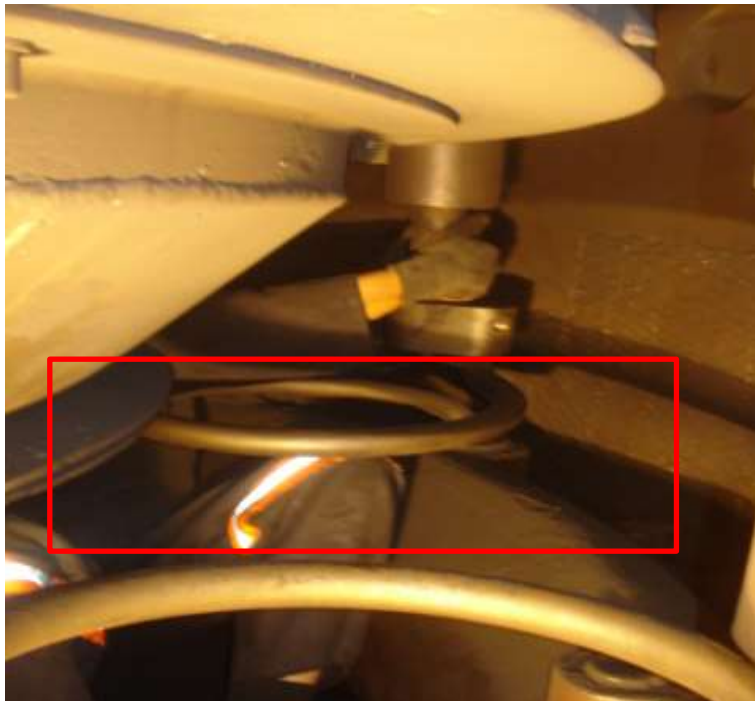


♦ **Cuña anular.** Elemento en forma de aro circular, dividido en cuatro segmentos cada uno de los cuales se asegura sobre el yugo con cuatro pernos, esta cuña con forma de anillo tiene como fin principal ajustar el centrado de la pista inferior de molienda.

4.2.2 Elementos de molienda. Los pulverizadores B&W EL 76 en la cámara de molienda alojan cuatro de molienda que son los encargados de la pulverización del carbón que entra a dicha cámara, estos son:

4.2.2.1 Resortes. En cada uno de los pulverizadores, se encuentran seis resortes de espiral sencilla, los cuales aplican una presión al anillo superior de molienda, para mantenerlos en la posición correcta para evitar que las bolas se salgan de su recorrido normal y causen algún daño al pulverizador.

Figura 15. Resortes.



Los resortes de estos pulverizadores poseen las siguientes características.

Tabla 7. Características resorte.

DUREZA	425 HB
LONGITUD SIN TENSAR	13 3/4 in. 350 mm
DIÁMETRO DE LA ESPIRA	14 3/16 in. 370mm

Fuente: manual de operación B&W EL 76

4.2.2.2 Anillo superior de molienda. Es una guía maciza de acero cóncava en la parte inferior que permite que las bolas se desplacen con cierta facilidad, pero como este anillo esta fijo hace que dichas bolas no se resbalen sino giren permitiendo que el carbón no pulverizado para entre ellas y la pista inferior y este sea pulverizado gradualmente.

Figura 16. Placa superior.



Esta guía presenta las siguientes características físicas:

Peso: 2054Kg.

Diámetro exterior: 2500 mm.

4.2.2.3 Anillo inferior de molienda. Es una guía móvil sobre la cual descansan las bolas, está a su vez descansa y esta acoplada al yugo, el cual le imprime el movimiento rotacional de operación.

Debe tenerse mucho cuidado en cuanto al centrado de la pista para ponerla en operación, el cual se ajusta con la cuña anular, pues cualquier movimiento inapropiado puede llevar a la destrucción temprana se la pista o de otros elementos de la cámara de molienda.

Presenta las siguientes características físicas:

Peso: 2231 Kg

Figura 17. Anillo inferior de molienda.



4.2.2.4 Bolas. Elementos esféricos de acero, ubicados entre la pista inferior y la pista superior de molienda, su vida útil varía según el desgaste, y el diámetro de las mismas que va desde 12 1/4 in. Cuando están nueva, hasta 8 1/4 in, al final de su vida útil. Estos elementos, junto con las pistas son los que realizan directamente la pulverización del carbón, por tanto como es lógico son los elementos que mayor desgaste por abrasión sufren dentro del pulverizador.

Sus características físicas cuando están nuevas son:

- Peso: 107 Kg
- Diámetro: 311.15 mm.

Figuras 18. Juego de bolas.



4.2.2.5 Clasificador. Es básicamente una persiana circular cuya longitud de aspas puede ser ajustada manualmente mediante tornillos deslizantes sobre las ranuras de dichas aspas; generalmente deben ser ajustadas a la misma longitud. En la

parte inferior de esta sección de aspas se encuentra una pieza en lámina en forma de cono, la cual conduce las partículas de carbón que no han sido adecuadamente pulverizadas hacia el centro de la cámara de molienda sobre el yugo.

Su función principal es la de regular la granulometría del polvo del carbón que será enviado hacia los ductos de descarga. El clasificador (sección de aspas y cono) esta soldado a la parte superior de la carcaza del pulverizador, por lo tanto esta pieza permanece estática.

Figura 19. Clasificador.



4.2.2.6 Sistema de aire primario. El aire primario es obtenido al mezclar aire a temperatura ambiente con aire caliente, luego el caudal de la mezcla es regulado e impulsado por un ventilador hacia el pulverizador a través de un ducto, en el pulverizador el aire se distribuye en una cámara anular ubicada alrededor de la cámara de molienda, a esta entra flujo de aire a través de un orificio que se extiende a su alrededor. En el interior de la cámara de molienda el aire primario arrastra el polvo de carbón y lo hace ascender hacia el clasificador, de donde

posteriormente sale el más fino hacia los ductos de descarga a través de las válvulas de balance.

4.2.2.7 Blindajes. Piezas fundidas (fundición blanca aleada) de hierro para blindaje en forma de chapas de gran espesor colocados alrededor de la cámara de molienda a la altura de las bolas y la pista inferior, su función es proteger la carcasa del pulverizador y ayudar a dirigir adecuadamente el flujo de aire primario hacia la cámara de molienda, cada blindaje pesa aproximadamente 33 Kg. Se fijan a la carcasa mediante tornillos brístol y dos soportes especiales. Según análisis metalográfico poseen estructuras perlíticas con inclusiones de grafito y carburos aciculares.

4.2.2.8 Válvulas de balance. Ubicadas a la salida del pulverizador, en los ductos de descarga su mecanismo de operación se encuentra junto a los ductos sobre la carcasa del pulverizador y cada ducto posee su válvula y su respectivo mecanismo. Las válvulas de balance tienen como función aislar el pulverizador de los quemadores en la caldera y por tanto de los gases muy calientes; nunca deben usarse estas válvulas para ajustar la proporción de carbón a los quemadores, por tanto deben permanecer o totalmente abiertas o totalmente cerradas.

Figura 20. Válvula de carga o de balance.



4.2.2.9 Sistema de aire caliente. El aire caliente proveniente de los calentadores de aire a la salida de la caldera es mezclado con aire a temperatura ambiente tomados de los tiros forzados de aire, luego de ser mezclado es impulsado por el ventilador de aire primario y regulado por un control de volumen, así se regula la temperatura y el caudal de aire que entra al pulverizador para que funciones al nivel deseado.

La regulación de la temperatura de la mezcla carbón-aire es conseguida abriendo y cerrando automáticamente los controles de flujo del aire caliente y del aire frío.

La salida del pulverizador controla la proporción del carbón a los quemadores y a su vez la salida del pulverizador es controlada por la manipulación del flujo de aire primaria del pulverizador. La proporción de flujo del carbón del alimentador es ajustada automáticamente y varía directamente con el flujo de aire primario.

El aire primario presta tres funciones:

- Llevar el carbón pulverizado del pulverizador a los quemadores.
- Secar el carbón para la combustión óptima.
- Mantener la circulación del carbón dentro del pulverizador.

El aire primario es controlada por tres reguladores. La cantidad admitida al pulverizador es controlada con un regulador del control de volumen ubicado por el ventilador de aire primario y el pulverizador, la temperatura es controlada por el posicionamiento relativo de los reguladores de aire caliente y temperado. La proporción de carbón y aire primario así como la temperatura de la mezcla, se

establece para satisfacer varios pulverizadores, quemadores y requisitos de la caldera.

En el caso particular al que se hace referencia en la central termoeléctrica de Paipa, el aire primario se mantiene a una temperatura alrededor de los 70 a 80°C (158 a 176°F) y una presión aproximada de 230 mm H₂O; estas condiciones se obtienen a partir de una proporción del 38 al 40 % de aire a temperatura ambiente a unos 25°C y un 60 a 62°C de aire caliente, el cual se encuentra a unos 156°C.

4.2.2.10 Flujo de carbón. Normalmente se proporciona carbón crudo al pulverizador por un alimentador de banda de caucho. El rendimiento del alimentador depende directamente del flujo de aire primario al pulverizador y se ajusta para mantener el carbón apropiado para la proporción de aire para la combustión y para el buen funcionamiento del pulverizador. Cuando se encuentra en funcionamiento automático, un aumento en el flujo de aire primario producirá un aumento en el flujo de carbón al pulverizador.

A la parte superior de los pulverizadores entra carbón crudo y cae hacia la zona de molienda. Algo del material en proceso de molienda es introducido en la masa revuelta de aire y carbón pulverizado de donde es llevado al clasificador, de donde el material con la fineza adecuada es expulsado por los ductos de descarga hacia los quemadores.

4.2.2.11 Mezcla carbón- aire. A la salida del pulverizador, después de ser clasificado el polvo del carbón, la mezcla aire primario-carbón debe poseer las propiedades de fineza, temperatura y humedad adecuadas.

El rango normal de temperaturas carbón-aire es de 57 a 79°C para la mayoría de los carbones. Las temperaturas excesivamente altas tienden a causar la coquización en la boquilla del quemador y aumenta la posibilidad de fuegos en el pulverizador. Las temperaturas bajas pueden producir el secado insuficiente del carbón y la combustión pobre. Operando con un flujo de aire primario alto pueden disminuir la fineza del carbón, afectando adversamente la combustión, así como la erosión creciente, y en casos extremos puede causar la inestabilidad de la llama. El flujo bajo de aire primario puede producir en la línea del quemador, y la pobre distribución de carbón descargado desde la boquilla del quemador de carbón dentro del hogar.

Las válvulas de balance de las líneas de quemadoras deben cerrarse herméticamente en los quemadores inactivos para impedir al polvo de carbón escapar más allá de ellas a las líneas del quemador donde pueda acumularse, produciendo taponamiento y fuego en la línea. Las líneas del aire del quemador inactivo, cuando este está disponible.

4.2.2.12 Mecanismo conductor. El motor del pulverizador opera con una entrada trifásica de 4120V, proporcionando una potencia de salida de 220HP, con una corriente nominal de 30 A y una velocidad del eje de 590 rpm. En la central termoeléctrica de Paipa, con los pulverizadores funcionando a plena carga, el amperaje de los motores se encuentra alrededor de los 27^a.

El piñón cónico acoplado al eje del motor tiene un total de 18 dientes, mientras que la corona que maneja el eje principal tiene un total de 116 dientes. Por tanto la relación de transmisión nos da que la velocidad del pulverizador es entonces

91.55 rpm, la cual se considera dentro del rango de los pulverizadores de velocidad media.

4.3 HISTORIAL DE MANTENIMIENTO Y FALLAS

Se realiza un historial de mantenimiento de los equipos. En los pulverizadores de carbón de las unidades II y III, las órdenes de trabajo corresponden a trabajos realizados durante paradas programadas de planta o paradas correctivas.

En el sistema de pulverización de carbón se enlistan los equipos en orden de mayor a menores cantidades de órdenes de trabajo generadas junto al porcentaje acumulado del total de órdenes. Debido a las deficiencias encontradas en la jerarquización de los equipos de acuerdo a su esquema funcional no puede establecerse un historial de mantenimiento para cada componente del sistema por separado. Sin embargo, se observa que la mayoría de órdenes generadas corresponden a fallas presentadas en la cámara de molienda.

De acuerdo a lo observado y visto en la teoría del funcionamiento de los pulverizadores en donde se presenta mayor escape de carbón es en la cámara de pulverización, igualmente se produce mayor desgaste de los equipos en esta área. Dentro de las fallas encontradas en los pulverizadores de carbón de acuerdo al historial de equipos y entrevistando al personal de operación y el área de mantenimiento de la central se encuentran:

- Acumulación de ceniza en cámara de molienda.

Figura 21. Acumulación de ceniza en cámara de molienda.



- Desgaste como interior

Figura 22. Desgaste como interior.



- Desgaste del perno resorte

Figura 23. Desgaste del perno resorte.



- Desgaste resorte helicoidal.

Figura 24. Desgaste resorte helicoidal.



- Desgaste soporte láminas del clasificador.

Figura 25. Desgaste soporte láminas del clasificador.



- Desgaste láminas ajustables.

Figura 26. Desgaste láminas ajustables.



- Desgaste dientes separadores pista superior.

Figura 27. Desgaste dientes separadores pista superior.



- Bolas desgastadas y abolladas.

Figura 28. Bolas desgastadas y abolladas.



- Abolladuras y desgaste pista inferior.

Figura 29. Abolladuras y desgaste pista inferior



- Desgaste en codos y ductor superiores.

Figura 30. Desgaste en codos y ductor superiores.



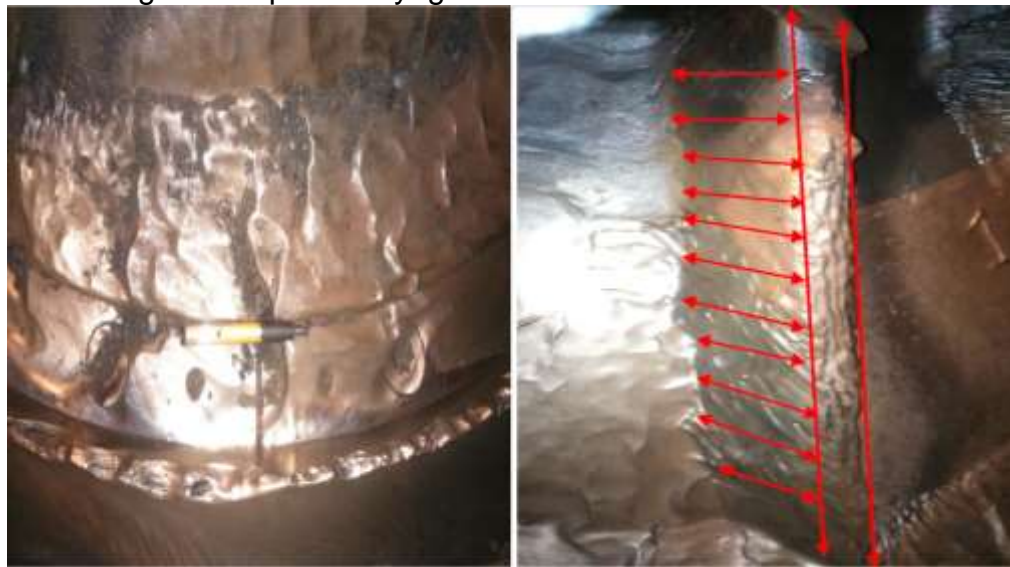
- Degaste de paredes del cuerpo.

Figura 31. Degaste de paredes del cuerpo.



- Desgaste de paredes yugo.

Figura 32. Desgaste de paredes yugo.



- Blindajes desgastados

Figura 33. Blindajes desgastados.



- Pista inferior fracturada por alta vibración.

Figura 34. Pista inferior fracturada por alta vibración.



- Eje rayado por desalineación

Figura 35. Eje rayado por desalineación.



5. INVENTARIO Y CODIFICACIÓN

5.1 INVENTARIO

El inventario es uno de los activos que posee la Central Termoeléctrica de Paipa donde se registra el conjunto de los bienes que componen el patrimonio de la empresa. La función administrativa asociada al inventario y abastecimiento tiene un alto impacto en la productividad del mantenimiento. La clasificación eficiente de los productos apoya el establecimiento de los niveles de exigencia de seguridad. El correcto nivel de inventario de seguridad de cada producto depende, entre otras cosas, el pronóstico de su demanda, su tiempo de entrega, así como riesgo de la obsolescencia.

La administración de un inventario es un punto determinante en el manejo estratégico de toda organización, tanto de prestación de servicio como de producción de bienes. Las tareas correspondientes a la administración de un inventario se relacionan con la determinación de los métodos de registro, la determinación de los puntos de rotación, las formas de clasificación y el modelo del inventario.

Es necesario realizar un registro completo de los equipos que intervienen en el proceso de pulverización con el fin de establecer la cantidad, identificarlo para codificarlos, verificar el estado actual en el que se encuentra y por último realizar el análisis de criticidad

En la siguiente tabla se observa el inventario de los equipos y repuestos existentes para el proceso de pulverización con su código de designación actual.

Tabla 8. Inventario proceso de pulverización.

ÍTEM	CANTIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
1	2	29010200004	ACOPLE DE RETENCIÓN P' PULVERIZADOR
2	0	29010407013	ANILLO DE CUÑA EN 4 PARTES DE 1-5/8" P-PULVERIZ
3	0	29010407018	ANILLO DE SUJECIÓN 4 PARTES. PULVERIZADOR CARBÓN
4	59	29011000008	BLINDAJE LATERAL P'CUERPO INTERNO PULVERIZADORES
5	0	29011000012	BLINDAJE P'PULVERIZADORES DE CARBÓN 1 Y 2 UNIDAD
6	18	29018600407	BOLA P'MOLINO DE 12-1/4" PULVERIZ.EL-76 DWG57149C
7	1	29018600824	BOMBA DE LUBRICACIÓN PARA PULVERIZADORES
8	0	29011407005	BUJE EN BRONCE SAE 65 PARA MOLINO PULVERIZADOR
9	0	31030000027	CALIBRADOR P' PERNOS PULVERIZADORES (X 3 PIEZAS)
10	0	29011700004	CAMISA CON CUÑA P' PULVERIZADOR DE 700X155X62 MM.
11	7	29011700008	CAMISA EN A.C. P'CILINDRO NEUMÁTICO VÁLVULAS PULV.
12	11	29011700014	CAMISA PARA PULVERIZADOR DE 700X155X62 MM.
13	0	29012600012	EJE DE 12" P'PULVERIZADOR DE CARBÓN EN ACERO SAE
14	17	29012600014	EJE TORNI.DE 2-3/4"X 47-1/4 P'PULVERIZADOR CARBÓN
15	0	29012700248	EMPAQUE CAUCHO NEOPRENE P' VÁLVULA DE CARBÓN PULV
16	14	29012700053	EMPAQUE NUVALASTIC ID13"OD16"X3/8" PULVERIZADOR
17	0	29013200005	ESCOBILLAS MOTOR PULVERIZADOR CARBÓN
18	97	29018600117	GRAPA DE SUJECIÓN BLINDAJE PULVERIZADOR II Y III U
19	4	29014400001	MANGUERA ALTA PRESIÓN CON

			ACOP/GRAF PULVERIZADOR
20	0	29018600043	PALETA PULVERIZADOR 697X532X12 CON AGUJEROS
21	0	17030000271	PIN PULVERIZADOR HOLMES 501XL REF 91-7160-25
22	0	17030000331	PULVERIZADOR CARBÓN:ROTOR REF:91-7130-16
23	0	17030000282	PULVERIZADOR P/MUESTRAS CARBÓN MD502XL HOLMES
24	14	29018000007	PULVERIZADOR: TUERCA DE 2-3/4" ACERO 1040
25	1	17030000129	REF.501 REF 91-7130-79 SELLO EJE PULVERIZADOR HOL
26	1	17030000280	REF.91-6741-48 SENSOR MAG PULVERIZADOR HOLMES
27	1	17030000187	REF.91-6850-42 CORREA MOTOR PULVERIZADOR HOMES
28	0	29050100096	REP UII-III ANILLO DE CU ³ / ₄ A P'PULV. CARBÓN EL76
29	0	29017300409	REP UIII PULVERIZADOR: RODAMIENT NP9-744 EMPUJ/EJE
30	12	29017100050	RESORTES P'PULVERIZADORES DE CARBÓN 56-76 E8660G
31	0	29017300031	RODAMIENTO REF 5236 TS P'PULV.CARBÓN ITPO EL76
32	2	29017300412	RODAMIENTO REF 44131 REP UIII PULVERIZAD ROD/CJ
33	1	17030000286	SELLO PULVERIZADOR HOLMES 501XL REF 91-6850-09
34	1	17030000330	SELLO EN FILTRO PULVERIZADOR HOLMES REF 91-6850-23
35	1	17030000320	SELLO PULVERISADOR HOLMES 501 XL REF 91-6850-08
36	3	29017700023	SOPORTE PARA ESPIRAL PULVERIZADOR DE CARBÓN
37	4	31170000414	SOPORTE PARA PULVERIZADOR UNIDAD DOS
38	0	29018600901	TAPA PARA PULVERIZADOR
39	0	29018600304	TAPON ROSCADO P'PULVERIZADOR
40	0	29018600544	TOLVAS CAÍDA CARBÓN ALIMENTADOR PULVERIZADOR
41	1	29018104037	TUBO PULVERIZADOR BRIDA P'PLANTA TRATAMIENTO AGUA

42	0	29018200036	TUERCA DE 10" EN ACERO SAE 1045 P.EJE PULVERIZADOR
43	0	29018200004	TUERCA DE 15" EN ACERO SAE 1045 P.EJE PULVERIZADOR
44	0	29018200027	TUERCA DE 2 1/2 BRONCE SAE 65 P.EJE PULVERIZADOR
45	0	23260000042	TUERCA EN HIERRO DE 2-3/4" P'PERNOS PULVERIZADORES
46	0	29011000005	U II-III PULVERIZADOR: BLINDAJE LATERAL
47	0	29018600861	UI-II-III VOLANTA P'PULVERIZAD.REF:291- 7130-32
48	1	29010200049	UII PULVERIZADOR: ACOPLER FLEXAXIER N-16
49	0	29040600014	UII-III CAMISA Y FLANCHE P'PULVERIZADOR EL76
50	3	29050100097	UII-III BUJE DE APOYO ENTRE EJE YUGO PULVERIZADOR CARBÓN
51	0	29050100037	UII-III EJE PAL.CON CUÑAS P'PULVER.CARBÓN EL76
52	3	29050400050	UII-III PULV: TAPA REF: 7002352
53	3	29018200003	UII-III PULV:TUERCA DE BRONCE P'TORNILLO 2-3/4"
54	12	29018600393	UII-III PULVERIZADOR RESORTES PARA PIRITAS
55	12	29018600759	UII-III PULVERIZADOR: FLANCHE P' PERNO ACERO 1020
56	6	29018600004	UII-III PULVERIZADOR:FLANCHE CON ESPIGO PARA PERNO
57	5	29018600223	UII-III SECCIONES DE CODO P'PULVERIZADORES
58	8	29050100098	UII-III TORNILLO P'PULVERIZADOR CARBÓN TIPO EL76
59	2	29040400004	UIII MOTOR PULVERIZADOR: COJINETE
60	0	29040700047	UIII PULV: GUARDAPOLVOS REF. 609275R (JGX2)
61	4	29050300017	UIII PULV: SELLO P'RODAMIENTO REF. 401707000AD
62	1	29018600865	UIII PULVERIZADOR: ANILLO EXTERNO P/N 606927004A
63	2	29014900009	UIII PULVERIZADOR: ANILLO INTERNO REF 606927006A
64	0	29018600694	UIII PULVERIZADOR: BOM.ACEITE: ENGRA PIÑON MOT

65	4	29018600620	UIII PULVERIZADOR: ELEM. FLEXB.P' ACOPLE Y TOR
66	0	29040700049	UIII PULVERIZADOR: GUARDAPOLVOS REF. 609274A
67	1	29018600619	UIII PULVERIZADOR: PIÑON BOMBA
68	2	29017200148	UIII PULVERIZADOR: RETENEDOR REF A627-A1
69	1	29018600100	UIII PULVERIZADOR: SELLO EXTERIOR P/N 606927005R
70	2	29018600374	UIII PULVERIZADOR: SELLO INTERNO P/N 606927007R
71	2	29018600778	UIII PULVERIZADOR: SHIM AZUL ALIMENTADOR CARBÓN
72	2	29018600779	UIII PULVERIZADOR: SHIM CAFÉ ALIMENTADOR CARBÓN
73	2	29018600777	UIII PULVERIZADOR: SHIM ROJO ALIMTADORES CARBÓN
74	2	29018600780	UIII PULVERIZADOR: SHIM TRANSPARENTE ALIMT CARBÓN
75	0	29018600747	UIII ST CENIZA: TORNILLO PAR PERNO PULVERIZAD
76	12	29040800783	UIII: PULV.CARB: PIN P'EJE COMANDO 7/16X5-1/2"
77	1	29040800465	UIII: PULVERIZ: PALANK OP.M COMPTAS.AIRE ATEMP
78	1	29040800468	UIII: PULVERIZ: BRAZO METAL.P'COMPU AIR ATEM.
79	1	29040700002	UIII: CONOS PLAT.LAMIN.A36 CLAS.PULVERI (JG 2PI
80	1	29018600492	VOLANTE ROTOR P MARTILLO PULVER.HOLMES(91-7130-16)
81	0	29018600376	YUGO PARA PULVERIZADOR DE CARBÓN EL76 TIPO CUÑA

Fuente: sistema de información infom@nte GENSA. S.A E.S.P

Como se puede apreciar en el cuadro anterior cada repuesto cuenta con un código de 11 dígitos de identificación dentro de sistema de registro de la empresa de difícil entendimiento para el personal y área de mantenimiento por lo cual es

necesario realizar una codificación a los elementos que constituyen el proceso de pulverización de carbón de las Unidades III y III.

5.2 CODIFICACIÓN¹²

Una vez elaborada la lista de equipos es muy importante identificar cada uno de los equipos con un código único. Esto facilita su localización, su referencia en órdenes de trabajo, permite la elaboración de registros históricos de fallos e intervenciones, permite el cálculo de indicadores referidos a áreas, sistemas y elementos, etc.

La ventaja del empleo de un sistema de codificación no significativo, de tipo correlativo, es la simplicidad y la brevedad del código. Con apenas 4 dígitos es posible codificar la mayoría de las plantas industrial. La desventaja es la dificultad para ubicar una máquina a partir de su código: es necesario tener siempre a mano una lista para poder relacionar cada equipo con su código. En cambio un sistema de codificación significativo aporta valiosa información sobre el equipo al que nos referimos: tipos de equipos, área en el que se ubica, familia a la que pertenece, y toda aquella información adicional que queramos incorporar al código.

GENSA S.A. E.SP cuenta con una codificación de 11 dígitos o caracteres, pero esta codificación es compleja y no permite determinar con exactitud al área o máquina al que pertenece el equipo o el proceso.

¹² GARCIA GARRIDO, SANTIAGO. Organización y gestión integral de mantenimiento. Díaz de Santos. Pág. 13.

Para facilitar la localización de los equipos de pulverización de carbón de las unidades II y III de la Central Termoeléctrica de Paipa se utilizará un sistema de codificación como se muestra en la siguiente figura donde se podrá identificar ubicación, nombre del equipo y consecutivo.

Figura 36. Esquema de codificación de equipos.



5.2.1 Código de área de la empresa. El código de área de la empresa está conformada por las tres primeras letras las dos primeras corresponden al área de la empresa en que se realiza el mantenimiento, la tercera letra corresponde al proceso.

Tabla 9. Código áreas de la empresa.

ÁREAS	CÓDIGO
Mantenimiento Calderas	MC
Mantenimiento Turbina	MT
Mantenimiento Industrial	MI
Mantenimiento Eléctrico	ME
Mantenimiento Bobinado	MB
Servicios Técnico	ST
Operación	OP
Producción	PR
Administrativa	AD

Tabla 10. Código de área y proceso.

ÁREA Y PROCESO	CÓDIGO
Mantenimiento Calderas Alimentación	MCA
Mantenimiento Calderas Combustión	MCC
Mantenimiento Calderas Distribución	MCD
Mantenimiento Calderas Pulverización	MCP
Mantenimiento Calderas Trituración	MCT

5.2.2 Código de clase de equipo. El código de la clase de equipo está conformado por las dos primeras letras del nombre de la máquina o repuesto.

5.2.3 Número consecutivo. El numero consecutivo se utiliza para una misma clase de maquina o equipo según la cantidad de los mismos como activos de la empresa.

EJEMPLO.

Código de equipo. MCP-PI-01

Área de producción. MCP- Mtto caldera pulverización.

Clase de equipo. PI-Pista inferior.

Número de consecutivo. 01

En la siguiente tabla esta la codificación de los equipos de pulverización de carbón.

Tabla 11. Codificación de repuestos del pulverizador B&W EL 76.



CÓDIGO	FECHA	VERSION		
			INVENTARIO DE MAQUINAS Y HERRAMIENTAS	
			02/08/2016	
		1		
CODIGO	DESCRIPCIÓN	FABRICANTE		
MCP-AR-01	ACOPLE DE RETENCIÓN	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-AF-01	ACOPLES FLEXAXIER	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-AF-01	ACOPLE FLEXIBLE	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-AI-01	ANILLO INTERNO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-BM-01	BOLA PARA MOLINO DE 12-1/4"	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-BL-01	BOMBA DE LUBRICACIÓN	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-BA-01	BOMBA DE ACEITE PIÑÓN MOTOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-BM-01	BRAZO METAL. COMPUERTA AIR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-BY-01	BUJE DE APOYO ENTRE EJE YUGO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-CC-01	CAMISA CILINDRO NEUMÁTICO VÁLVULAS	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-CP-01	CAMISA PARA PULVERIZADOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-CM-01	CARCAZA MOLINO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-CM-01	CORREA MOTOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-EC-01	EMPAQUE CAUCHO NEOPRENE	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-EN-01	EMPAQUE NUVALASTIC	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-EM-01	ESCOBILLAS MOTOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-FP-01	FLANCHE PARA PERNO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-FE-01	FLANCHE CON ESPIGO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-GP-01	GUARDAPOLVOS	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-PI-01	PLACA INFERIOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-PS-01	PLACA SUPERIOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-PJ-01	PLATO JAUSIN	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MCP-PE-01	PIN EJE COMANDO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MSP-SC-01	SECCIONES DE CODO	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MSP-SM-01	SENSOR MANGUERAS	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MSP-RE-01	RODAMIENTO EMPUJE/EJE	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MSP-RE-01	RESORTES	BABCOCK & WILCOX COMPANY		
MSP-RP-01	RESORTES PARA PIRITAS	BABCOCK & WILCOX COMPANY		

MSP-RP-01	RETENEDOR PULVERIZADOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SP-01	SELLO PULVERIZADOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SF-01	SELLO FILTRO	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SE-01	SELLO EXTERIOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SI-01	SELLO INTERNO	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SA-01	SHIM AZUL ALIMENTADOR CARBÓN	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SC-01	SHIM CAFÉ ALIMENTADOR CARBÓN	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-SR-01	SHIM ROJO ALIMENTADORES CARBÓN	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-ST-01	SHIM TRANSPARENTE	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-TP-01	TORNILLO PERNO	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-TB-01	TUERCA DE BRONCE PARA TORNILLO	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-VP-01	VOLANTA PARA PULVERIZADOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-VR-01	VOLANTE ROTOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY
MCP-YP-01	YUGO PARA PULVERIZADOR	BABCOCK & WILCOX COMPANY

Para identificar los equipos y herramientas es necesaria la creación de un sistema de codificación y lograr una uniformidad de las distintas áreas de la empresa GENSA S.A E.S.P. y así obtener una rápida consulta de los datos de los equipos.

Es importante diseñar y colocar físicamente etiquetas a los equipos para mejorar control al momento de llevar un inventario físico de los equipos, también ayudara a recopilar información técnica de los equipos y poder implementar el uso de las ordenes de trabajo de cada máquina.

6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que permite jerarquizar instalaciones y equipos en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones y propuestas de mejoramiento. Para realizar un análisis de criticidad se debe definir: un alcance y propósito para el análisis, establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para el mejoramiento de los sistemas objeto del análisis. Los pasos para seguir en el estudio de criticidad de una planta de cualquier naturaleza son: ¹³

- Identificación de los sistemas a estudiar.
- Definir el alcance y objetivo para el estudio.
- Selección de personal a entrevistar.
- Informar al personal sobre la importancia del estudio.
- Recolección de datos.
- Verificación y análisis de datos.
- Retroalimentación.
- Implementación de resultados.

6.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS A ESTUDIAR

Los equipos incluidos dentro del análisis de criticidad son:

¹³ GARCIA PALENCIA Oliverio Ing. Ms. Estrategias de Mantenimiento Basadas en Confiabilidad. Primer Congreso Internacional Electromecánica Villa del Rosario de Cúcuta 2004.

- Carcaza del pulverizador.
- Mecanismo conductor.
- Motor pulverizador.
- Eje de comando.
- Placa superior de soporte.
- Yugo pulverizador.
- Tapa de sellos de aire.
- Cuña anular fijación pista inferior.
- Pista inferior de molienda.
- Pista superior de molienda.
- Resortes pulverizador.
- Bolas de pulverización.
- Clasificador de carbón.
- Cono pulverizador.
- Blindajes pulverizador.
- Válvulas de balance.
- Ductos salida de carbón.
- Sistema de aire caliente.
- Sistema de aire primario.
- Rodamiento radial eje principal.
- Rodamiento axial eje principal.
- Tubería aire de sellos.
- Eje principal.
- Corona eje principal.
- Retenedores de aceite.
- Compuerta de piritas.
- Soporte de resortes.
- Perno tornillo tensor.

- Blindajes laterales cuerpo.
- Campana y buje sello de aire.
- Bomba de aceite.
- Manómetro pulverizador.
- Circuito de lubricación.

6.2 ALCANCE Y OBJETIVO DEL ESTUDIO

En la Central Termoeléctrica de Paipa es de gran importancia clasificar y jerarquizar los equipos que conforman el proceso de pulverización de carbón ya que los equipos necesitan mejorar y adecuar el óptimo rendimiento o desempeño de sus funciones.

Para la elaboración del estudio de criticidad se realiza una encuesta que permite recoger la información de parte del jefe, supervisores y mecánico de la sección de mantenimiento y así analizar el punto más crítico del proceso, en base a los resultados buscar soluciones que mejoren el funcionamiento del sistema.

6.3 SELECCIÓN DE PERSONAL A ENTREVISTAR

El personal seleccionado para contestar la encuesta del análisis de criticidad en la Central Termoeléctrica de Paipa fueron:

- Jefe sección mantenimiento.

- Supervisor 1 de mantenimiento.
- Supervisor 2 de mantenimiento.
- Mecánico mantenimiento.

La selección del personal se realizó de acuerdo a las capacidades y conocimientos que tienen sobre el tema al cual se realizó el estudio.

6.4 RECOLECCIÓN DE DATOS

Para el desarrollo de este análisis se contó con la elaboración de una encuesta dirigida al personal de la empresa estableciendo parámetros que están relacionados directamente con el equipo, además de la observación directa en las diferentes fases del proceso de pulverización de carbón. Se llevó a cabo la recolección de los datos, teniendo en cuenta el registro de fallas, tiempos de reparación, costos de mantenimiento e información adquirida por parte de la sección de mantenimiento del pulverizador de carbón sección a la cual pertenece el proceso que se realizó el presente estudio.

Los criterios o parámetros que se utilizaron para el registro de datos se basaron en el modelo de criticidad de factores ponderados basado en el concepto de riesgo.

6.4.1 Modelo de criticidad de factores ponderados basados en el concepto del riesgo. Los criterios para realizar un análisis de criticidad están asociados generalmente con: frecuencia de fallas, impacto operacional, flexibilidad

operacional, costo del mantenimiento y seguridad y medio ambiente como se muestra la ecuación 1.¹⁴

ECUACIÓN 1. Criticidad

$$\text{CRITICIDAD} = \text{FRECUENCIA DE FALLAS} \times \text{CONSECUENCIAS}$$

Consecuencias = (Impacto operacional x flexibilidad operacional) + costo de mantenimiento + (impacto de seguridad y medio ambiente).

CRITICIDAD: es una herramienta que permite identificar y jerarquizar sistemas y equipos, permitiendo direccionar los recursos a las áreas.

FRECUENCIA DE FALLAS: es el número de veces que se repite un evento considerado como falla en un periodo de tiempo.

IMPACTO OPERACIONAL: entendiéndose como los efectos causados en la producción.

FLEXIBILIDAD OPERACIONAL: es la posibilidad de realizar un cambio rápido para continuar con la producción sin incurrir en costos.

¹⁴ ORREGO BARRERA, Juan Carlos. Ingeniero Mecánico. Especialista en finanzas –preparación y evaluación de proyectos. [En línea]. [29 de abril de 2015]. Disponible en: < <http://es.slideshare.net/mantonline/analisis-de-criticidad-presentation>

COSTO DEL MANTENIMIENTO: tomando todos los costos implica la labor de mantenimiento, dejando por fuera los costos de producción sufridos por la falla.

IMPACTO DE SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE: enfocado a evaluar los posibles inconvenientes que puede causar sobre las personas.

6.4.1.1 Valores de factores ponderados. Es aconsejable que el modelo de encuesta sea sencillo, para facilitar la dinámica de la entrevista y a la vez permitir el máximo confort a los entrevistados.¹⁵

Los factores ponderados de cada uno de criterios a ser evaluados se presentan en la tabla 12.

Tabla 12. Valores de Factores Ponderados.

FRECUENCIA DE FALLAS	
Pobre mayor a 2 fallas/año.	4
Promedio 1-2 fallas/año.	3
Buena 0,5 – 1 fallas/año.	2
Excelente menos de 0,5 fallas/año.	1
IMPACTO OPERACIONAL	
Perdida de todo el despacho	10
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL	
No existe opción de producción y no hay función de repuesto	4
Hay opción de repuesto compartido/almacén	2
Función de repuesto disponible	1
COSTO DE MANTENIMIENTO	

¹⁵ [En Línea]. [5 de sep de 2016]. Disponible en: <http://www.mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/de%20confiabilidad/ANALISIS%20DE%20CRITICIDAD.pdf>

Mayor o igual al 5% del costo del equipo.	2
Inferior al 5% del costo todo el equipo.	1
IMPACTO EN SEGURIDAD Y MEDIO AMBIENTE	
Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación ante externos de la organización.	8
Afecta el ambiente/instalaciones.	7
Afecta las instalaciones causando daños severos.	5
Provoca daños menores. (ambiente y seguridad)	3
No provoca ningún daño a personas, instalaciones o ambientes.	1

El facilitador del análisis debe garantizar que todo el personal involucrado entienda la finalidad del trabajo que se realiza, así como el uso que se le dará a los resultados que se obtengan. Esto permitirá que los involucrados le den mayor nivel de importancia y las respuestas sean orientadas de forma más responsable, evitando así el menor número de desviaciones.

6.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE PULVERIZACIÓN CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA.

En la siguiente tabla se puede evidenciar la encuesta aplicada al personal, en donde se tabularon los resultados teniendo en cuenta el valor que se le dio a cada factor.

Tabla 13. Análisis de criticidad.

Código	Descripción del equipo	Criticidad	F.F.	I.O.	F.O	A.	C.M.	I.S.M.A	B	Consecuencia
MCP-CP-01	Carcaza del pulverizador	6	1	1	4	4	1	1	2	6
MCP-MC-01	Mecanismo conductor	12	2	1	4	4	1	1	2	6
MCP-MP-01	Motor pulverizador	36	2	4	4	16	1	1	2	18
MCP-EC-01	Eje de comando	60	3	4	4	16	1	3	4	20
MCP-PS-01	Placa superior de soporte	12	2	1	4	4	1	1	2	6
MCP-YP-01	Yugo pulverizador	6	1	1	4	4	1	1	2	6
MCP-TS-01	Tapa de sellos de aire	18	1	4	4	16	1	1	2	18
MCP-CA-01	Cuña anular fijación pista inferior	105	3	7	4	28	2	5	7	35
MCP-PI-01	Pista inferior de molienda	136	4	7	4	28	1	5	6	34
MCP-PS-01	Pista superior de molienda	102	3	7	4	28	1	5	6	34

MCP-RP-01	Resortes pulverizador	136	4	7	4	28	1	5	6	34
MCP-BP-01	Bolas de pulverización	136	4	7	4	28	1	5	6	34
MCP-CC-01	Clasificador de carbón	40	2	4	4	16	1	3	4	20
MCP-CP-01	Cono pulverizador	72	2	7	4	28	1	7	8	36
MCP-BP-01	Blindajes pulverizador	136	4	7	4	28	1	5	6	34
MCP-VB-01	Válvulas de balance	36	2	4	4	16	1	1	2	18
MCP-DS-01	Ductos salida de carbón	36	2	4	4	16	1	1	2	18
MCP-SA-01	Sistema de aire caliente	18	1	4	4	16	1	1	2	18
MCP-SP-01	Sistema de aire primario	18	1	4	4	16	1	1	2	18
MCP-RA-01	Rodamiento radial eje principal	36	2	4	4	16	1	1	2	18
MCP-RA-01	Rodamiento axial eje principal	22	1	4	4	16	1	5	6	22
MCP-TA-01	Tubería aire de sellos	18	1	4	4	16	1	1	2	18
MCP-EP-01	Eje principal	60	3	4	4	16	1	3	4	20
MCP-CE-01	Corona eje principal	22	1	4	4	16	1	5	6	22
MCP-RA-01	Retenedores de aceite	22	1	4	4	16	1	5	6	22
MCP-CP-01	Compuerta de piritas	36	2	4	4	16	1	1	2	18
MCP-SR-01	Soporte de resortes	18	1	4	4	16	1	1	2	18
MCP-PT-01	Perno tornillo tensor	18	1	4	4	16	1	1	2	18
MCP-BL-01	Blindajes laterales cuerpo	102	3	7	4	28	1	5	6	34
MCP-CB-01	Campana y buje sello de aire	6	1	1	4	4	1	1	2	6
MCP-BA-01	Bomba de aceite	6	1	1	4	4	1	1	2	6
MCP-MP-01	Manómetro pulverizador	36	2	4	4	16	1	1	2	18
MCP-CL-01	Circuito de lubricación	12	2	1	4	4	1	1	2	6

En la tabla 14 se muestran los resultados del índice de criticidad realizadas los equipos principales de pulverización de carbón de las unidades II y III de la Termoeléctrica de Paipa GENSA S.A.

Los equipos se clasifican de la siguiente manera: el color verde que están en el rango entre 0-39 indica no críticos, el color amarillo que están en el rango entre 40-79 indica los medio críticos, el color rojo que están en el rango entre 80 -140 indica críticos.

Tabla 14. Análisis de criticidad pulverizadores de carbón GENSA. S.A. E.S.P.

Código	Descripción del equipo	Criticidad
MCP-CP-01	Carcasa del pulverizador	6
MCP-MC-01	Mecanismo conductor	12
MCP-MP-01	Motor pulverizador	36
MCP-EC-01	Eje de comando	60

MCP-PS-01	Placa superior de soporte	12
MCP-YP-01	Yugo pulverizador	6
MCP-TS-01	Tapa de sellos de aire	18
MCP-CA-01	Cuña anular fijación pista inferior	105
MCP-PI-01	Pista inferior de molienda	136
MCP-PS-01	Pista superior de molienda	102
MCP-RP-01	Resortes pulverizador	136
MCP-BP-01	Bolas de pulverización	136
MCP-CC-01	Clasificador de carbón	40
MCP-CP-01	Cono pulverizador	72
MCP-BP-01	Blindajes pulverizador	136
MCP-VB-01	Válvulas de balance	36
MCP-DS-01	Ductos salida de carbón	36
MCP-SA-01	Sistema de aire caliente	18
MCP-SP-01	Sistema de aire primario	18
MCP-RA-01	Rodamiento radial eje principal	36
MCP-RA-01	Rodamiento axial eje principal	22
MCP-TA-01	Tubería aire de sellos	18
MCP-EP-01	Eje principal	60
MCP-CE-01	Corona eje principal	22
MCP-RA-01	Retenedores de aceite	22
MCP-CP-01	Compuerta de piritas	36
MCP-SR-01	Soporte de resortes	18
MCP-PT-01	Perno tornillo tensor	18
MCP-BL-01	Blindajes laterales cuerpo	102
MCP-CB-01	Campana y buje sello de aire	6
MCP-BA-01	Bomba de aceite	6
MCP-MP-01	Manómetro pulverizador	36
MCP-CL-01	Circuito de lubricación	12

6.5.1 Clasificación de los equipos organizado en la matriz de criticidad. La siguiente tabla muestra el análisis de criticidad de los equipos de pulverización de carbón los cuales se organizaron de acuerdo a su rango de criticidad.

Tabla 15. Rango de análisis de criticidad.

Código	Descripción del equipo	Criticidad	Rango de criticidad
MCP-CA-01	Cuña anular pista inferior	105	80≤crítico≥140
MCP-PI-01	Pista inferior de molienda	136	
MCP-PS-01	Pista superior de molienda	102	
MCP-RP-01	Resortes pulverizador	136	
MCP-BP-01	Bolas de pulverización	136	
MCP-BP-01	Blindajes pulverizador	136	
MCP-BL-01	Blindajes laterales cuerpo	102	
MCP-EC-01	Eje de comando	60	40≤medio crítico≥79
MCP-CC-01	Clasificador de carbón	40	
MCP-CP-01	Cono pulverizador	72	
MCP-EP-01	Eje principal	60	
MCP-CP-01	Carcaza del pulverizador	6	0≤no crítico≥39
MCP-MC-01	Mecanismo conductor	12	
MCP-MP-01	Motor pulverizador	36	
MCP-PS-01	Placa superior de soporte	12	
MCP-YP-01	Yugo pulverizador	6	
MCP-TS-01	Tapa de sellos de aire	18	
MCP-VB-01	Válvulas de balance	36	
MCP-DS-01	Ductos salida de carbón	36	
MCP-SA-01	Sistema de aire caliente	18	
MCP-SP-01	Sistema de aire primario	18	
MCP-RA-01	Rodamiento radial eje principal	36	
MCP-RA-01	Rodamiento axial eje principal	22	
MCP-TA-01	Tubería aire de sellos	18	
MCP-CE-01	Corona eje principal	22	
MCP-RA-01	Retenedores de aceite	22	
MCP-CP-01	Compuerta de piritas	36	
MCP-SR-01	Soporte de resortes	18	
MCP-PT-01	Perno tornillo tensor	18	
MCP-CB-01	Campana y buje sello de aire	6	
MCP-BA-01	Bomba de aceite	6	
MCP-MP-01	Manómetro pulverizador	36	
MCP-CL-01	Circuito de lubricación	12	

Finalmente se obtuvo como resultado del análisis de criticidad son:

- Pista de inferior.
- Pista superior.
- Resortes del pulverizador.
- Bolas de pulverización.
- Blindajes pared pulverizador.
- Cuña anular.
- Eje comando.
- Cono.
- Clasificador.

Estos equipos hacen parte de la cámara de molienda del pulverizador lo que hace necesario un análisis de falla para determinar las causas de pérdida en el proceso de pulverización de carbón como la baja producción de energía y realizar un plan de programación de mantenimiento preventivo (actualmente no cuenta).

7. ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLAS (FMEA)

Es una técnica de prevención de trabajo en equipo multidisciplinar, planificada y realizada sistemáticamente, utilizando las herramientas de calidad total, para conseguir los objetos se ha de trabajar conjuntamente con gran disciplina y rigor¹⁶.

La FMEA es una herramienta clave para mejorar la confiabilidad de procesos y productos. La metodología del análisis de modo y efecto de las fallas (AMEF, FMEA, Failure Mode and Effects Análisis), proporciona la orientación y los pasos que un grupo de personas debe seguir para identificar y evaluar las fallas potenciales de un producto o proceso, junto con el efecto que provocan éstas. A partir de lo anterior, el grupo establece prioridades y decide acciones para intentar eliminar o reducir la posibilidad de que ocurran las fallas potenciales que más vulneran la confiabilidad del producto o el proceso.

Aplicar FMEA se ha vuelto una actividad casi obligada para garantizar que los productos seas confiables, en el sentido que logren funciones bien el tiempo que se ha establecido como su periodo de vida útil, pero también cada día se hace más común su aplicación en muchos otros campos con el objetivo de detectar fallas potenciales y preventivas, y de esa forma reducir los tiempo de ciclo, mejora la eficiencia de procesos, etc. Si un producto o un proceso se analizaran como un edificio, aplicarles un FMEA es revisar sus cimientos y estructura, para asegurar que ambas sean confiables y seguras, para disminuir la probabilidad que fallen.

¹⁶ LLORENTE, José Luis. Análisis de modos de fallo y efectos (AMFE).[En línea].[15 de agosto de 2016]. Disponible en: <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>

La frecuencia con que ocurren las fallas junto con su severidad es una medida de la confiabilidad de un sistema, mientras mayor sean estas menores será la confiabilidad. De ésta manera una tarea fundamental cuando se busca caracterizar y mejorar el proceso es aplicar la metodología FMEA, con la idea de conocer mejor las debilidades (modos de falla potenciales) del producto o proceso y a partir de ahí generar soluciones a nivel proceso o rediseño de producto.

La FMEA originalmente se orientó a detectar fallas durante el diseño o rediseño del producto y fallas en el proceso de producción (FMEA, 1995). Ejemplos de fallas en diseño son: no se dispara el flash en una cámara fotográfica, fugas en el sistema de frenos, etc. Ejemplo de fallas en proceso son: fallas en proceso de pulido de un carro, fallas en el proceso de templado, etc. Como se aprecia en los ejemplos anteriores, finalmente una falla en diseño (producto) o en el proceso repercute en el cliente.

7.1 ACTIVIDADES PARA REALIZAR UN FMEA

A continuación se describen actividades generales para realizar un FMEA:

1. Formar el equipo que realizará el FMEA y delimitar al producto o proceso que se le aplicará.
2. Identificar y examinar todas las formas posibles en que pueden ocurrir fallas de un producto o proceso (identificar los modos potenciales de falla).

3. Para cada falla, identificar su efecto y estimar la severidad del mismo, para cada falla potencial.
4. Encontrar las causas potenciales de la falla y estimar la frecuencia de ocurrencia de falla debido a cada causa.
5. Hacer una lista de los controles o mecanismo que existen para detectar la ocurrencia de falla, antes de que el producto salga hacia procesos posteriores o antes que salga del área de manufactura o ensamble. Además estimar la probabilidad de que los controles hagan la detención de la falla.
6. Calcular el número prioritario de riesgo (NPR), que resulta de multiplicar la severidad por la ocurrencia
7. Establecer prioridades de acuerdo al NPR y para los NPR mas altos decidir acciones para disminuir severidad y/u ocurrencia, o en el peor de los casos mejorar la detención. Todo el proceso seguido debe estar documentado en un formato FMEA.

La técnica para cada etapa del proceso mediante el cual se identifica son:

1. Las fallas potenciales con lo que el proceso puede incumplir las especificaciones sus consecuencias internas o externas (G).

2. La frecuencia con lo que la falla puede ocurrir (O).

3. La eficiencia de los controles actuales (D).

7.1.1 Gravedad (G): Estimar la gravedad de los efectos listados en la columna previa. La severidad de los efectos potenciales de falla se evaluó en una escala del 1 al 10 y representa la gravedad de la falla para el cliente o para una operación posterior, una vez esta falla ha ocurrido. La severidad solo se refiere o se aplica al efecto.

Se puede consultar a ingeniería del producto para grados de severidad recomendados o estimar el grado de severidad aplicando los criterios de la tabla. Los efectos pueden manifestarse en el cliente final o en el proceso de manufactura. Siempre se debe considerar primero al cliente final. Si el efecto ocurre en ambos, usar la severidad más alta.

7.1.2 Ocurrencia (O): Estimar la frecuencia con la que se espera ocurra la falta debido a cada una de las causas potenciales listadas antes (¿Qué tan frecuente se activa tal mecanismo de falla?).

La posibilidad de que ocurra cada causa potencial (que se active el mecanismo de falla), se estima una escala de 1 al 10. Si hay registros estadísticos adecuados, estos deben utilizarse para asignar un número a la frecuencia de ocurrencia de la falla. Es importante ser consiente y utilizar los criterios de la tabla para asignar tal número.

7.1.3 Detección (D): Con una escala del 1 al 10, estimar la probabilidad de que los controles, detecten la falla (su efecto), una vez a ocurrido antes de que el producto salga hacia procesos posteriores o antes de que salga del área de manufactura o ensamble. Se deben suponer que la causa de falla ha sucedido y entonces evaluar la eficiencia de los controles actuales para prevenir el embarque del efecto, es decir, es una estimación de la probabilidad de detectar, suponiendo que ha ocurrido la falla, y no es una estimación sobre la probabilidad de que la falla ocurra. Las verificaciones aisladas hechas por el departamento de calidad son inadecuadas para detectar un defecto, y por tanto, no resultaran en un cambio notable del grado de detención. Sin embargo, el muestreo hecho sobre una base estadística es un control detención valido.

7.1.4 Número de prioridad del riesgo (NPR). Calcular el NPR para efecto-causas- controles que es el resultado de multiplicar la puntuación dada a la gravedad del efecto de falla, por la probabilidades de ocurrencia para cada causa de falla, y por las posibilidades de que los mecanismos de control detecten causa de falla, es decir .para cada efecto se tienen varias causas y para cada causa un grupo de controles.

Ecuación 2. Número de prioridad del riesgo.

$$NPR = (S) \times (O) \times (D)$$

El NPR cae en un rango de 1 a 1000 y proporciona un indicador relativo de todas las causas de falla. A los más altos números de NPR se les deberá dar prioridad para acciones correctivas ya sea para prevenir la causa o por lo menos para emplear mejores de detención. Especial atención debe darse cuando se tengan altos NPR (mayores a 80) con severidades altas.

Acciones recomendadas: En esta columna se describe una breve descripción de las acciones correctivas recomendadas para los NPR más altos. Por ejemplo cuando hay poca comprensión de las causas de la falla, entonces la recomendación podría ser ejecutar un proyecto de mejora basado en los ocho pasos de la solución de un problema (el ciclo de la calidad). Un FMEA de proceso bien desarrollado y pensando será de un valor limitado si no se completan acciones correctivas efectivas.

Es responsabilidad de todas las áreas afectadas establecer programas de seguimiento efectivo para implantar todas las recomendaciones. Las acciones correctivas que atiendan los NPR más altos son generalmente para el diseño o el proceso

Basadas en el análisis, las acciones pueden ser usadas para lo siguiente: generar soluciones que eviten, prevengan o por lo menos reduzca la probabilidad de ocurrencia de la falla, debido a la causa asociada.

Estas soluciones deben ser a nivel proceso o diseño de producto.

Las herramientas que se pueden utilizar para generar una buena solución son: metodología de los ocho pasos, diseño de experimentos, sistema poka-yoke, o cartas de control.

En algunas ocasiones es posible reducir la severidad del modo de falla del producto modificando su diseño.

Para determinar la probabilidad de detección se requiere revisiones al proceso. Generalmente, un aumento de los controles de detección es costoso e ineficaz para mejorar la calidad.

Un incremento en la frecuencia de inspección en el departamento de calidad no es una acción correctiva positiva y debe utilizarse solo como último recurso o medida temporal.

En algunos casos puede recomendarse un cambio en el diseño de una parte específica para ayudar a la detección. Pueden implementarse cambios en los sistemas de control actuales para incrementar la probabilidad de detección. Sin embargo, puede ponerse énfasis en la prevención de defectos (es decir, reduciendo la ocurrencia), en vez de su detección; por ejemplo teniendo un control estadístico de proceso en lugar de técnicas de muestreo al azar.¹⁷

¹⁷ LLORENTE, José Luis. Análisis de modos de fallo y efectos (AMFE). [En línea]. Disponible en internet: <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>

Tabla 16. Clasificación gravedad.

CRITERIO	CLASSIFICACIÓN
Nula. No hay efecto	1
Casi imperceptible. Un porcentaje muy bajo del producto deberá ser relocado en la misma cadena de producción y en el mismo puesto de trabajo. Algún cliente astuto percibirá el defecto. El defecto no afecta al desempeño del producto.	2
Muy baja, pero perceptible. Un porcentaje menor del producto deberá ser relocado en la misma cadena de producción pero en un lugar de trabajo diferente. Algunos clientes percibirán el defecto. Error de naturaleza poco importante que puede causar una ligera inconveniencia al cliente, aunque él no se dé cuenta.	3
Bastante baja: un porcentaje menor del producto está afectado. Todos los clientes percibirán el defecto aunque podrán continuar utilizando el producto con normalidad, aunque ligeramente insatisfechos.	4
Baja. Un porcentaje significativo del producto está afectado. El problema se puede solucionar reoperando el producto. El producto puede ser utilizado por el cliente, pero los más exigentes llamarían por teléfono para quejarse.	5
Moderada. Incidencia de gravedad baja pero que, o bien afecta casi a la totalidad de los productos o no puede ser reoperado. La mayoría de los clientes se irritan por el defecto, y muchos se quejan, aunque pueden utilizarlo.	6
Alta. Un porcentaje menor del producto está afectado, y es inservible para su uso. Para retirarlo hay que realizar una inspección al 100%. El cliente llama para quejarse en cuanto detecta el problema. El defecto no involucra funciones de seguridad ni el incumplimiento de la reglamentación.	7
Muy alta. Gran parte de la producción está afectada y es inservible para su uso, aunque no comporta peligro para la seguridad. El cliente se da cuenta con facilidad y llama alarmado para quejarse porque traslota sus planes.	8
Extrema. Toda o parte de la producción está afectada. El defecto es difícil de detectar por el cliente aunque no comporta peligro para la seguridad, o bien afecta a la seguridad pero será detectado con facilidad. El cliente sufrirá sin remedio las consecuencias del defecto y le perjudicará gravemente.	9
Muy extrema. El defecto afecta a la seguridad y puede ser utilizado sin ser advertido por el cliente.	10

Fuente: <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>

Tabla 17. Clasificación frecuencia de ocurrir.

CRITERIO	CLASSIFICACIÓN	PROBABILIDAD
Remota. Es muy improbable que suceda este fallo. Nunca ha ocurrido con anterioridad en procesos idénticos. Los resultados se sitúan en un entorno $\pm 5\sigma$ dentro de la especificación (la tolerancia especificada). $Cpk > 1.67$	1	$< 1/1.500.000$
Muy baja. Sólo algunos fallos puntuales han sido verificados en procesos idénticos. La capacidad es: $Cpk > 1.5$	2	$< 1/150.000$
Baja. Fallos puntuales asociados a procesos idénticos, $\pm 4 \sigma$ dentro de la especificación. $Cpk > 1.33$	3	$1/15.000$
Moderada. Algunos procesos similares han experimentado fallos esporádicos pero no en grandes proporciones. Capacidades $Cpk > 1.17$, $Cpk > 1.00$, y $Cpk > 0.83$ respectivamente.	4	$1/2.000$
	5	$1/400$
	6	$1/80$
Alta. Procesos similares han tenido este fallo con bastante regularidad. Capacidades $Cpk > 0.67$, $Cpk > 0.51$, respectivamente.	7	$1/20$
	8	$1/4$
Muy alta. Con toda certeza aparecerá el error y de forma reiterada: $Cpk > 0.33$ i $Cpk > 0.17$, respectivamente.	9	$1/3$
	10	$1/2$

Fuente: <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>

Tabla 18. Clasificación defectibilidad.

CRITERIO	CLASSIFICACIÓN
Muy alta. Probabilidad remota de que el producto sea liberado con el defecto. El defecto es una característica funcionalmente obvia y detectada inmediatamente por el operador. La fiabilidad de la detección es, como mínimo, del 99.99%.	1,2
Alta. Los controles actuales tienen una gran probabilidad de detectar este fallo antes de que llegue al cliente. El defecto es una característica fácilmente detectable porque se observa sin manipular demasiado el producto. La fiabilidad en la detección es como mínimo de 99.8%.	3,4
Moderada. El programa de controles puede detectar el defecto, aunque no es detectable a simple vista. Fiabilidad mínima del 98%	5,6
Baja. es posible que algunos defectos de este tipo no sean detectados. La fiabilidad en la detección es del 90%.	7,8
Muy baja. Los controles actuales son claramente ineficaces para detectar una parte significativa de los defectos. Se detectarían bastantes, pero muchos otros acabarían siendo enviados al cliente.	9
Certidumbre total. Si el defecto se produce no será detectado y acabará en manos del cliente con toda certeza.	10

Fuente: <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>

Tabla 19. Análisis de modo de falla.

ANÁLISIS DE MODO DE FALLA EN LOS PULVERIZADORES DE CARBÓN UNIDADES II Y III CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA									
FORMATO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA									
EQUIPO: CÁMARA DE MOLIENDA					CODIGO: 1				
MODELO: EL 76					FECHA: 15/07/2016				
TALLER: MANTENIMIENTO SECCIÓN CALDERAS									
UBICACIÓN: NIVEL 0.0 CALDERAS					REVISADO				
COORDINADOR DE SECCIÓN: SR CARLOS ABEL RIVERA					APROVADO				
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SOLUCIÓN	O	G	D	IPR
EJE DE COMANDO	Transmisión de movimiento y soporte de piezas	Cizallamiento y rotura	Equipo queda fuera de servicio	Des alineamiento, ajustes, holguras inadecuadas, alta vibración	Ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje	2	10	8	160

CUÑA ANULAR FIJACIÓN PISTA INFERIOR	Centrado y fijación de la pista inferior	Desgaste por abrasión	Desalineamiento y soltura mecánica pista inferior.	Acumulación de material abrasivo carbón	Reconstrucción con soldadura eléctrica anti abrasiva	8	8	9	576
PISTA INFERIOR DE MOLIENDA	Sirve como guía de las bolas y permite acumulación de carbón para realizar la pulverización	Desgaste irregular, fragmentación y fisuras en bordes de la pista.	Granulometría y pulverización anormal del carbón	Caída de chatarra y acumulación de material ferroso en la pista	Colocar separador magnético antes de la entrada de carbón al pulverizador	7	9	9	567
PISTA SUPERIOR DE MOLIENDA	Sirve de soporte para que las bolas realicen el proceso de pulverización	Desgaste irregular, fragmentación y fisuras en bordes de la pista.	Granulometría y pulverización anormal del carbón	Des calibración de los resortes de apoyo	calibración y torque uniforme en los resortes de fijación	7	8	8	448
RESORTES	Fijación y aplicación de fuerza para realizar la pulverización del carbón.	Desgaste, fisura y rotura	Granulometría y ruido anormal	Desgaste causado por abrasión	cambio de resortes	8	9	9	648
BOLAS DE PULVERIZACIÓN	Realizar el proceso de pulverización y granulometría dentro de parámetros adecuados	Deformación, desgaste y rotura	Granulometría y ruido anormal	Falla por abrasión, ajuste inadecuado de los resortes y des alineamiento de las pistas	Instalación de bolas nuevas debidamente certificadas	9	9	9	729
CLASIFICADOR DE CARBÓN	Clasificar el paso uniforme de partículas de carbón del mismo tamaño	Desgaste en las laminillas de clasificación	Granulometría anormal	Desgaste por material abrasivo	Instalación de nuevas laminillas de calibración	5	6	5	150
CONO	Permitir la caída del carbón que se regresa del clasificador	Desgaste y perforación	Granulometría anormal	Falla por abrasión de material particulado	Reconstrucción y colocación de parches en perforaciones	7	7	8	392
BLINDAJES	Proteger la carcasa y cuerpo del pulverizador	Fisuras y roturas	Ruido anormal y aumento de temperatura en la carcasa	Golpe con elementos metálicos	Reconstrucción con soldadura eléctrica y instalación de blindajes nuevos	8	9	9	648
EJE PRINCIPAL	Sirve para transmitir el movimiento y soporte de las piezas de la cámara de molienda	Cizallamiento y rotura	Equipo queda fuera de servicio	Des alineamiento, ajustes, holguras inadecuadas, alta vibración	Ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje	2	10	8	160
BLINDAJES LATERALES CUERPO	Proteger las paredes del cuerpo	Fisuras y rotura de blindajes	Ruido anormal y golpeteo en cámara de molienda	Caída de elementos metálicos a cámara de molienda	Instalación separador magnético antes del pulverizador del carbón	7	8	8	448

Adicionalmente en el anexo A se describe el análisis de modo de falla de los todos los componentes del sistema de pulverización de carbón.

8. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO

8.1 MODELO DE MANTENIMIENTO PROPUESTO

Basado en información obtenida (manuales de mantenimiento, historial de fallas, análisis de criticidad, análisis de modo y efecto de falla, entrevistas al personal técnico, visitas a la empresa, toma de datos), se propone elaborar un modelo de mantenimiento preventivo con el fin de determinar a qué equipos se debe realizar el mantenimiento con más frecuencia y a cuales no, para así evitar los altos costos de mantenimientos innecesarios.

Las actividades del plan de mantenimiento preventivo tendrán como objetivo preservar y conservar en condiciones óptimas de funcionamiento y detectar posibles daños potenciales que puedan parar la producción de la empresa.

El cronograma de mantenimiento preventivo nos permite recordar las funciones que debemos hacerle a cada equipo y herramientas para prevenir las fallas con revisión en horas de funcionamiento como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 20. Programa de mantenimiento preventivo pulverizadores de carbón.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA RECOMENDADA HORAS MTTO	CAMBIO TOTAL DEL REPUESTO RECOMENDADO HORAS	ÁREA ENCARGADA	PERSONAL REQUERIDO
Carcaza del pulverizador				

Verificar si existen desgaste en la pared del pulverizador. Aplicación de soldadura para rellenar pared.	192 horas	no hay cambio	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar 1 soldador
Mecanismo conductor				
Verificar alineación, desgaste de dientes, desajuste, alineación de eje espigo. Cambio de piñón por desgaste.	240 horas	43800 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar
Motor				
Revisión de amperaje, temperatura. Verificar ruidos anormales. Revisión del motor, revisión cámara de molienda.	120 horas	87600 horas	taller eléctrico	1 eléctrico
Eje de comando				
Revisión de alineamiento, ajustes, holguras, alta vibración, ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje.	192	43800 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar
Placa superior de soporte (plato housin)				
Verificar vibraciones, ruido anormal, des alineamiento del eje. Ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje.	480 horas	87600 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Yugo				
Verificar acumulación de carbón y sobrecarga de la pista inferior. Reconstrucción con soldadura eléctrica anti abrasiva, pulimento de aletas.	192 horas	43800 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Tapa de sellos de aire				
Verificar perdida de presión de aire. Instalación de nuevos anillos de sello de aire.	120 horas	720 horas	taller caldera	1 mecánico

Cuña anular fijación pista inferior				
Verificar desalineación y soldadura mecánica pista inferior. Reconstrucción con soldadura eléctrica anti abrasiva.	192 horas	17520 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Pista inferior de molienda				
Verificar desajuste irregular, fragmentación y fisuras en bordes de las pista. colocar separador magnético antes de la entrada de carbón al pulverizador.	480 horas	17520	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Pista superior de molienda				
Verificar desajuste irregular, fragmentación y fisuras en bordes de las pista. calibración y torque uniforme en los resortes de fijación.	144 horas	17520 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Resortes				
Verificar desajuste, fisura, rotura o desgaste. Cambio de resortes.	72 horas	1200 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Bolas de pulverización				
Verificar deformación, desgaste y rotura. Instalación de bolas nuevas debidamente certificadas.	144 horas	17.520 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Clasificador de carbón				
Verificar la granulometría del carbón. Instalación de nuevas laminillas de calibración.	120 horas	43.800 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Cono				
Verificar la granulometría del carbón. Reconstrucción y colocación de parches en perforaciones.	120 horas	4.320 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar

Blindajes				
Verificar ruido anormal, aumento de temperatura en la carcasa. Reconstrucción con soldadura eléctrica e instalación de blindajes nuevos.	1.632 horas	5.760 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Válvulas de balance				
Verificar distribución irregular de la salida de carbón a los ductos. Reemplazar los empaques por nuevos.	120 horas	17.520 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Ductos salida de carbón				
Verificar fugas de carbón y contaminación en el pulverizador. Reconstrucción con soldadura eléctrica y/o cambio de ductos.	288 horas	70.080 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Sistema de aire caliente				
Verificar acumulación de carbón en cámara de molienda. Verificación de sellos e instalación de nueva empaquetadura.	192 horas	43.800 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Sistema de aire primario				
Verificar acumulación de carbón en cámara de molienda cambio de alabes y/o instalación de ventilador nuevo.	360 horas	43.800 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Rodamiento radial eje principal				
Verificar ruido anormal, aumento de temperatura, alta vibración. Prueba sistema de lubricación, cambio de rodamientos.	1.200 horas	26.280 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Rodamiento axial eje principal				

Verificar alineación, holguras inadecuadas, revisión sistema de lubricación. prueba sistema de lubricación, cambio de rodamientos	1.200 horas	43.800 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Tubería aire de sellos				
Verificar llegada de aire. Rectificado de roscas e instalación de nueva tubería.	960 horas	26.280 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Eje principal				
Verificar alineación, holguras inadecuadas, vibraciones, temperatura. ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje	192 horas	43.800 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Corona eje principal				
Verificar alineación, ajustes, revisar lubricación. Alineamiento, holgura de acuerdo a instructivos o catálogos de fabricación.	960 horas	70.080 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Retenedores de aceite				
Verificar altas temperatura en eje, verificar retenedores. Dejar holguras y ajuste de acuerdo a recomendación del fabricante.	840 horas	26.280 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Compuerta de piritas				
Verificar cuerpos metálicos extraños en compuerta. Extracción de elementos metálicos, suavizar compuerta.	72 horas	17.520 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar
Soporte de resortes				

Verificar desgaste por abrasión y alta vibración. instalación de camisa protectoras en los orificios	96 horas	8.760 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Perno tornillo tensor				
Verificar vibraciones y desgaste del tornillo, verificar granulometría del carbón. instalar tornillos prisioneros para mantener fijo el tornillo y la tuerca	144 horas	17.520 horas	taller caldera	2 mecánico 1 auxiliar
Blindajes laterales cuerpo				
Verificar ruido anormal, golpeteo en cámara de molienda. Instalación separador magnético antes del pulverizador del carbón.	96 horas	4.320 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar
Campana y buje sello de aire				
Verificar presión en cámara de aire. Instalación de nuevos sellos de aire.	720 horas	17.520 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar
Bomba de aceite				
Verificar ajustes y desgastes en los dientes de los piñones. Cambio e instalación de nuevos piñones.	120 horas	35.040 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar
Manómetro				
Verificar presión real de trabajo. instalar manómetro dentro de rango adecuados y protección de los vidrios	8 horas	24 horas	taller caldera	1 auxiliar
Circuito de lubricación				
Verificar lubricación del sistema. verificación drenaje de aceite para que este salga a presión	24 horas	8.770 horas	taller caldera	1 mecánico 1 auxiliar

8.2 PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DE LA GRANULOMETRÍA DEL CARBÓN PULVERIZADO

Teniendo en cuenta estos aspectos, entre otros y mediante el análisis del montaje, funcionamiento y especificaciones de mantenimiento del pulverizador, podemos concluir que para el mejoramiento de la granulometría del carbón pulverizado, es necesario básicamente el control estricto del funcionamiento de los pulverizadores bajo las especificaciones dadas en las instrucciones de operaciones suministradas por el fabricante; por tanto otras posibilidades como el rediseño de su estructura de montaje o de funcionamiento son descartadas, pues el pulverizador de carbón EL 76 de Babcock & Wilcox ha sido diseñado para esta actividad específicamente, por lo que su funcionamiento debe ser óptimo bajo condiciones óptimas de control y mantenimiento.

Mediante el estudio y la respectiva investigación que se realizó sobre los pulverizadores y su funcionamiento en la central Termoeléctrica de Paipa, unidades de generación II Y III, y teniendo en cuenta particularmente el ajuste y mantenimiento realizado a los pulverizadores, se observan algunos aspectos a tener en cuenta como:

- En la planta no existen los registros para el control estricto y adecuado de las actividades de reparación, mantenimiento y calibración de los pulverizadores en servicio, pues en las hojas de vida de estos se encuentran algunos datos demasiados desactualizados y falta de continuidad.

- En las labores de reparación y mantenimiento el personal operativo no realiza el registro adecuado de todos los datos que es necesario tomar para el adecuado mantenimiento y operación.
- Generalmente la intervención para la reparación y mantenimiento de un pulverizador se realiza hasta tanto este realice síntomas de mal funcionamiento, tales como ruido, golpeteo, aumento en el amperaje del motor, recalentamiento, etc.

Estos aspectos, y la falta de realización de las actividades que esto implica hace que cada pulverizador presente fallas inesperadas en el sistema de funcionamiento y particularmente en los elementos de molienda debido a que estos son elementos dinámicos cuyo desajuste excesivo provoca esfuerzos demasiados grandes que pueden producir fracturas, desportilladuras o desgastes anormales que además de causar la mala calidad de carbón pulverizado, también aumenta considerablemente los costos del posterior mantenimiento y operación.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente expuesto y buscando principalmente el mejoramiento de la granulometría del carbón pulverizado, se optó por elaborar un programa de ajuste de los elementos de la cámara de molienda como solución básica al problema.

Este programa de ajuste, teniendo en cuenta recomendaciones del fabricante acerca de los posibles métodos de ajuste y operación para conseguir el óptimo funcionamiento de los elementos de la cámara de molienda se ha propuesto dos maneras o formas posible, de las cuales se optara por poner en práctica una de

estas dependiendo de los resultados de rendimiento y de los costos que la implementación o puesta en práctica que cada uno de estos métodos implica.

El primero de estos métodos consiste básicamente en la utilización de dos juegos de bolas alternadamente sobre un solo juego de pistas y demás elementos de la cámara de molienda, considerando que el desgaste de las pistas se lleva a cabo de una forma más óptima; mientras que en el segundo método consiste que en el ajuste continuo de un solo juego de bolas sobre un juego de pistas y demás elementos de la cámara de molienda.

Además de seguir estrictamente el programa de ajuste al que se hace referencia anteriormente es necesario mantener el ajuste y calibración adecuados del clasificador, y seguir una rutina de ajuste periódico de la comprensión de los resorte sobre los elementos de moliendo para garantizar la presión adecuada para su realización, este ajuste periódico también será explicado en detalle posteriormente.

Es importante aclarar que los datos utilizados para la realización del programa de ajuste para los dos métodos propuestos fueron obtenidos de registros hechos en las hojas de vida de los pulverizadores, pero que estos datos se encontraron bastante desactualizados, en cuanto a fechas de toma de datos se refiere y además se encontraron algunos datos bastante discontinuos, es decir que la periodicidad de la toma de estos no ha estado adecuadamente controlado.

A continuación se realizará la exposición detallada de cada uno de los métodos de ajuste anteriormente referidos.

8.2.1 Consideraciones generales. Los elementos de la cámara de molienda y el control de desgaste son de vital importancia en cuanto a la optimización de la calidad el carbón pulverizado, por tanto se realizó el proceso de análisis de acuerdo a datos registrados en campo y entrevistas con el personal de mantenimiento mecánico sección caldera a quien le compete este proceso.

A continuación se hacen las consideraciones necesarias para el método de los dos juegos de bolas, a partir del cual será muy fácil comprender las respectivas consideraciones para el método de un solo juego.

En las siguientes tablas se presenta el diámetro de las bolas y la cantidad de horas de trabajo acumuladas de cada juego.

Tabla 21. Desgaste de las bolas del pulverizador con las horas de trabajo acumuladas juego 1 y 2.

Diámetro de bolas		Horas de trabajo acumuladas
Pulgadas	Milímetros	
12 1/4	311,15	0
11 3/4	298,45	1473
11 1/4	285,75	2796
10 3/8	263,52	5111
10	254	6103
9 3/8	238,12	7757
8 7/8	225,42	9080
8 1/4	209,55	10733

A continuación la tabla 22 muestra tabulados los datos calculados para el tiempo de duración en horas de operación del pulverizador que deben trabajarse los juegos de bolas en cada uno de los diferentes intervalos de diámetros.

Tabla 22. Tiempo de trabajo para cada uno de los intervalos de desgaste de los dos juegos de bolas.

Juego de bolas	Intervalo de diámetros		Tiempo de duración (Hrs.)	Tolerancia de tiempo (Hrs.)
	Pulgadas	Milímetros		
Juego 1	12 ¼ - 11 ¾"	311,15 – 298,45	1473	74
Juego 2	12 ¼ - 11 3/8	311,15 – 288,92	2466	123
Juego 1	11 ¾ - 11 1/4	298,45 -285,75	1323	66
Juego 2	11 3/8 - 11	288,92 – 279,4	911	50
Juego 1	11 ¼ - 10 3/8	285,75 – 263,52	2315	116
Juego 2	11 10 ½	279,4 – 266,7	1323	66
Juego 1	10 3/8 - 10	263,52 -254	992	50
Juego 2	10 ½ - 9 7/8	266,7 – 250,825	1654	83
Juego 1	10 – 9 3/8	254 – 238,12	1654	83
Juego 2	9 7/8 – 9 1/4	250,825–234,95	1653	83
Juego 1	9 3/8 – 8 7/8	238,12 – 225,425	1323	66
Juego 2	9 ¼ - 8 1/2	234,95 – 215,9	1985	99
Juego 1	9 7/8 – 8 1/4	225,425– 209,55	1653	83
Juego 2	8 ½ - 8 1/4	215,9-209,55	661	33

La operación del pulverizador producirá un desgaste de las bolas y este a su vez creará más espacio entre ellas. Para rellenar este espacio es necesario agregar más bolas cuando dicho espacio sea lo suficientemente grande para acomodar bolas extras teniendo en cuenta que se debe mantener una abertura media aproximada entre ellas de 5/8 de pulgada (15,9 mm), estas bolas de relleno están disponibles en varios tamaños normalizados.

Tabla 23. Diámetros normalizados de bolas para pulverizador.

Diámetro	
Pulgadas	Milímetros
11 ¼	285.75
10 ½	266.7
9 7/8	250.82
9 ¼	234.95

Además entre las bolas extras y las que ya han sido trabajadas en el pulverizador no debe existir una diferencia de diámetros mayor de 1/8 de pulgada (3.175 mm).

8.2.2 Número de bolas de relleno. Como puede apreciarse en la tabla anterior los diámetros normalizados para las bolas extras presentan cuatro momentos especiales y precisos para realizar la adición de bolas.

Para determinar el número de bolas de relleno que en cada uno de estos cuatro momentos se debe agregar es necesario además de tener en cuenta los dos criterios anteriormente mencionados, conocer el diámetro medio de las pistas o anillos tanto superior como inferior de molienda los cuales son aproximadamente iguales a se pueden considerar así para el presente análisis; el diámetro medio aproximado de estos anillos es:

$$\Phi = 76 \frac{1}{2} \text{ in} = 1943.1 \text{ mm.}$$

Con este diámetro es posible calcular el perímetro de los anillos de molienda P_A que se hace de vital importancia para el cálculo del diámetro de bolas de relleno.

$$P_A = \pi * \phi$$

$$P_A = \pi * (76 \frac{1}{2} \text{ in.}) = 240.33 \text{ in} = 6104.4 \text{ mm.}$$

Teniendo en cuenta la tabla 22 de los tamaños normalizados de bolas extras y como ya se dijo se presentan cuatro momentos específicos en los que es más

conveniente la adición de bolas, el primero de ellos es cuando las bolas se desgastan hasta un tamaño de 11 ¼ in. (285.75 mm.) de diámetro.

El segundo momento para adicionar bolas es en el instante en el cual las bolas instaladas se encuentran de un tamaño de 10 ½ de diámetro; el tercer momento es cuando las bolas en el pulverizador se desgastan hasta un tamaño de 9 7/8 in. (250.82 mm), por último, es posible adicionar bolas, en el momento en que estas se encuentran con un diámetro de 9 ¼ in. (234.9 mm).

8.2.3 Programa de actividades para el método de dos juegos de bolas. Es importante tener el conocimiento adecuado acerca de los repuestos y además elementos y materiales necesarios para realizar una reparación general de la cámara de molienda, así como también el estado en que se encuentra el pulverizador antes de realizar cualquier intervención.

En la tabla 24 se relacionan los elementos utilizados en una reparación general de la cámara de molienda y demás elementos que se hacen necesarios en el método de dos juegos de bolas.

Tabla 24. Elementos utilizados en la reparación general de la cámara de molienda.

	Descripción	Cantidad
1	Pista inferior	1
2	Pista superior	1
3	Cuñas de ajuste pista inferior	4
4	Resortes	6
5	Bolas $\phi=12 \frac{1}{4}$ in.	36
6	Bolas $\phi=11 \frac{1}{4}$ in.	4
7	Bolas $\phi=10 \frac{1}{2}$ in.	4

8	Bolas $\phi=9 \frac{7}{8}$ in.	2
9	Bolas $\phi=9 \frac{1}{4}$ in.	4
10	Blindajes	12
11	Grapas de sujeción para blindajes	24
12	Tornillos Bristol $\frac{3}{4} \times 3$ in. Rosca ord.	24
13	Trampas de pirita en acero al Mn.	2
14	Guasas de presión de $\frac{3}{4}$ in.	24
15	Tornillos de $\frac{1}{2}$ in. \times $\frac{3}{4}$ in. Rosca ord	30
16	Tuercas de 1 in. En Fe. Rosca ord	4
17	Tornillos $\frac{3}{8} \times 2 \frac{1}{2}$ " R. ord. Con tuerca	10
18	Tornillos $\frac{3}{4} \times 1 \frac{1}{2}$ " R. ord. Con tuerca	20
19	Metro cinta asbesto $1 \frac{1}{8} \times 2$ in.	30
20	Kg. Soldadura eléctrica 400	10
21	Kg. Soldadura eléctrica 7018 $5/32$	80

Se realiza la reparación general de la cámara de molienda de manera normal cargando el pulverizador con el juego de bolas número uno de $12 \frac{1}{4}$ in. (311.150 mm.) de diámetro, se hace el respectivo ajuste de cada uno de las seis resortes, siguiendo la secuencia de inicio se realiza una prueba en vacío al pulverizador para que posteriormente entre en funcionamiento con carga hasta que haya cumplido 1473 ± 74 horas de trabajo que es el tiempo estimado para que desgaste las bolas de este el juego número uno lleguen a un diámetro aproximado de $11 \frac{3}{4}$ " (298.450 mm), en este momento y siguiendo las secuencia de parada el pulverizador suspende su operación, se abre la puerta grande de acceso.

Es aconsejable que antes de entrar en contacto con la cámara de molienda por parte de los operarios dejar un tiempo prudencial hasta que los elementos de dicha cámara se encuentren a una temperatura apropiada para su manipulación sin que se presente ningún riesgo que atente contra la integridad física del personal, antes de manipular algún elemento debe hacerse una inspección de los elementos de la cámara de molienda además de medir la longitud entre la zapatas

de cada resorte para posteriormente hallar la diferencia entre la longitud de los resortes cuando se calibro para que entrara en operación el pulverizador y la longitud de los mismos pero cuando ha transcurrido este lapso de tiempo.

En resumen, cuando se toma la decisión de alternar dos juegos de bolas en el pulverizador, este acumulara 10733 ± 537 horas de trabajo con cada uno de los juegos de bolas, lo que significa que el juego de pistas acumulara un total de 21466 ± 1073 horas de trabajo logrando así un desgaste óptimo, siempre y cuando no se presenten eventos inesperados o anormales como la rotura prematura de algún elemento de la cámara de molienda. Además, a cada uno de los juegos de bolas se adicionarán siete unidades extras, de las cuales dos serán de un diámetro de $11 \frac{1}{4}$ in. (285.75 mm.), dos de $10 \frac{1}{2}$ in. (266.7 mm.), una de $9 \frac{7}{8}$ in. (250.82 mm.), y por último, dos de $9 \frac{1}{4}$ in. (234.95 mm.).

En la tabla 25 se describe como pueden ser las combinaciones de los diámetros de las bolas para que trabajen en óptimas condiciones.

Tabla 25. Resumen de actividades para el uso de dos juegos de bolas alternativamente.

Juego de bolas	Intervalo de diámetros		Tiempo de operación (Horas)	Horas de trabajo acumuladas		Nº de bolas de adición	Diámetro de bolas de adición		Número total de bolas
	Pulgadas	Milímetros		Bolas	Pistas		Pulgadas	Milímetros	
Juego 1	12 1/4 - 11 3/4	311,15 - 298,45	1473 ± 74	1473 ± 74	1473 ± 74	-	-	-	18
Juego 2	12 1/4 - 11 3/8	311,15 - 288,92	2466 ± 123	2466 ± 123	3939 ± 197	-	-	-	18
Juego 1	11 3/4 - 11 1/4	298,45 - 285,75	1323 ± 66	2796 ± 140	5262 ± 263	-	-	-	18
Juego 2	11 3/8 - 11	288,92 - 279,4	991 ± 50	3457 ± 173	6253 ± 313	2	11 1/4	285.75	20
Juego 1	11 1/4 - 10 3/8	285,75 - 263,52	2315 ± 116	5111 ± 256	8568 ± 428	2	11 1/4	285.75	20
Juego 2	11 - 10 1/2	279,4 - 266,7	1323 ± 66	4780 ± 239	9891 ± 494	-	-	-	20
Juego 1	10 3/8 - 10	263,53 - 254	992 ± 50	6103 ± 305	10883 ± 544	2	10 1/2	266.7	22
Juego 2	10 1/2 - 9 7/8	266,7 - 250,825	1654 ± 83	6434 ± 322	12537 ± 627	2	10 1/2	266.7	22
Juego 1	10 - 9 3/8	254 - 238,12	1654 ± 83	7757 ± 388	14191 ± 709	1	9 7/8	250.82	23
Juego 2	9 7/8 - 9 1/4	250,825 - 234,95	1654 ± 83	8087 ± 404	15844 ± 792	1	9 7/8	250.82	23
Juego 1	9 3/8 - 8 7/8	238,12 - 225,425	1223 ± 66	9080 ± 454	17167 ± 885	2	9 1/4	234.95	25
Juego 2	9 1/4 - 8 1/2	234,95 - 215,9	1985 ± 99	10072 ± 504	19152 ± 957	2	9 1/4	234.95	25
Juego 1	8 7/8 - 8 1/4	225,425 - 209,55	1653 ± 83	10733 ± 537	20805 ± 1040	-	-	-	25
Juego 2	8 1/2 - 8 1/4	215,9 - 209,55	661 ± 33	10733 ± 537	21446 ± 1073	-	-	-	25

8.2.4 Programa de actividades para el método de un solo juego de bolas en el pulverizador. Este método no difiere mucho del anterior, pues básicamente el cronograma varía en cuanto a la rutina de adición y rotación de las bolas dentro de la cámara de molienda.

Las demás actividades necesarias para llevar a cabo adecuadamente el respectivo programa de ajuste tales como el cálculo del número de bolas a adicionar al pulverizador en cada uno de los diámetros normalizados de estas y el tiempo al cual se debe realizar el ajuste periódico permanecen idénticas al método anterior.

Tabla 26. Horas de trabajo acumuladas para desgaste a los diámetros normalizados.

Diámetro de las Bolas		Horas de trabajo acumuladas
Pulgadas	Milímetros	
12 1/4	311,15	0
11 1/4	285,75	2796
10 1/2	266,70	4780
9 7/8	250,83	6434
9 1/4	234,95	8087
8 1/4	209,55	10733

Con base en desgaste de las bolas, a continuación, se muestran las horas de operación del pulverizador se lleva a cabo entre cada uno de los intervalos de diámetros de las bolas.

Tabla 27. Duración del juego de bolas para el desgaste entre los intervalos de diámetros normalizados.

Intervalos de Diámetros		Tiempo de duración (Hrs.)
Pulgadas	Milímetros	
12 ¼ - 11 ¼	311,15 – 287,75	2796 ± 140
11 ¼ - 10 ½	285,75 – 266,7	1984 ± 99
10 ½ - 9 7/8	266,7 – 250,82	1564 ± 78
9 7/8 – 9 ¼	250,82 – 234,95	1653 ± 83
9 ¼ - 8 ¼	239,95 – 209,55	2646 ± 132

En caso de adoptar este método de control de desgaste de los elementos de la cámara de molienda, se debe tener en cuenta que posiblemente las pistas no tengan un desgaste adecuado para su óptimo rendimiento, pero además se tiene en cuenta que es mucho más fácil realizar las labores de ajuste y de adición de bolas, pues se necesita menos tiempo y menor cantidad de personal operativo que el necesario en el método de los juegos de bolas.

Con el método de un solo juego de bolas en el pulverizador, al realizar la reparación general de la cámara de molienda se instalan las dieciocho bolas de 12 ¼ in. (311.15 mm.) de diámetro, y se realiza el respectivo ajuste de los seis resortes mediante sus respectivos tornillos, esto hará que al poner el pulverizador en funcionamiento los elementos de molienda estén sometidos a las fuerzas adecuadas para la correcta realización de la actividad de pulverización. El molino debe además operar bajo el estricto cumplimiento de los requerimientos de ajuste periódico, el cual se explicará en detalle posteriormente, para garantizar que las fuerzas ejercidas sobre los elementos de molienda sean siempre las adecuadas, y dicho funcionamiento con el conjunto inicial de dieciocho bolas se debe mantener hasta tanto el diámetro de estas se reduzca hasta 11 ¼ in. (285,75 mm.), el cual

como se ha explicado claramente en secciones anteriores, nos permite insertar dos bolas adicionales, esto según la ecuación de desgaste que como se explicó fue obtenida a partir de datos históricos del pulverizador en operación, se puede estimar que ocurre después de un tiempo de operación de 2796 ± 140 horas.

Se debe entonces detener el pulverizador y además de tener en cuenta las normas básicas de seguridad industrial en la apertura de la cámara de molienda y la manipulación de sus elementos, se deben tomar los datos necesarios para el correcto y estricto diligenciamiento de la tabla 28, el cual posteriormente debe ser consignado en la hoja de vida de cada pulverizador; luego se procede a insertar las dos bolas de $11 \frac{1}{4}$ in. (285.75 mm.), luego de realizar el respectivo ajuste y calibración de los resortes, se cierra el pulverizador, esta vez con veinte bolas de un diámetro medio aproximado de $11 \frac{1}{4}$ in. (285.75 mm.), con la cuales y con la realización de los ajustes periódicos necesarios, debe operar durante 1984 ± 100 horas, al cabo de cuyo tiempo las bolas se habrán de llegar a un diámetro medio aproximado de $10 \frac{1}{2}$ in. (266.7 mm.) en cuyo diámetro es posible la adición de dos bolas más.

Para este propósito es necesario realizar previamente el diligenciamiento correcto de la tabla 28; y posteriormente se realiza calibración y ajustes para que el pulverizador opere ahora con veintidós bolas con un diámetro promedio inicial de $10 \frac{1}{2}$ in. (266.7 mm.) durante $1567 + 78$ horas con la realización de los respectivos ajustes periódicos.

Después de este tiempo, las bolas instaladas en el pulverizador habrán reducido su diámetro a $9 \frac{7}{8}$ in. (250.82 mm.), con este diámetro es posible entonces la adición de una bola con la cual el pulverizador queda funcionando con un total de

veintitrés bolas, que deben tener un diámetro promedio aproximado de 9 7/8 in. (250.82 mm.). Se deben realizar entonces las actividades indicadas para todos los casos anteriores en los que se realiza adición de bolas, y se pone el pulverizador en operación durante las siguientes 1653 ± 83 horas con sus respectivos ajustes periódicos.

El desgaste provocado por la operación durante el tiempo indicado aumentará el desgaste hasta el punto que el diámetro medio aproximado de veintitrés bolas instaladas en la cámara de molienda será de 9 ¼ in. (234.95 mm.); cuando las bolas se encuentren de este diámetro es posible la adición de dos bolas más como ya se ha explicado anteriormente. Al realizar la adición de estas bolas el pulverizador cuenta con veinticinco bolas de un diámetro promedio de 9 ¼ in. (234.95 mm.), las cuales con los respectivos ajustes periódicos deberán terminar su vida útil al cabo de 2646 ± 132 horas de trabajo aproximadamente, pues al cabo de dicho tiempo se habrá reducido su diámetro a 8 ¼ in. (209.55 mm.) a cuyo diámetro deben ser retiradas definitivamente del pulverizador y se debe realizar la revisión y reparación general de la cámara de molienda para iniciar de nuevo el ciclo anteriormente descrito.

Tabla 28. Resumen de las actividades de relleno de bolas cuando se usa un solo juego.

Intervalo de diámetros		Tiempo de duración (Hrs.)	Hrs. De trabajo acumuladas	Nº de bolas de adición	Diámetro de bolas de adición		Nº total de bolas
Pulgadas	Milímetros				Pulgadas	Milímetros	
12 1/4 - 11 1/4	311,15 - 287,75	2796 ± 140	2796 ± 140	-	-	-	18
11 1/4 - 10 1/2	285,75 - 266,7	1984 ± 99	$4780 + 239$	2	11 1/4	285,75	20
10 1/2 - 9 7/8	266,7 - 250,82	1564 ± 78	$6344 + 317$	2	10 1/2	266,7	22
9 7/8 - 9 ¼	250,82 - 234,95	1653 ± 83	$7997 + 400$	1	9 7/8	250,83	23
9 1/4 - 8 ¼	239,95 - 209,55	2646 ± 132	$10643 + 532$	2	9 1/4	234,95	25

8.2.5 Control de desgaste de los elementos de molienda. Como se dijo en cada uno de los apartes anteriores del presente capítulo, cada vez que se realice cualquier actividad de ajuste, reparación o mantenimiento en la cámara de molienda del pulverizador se debe registrar el respectivo estado previo y posterior de los elementos de la cámara de molienda, estos registros deben consignarse en las respectivas hojas de vida de los pulverizadores para la posterior realización de análisis a estos datos que faciliten la obtención de posibles cambios o reformas al programa de ajuste recomendado, esto con el fin de mejorar su eficiencia y precisión. Es importante tener en cuenta que dicho registro se debe realizar sin importar cuál de los dos métodos de ajuste propuestos se esté utilizando, pues en los casos es necesario el control estricto del desgaste de los elementos de molienda.

Tabla 29. Formato para el registro del control de desgaste elementos de molienda.

GENSA S.A. E.S.P
CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA
CONTROL DE DESGASTE ELEMENTOS DE MOLIENDA

Control de desgaste de los elementos de la cámara de molienda, diligenciar en todas las actividades realizadas con la cámara de molienda abierta.

UNIDAD N° _____

PULVERIZADOR _____

Fecha	Hrs. Trabajo		Antes del Ajuste				Después del Ajuste					observaciones
	Parcial	Acumulado	Nº de bolas	Φ med bolas	Log. Resorte	Estado Blindajes	Nº de Bolas	Φ med bolas	Long. Resorte	Estado resorte	Estado Blindajes	

Tabla 30. Formato para el registro del control de desgaste elementos de molienda.

GENSA S.A. E.S.P
CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA
CONTROL DE DESGASTE ELEMENTOS DE MOLIENDA

Control de desgaste de los elementos de la cámara de molienda, diligenciar en todas las actividades realizadas con la cámara de molienda abierta.

UNIDAD N° _____

PULVERIZADOR _____

FECHA	Hrs. Trabajo		Long. Libre tornillo (D)		% Tamiz Malla 200		Observaciones
	Parcial	Acumulado	Antes del ajuste	Después del ajuste	Antes del ajuste	Después del ajuste	

8.3 ESTUDIO ECONÓMICO

Con el estudio técnico anteriormente realizado se demuestran las posibilidades de solucionar el problema en cuanto a actividades de ajuste, calibración y control de operación del pulverizador se refiere; pero es necesario considerar el papel que juega el aspecto económico, pues su presentación y evaluación constituyen un elemento de decisión fundamental que determina si es o no conveniente para la empresa GENSA S.A la implementación de alguna de las dos opciones propuestas.

En la Central Termoeléctrica de Paipa, como se ha explicado es necesario mejorar la calidad de la granulometría del carbón pulverizado por lo que la totalidad del análisis se centra en el pulverizador de carbón y más exactamente en los elementos implicados directamente en la labor de pulverización. El pulverizador de carbón, que hace parte del proceso de generación de energía eléctrica a partir del carbón, no produce un ingreso directo, pues su producto debe continuar con otras etapas del proceso antes de obtenerse el producto final (energía eléctrica), por tanto en este caso la evaluación económica más recomendable es una comparación de costos basado en datos disponibles de inversión en todos los aspectos que intervienen en el montaje, control de operación y ajuste para cada una de las alternativas propuestas.

En este caso, uno de los principales aspectos a tener en cuenta es el costo de los elementos (repuestos) que deben ser reemplazados periódicamente en la cámara de molienda, pues estos en su mayoría son importados lo cual implica costos elevados.

En el presente estudio se tienen en cuenta los elementos específicamente relacionados con la actividad de molienda del carbón y que generalmente son reemplazados en todas las reparaciones generales de la cámara de molienda como son, pistas, bolas, resortes blindajes, tornillería, etc. Pues existen otros elementos que generalmente se reemplazan o reparan cuando su estado de desgaste lo amerite, tales como los pernos de ajuste de los resortes, las carcasas de dichos pernos, etc. Estos últimos elementos no se incluyen en este estudio, pues su costo se debe considerar dentro de las actividades de mantenimiento general del pulverizador por no hacer parte del conjunto de elementos que intervienen en la fineza del carbón.

El presente capítulo tiene por objeto hacer una presentación amplia, detallada y rigurosa del elemento principal que participa la estructura financiera del estudio, es decir, la inversión necesaria para ponerlo en práctica. Esta información conducirá a la identificación de los gastos en los que debe incurrir la Central Termoeléctrica de Paipa para la implementación básica del programa de ajuste propuesto.

8.3.1 Presupuesto de inversión. Los resultados obtenidos en el estudio técnico proveen la información pertinente para la determinación de las inversiones del estudio, se trata pues de organizar la información con el fin de identificar la magnitud de los activos que requiere la empresa y el monto de capital que estos implican para la puesta en marcha y aplicación continua del programa de ajustes.

8.3.1.1 Inversiones fijas. Se realizan en bienes tangibles e intangibles, garantizan la operación adecuada de la cámara de molienda del pulverizador según el estudio técnico realizado y no son objeto de comercialización por parte de la empresa, adquiridos para utilizarse durante su vida útil, durante estas inversiones se pueden

encontrar las depreciables y la no depreciables, a continuación se presenta la descripción de cada una de las inversiones fijas que intervienen en el presente estudio.

◆ **No depreciables**

Terrenos: Para el programa de ajustes de propuesto este rubro no tiene ninguna inversión puesto que el pulverizador ya se encuentra instalado y operando dentro de las instalaciones pertenecientes a la empresa GENSA S.A E.S.P

◆ **Depreciables**

Maquinaria y equipos (Repuestos): Las inversiones en repuestos para este programa de ajustes son las identificadas en el estudio técnico con el listado de repuestos necesarios para realizar una reparación general de la cámara de molienda, además de las bolas necesarias para realizar las adiciones correspondientes durante el desgaste del conjunto de elementos de molienda.

8.3.1.2 Inversiones diferidas. Las inversiones diferidas para el programa de ajustes a realizar en el pulverizador son las que se realizan para los montajes y servicios del montaje y puesta en marcha.

◆ **Gastos de montaje:** incluye los costos de la instalación de los elementos que conforman la cámara de molienda del pulverizador y demás actividades que se requieran para la implementación del programa de ajustes.

◆ **Capacitación.** Gastos ocasionados por el entrenamiento y adiestramiento del personal directivo, técnico y operativo acerca del plan de ajustes propuesto, esta

inversión entonces incluye los costos de conferencias de instrucciones y adiestramiento tanto para las actividades de montaje y ajuste como para las actividades de registro y control.

♦ **Imprevistos.** Por no tener claridad en cuanto al monto de otros gastos diferidos como estudios posteriores que tiendan a mejorar el funcionamiento del pulverizador, se considera un rubro de imprevistos que asciende al 10% del total de las inversiones en repuestos.

8.3.2 Presupuesto para el método de dos juegos de bolas. En este se consideran tanto las inversiones fijas como las diferidas para el caso en que se utilicen dos juegos de bolas alternadamente en la cámara de molienda.

Se debe tener en cuenta que dichas inversiones se consideran para un ciclo de desgaste completo de los elementos de la cámara de molienda, es decir para un periodo comprendido entre dos reparaciones generales de la cámara de molienda que para este método es de aproximadamente 20000 horas.

8.3.2.1 Inversiones fijas. Se considera básicamente las inversiones correspondientes al costo neto para la Empresa GENSA S.A E.S.P de los repuestos necesarios para una inversión en la que se realiza reparación general a la cámara de molienda del pulverizador.

8.3.2.2 Inversiones diferidas. Se componen de gastos de montaje, que incluyen salarios y dotación de los operarios que intervienen en las labores de reparación y ajuste de la cámara de molienda.

Esta información fue suministrada por GENSA S.A E.S.P, Central Termoeléctrica de Paipa, según registros de las horas hombre empleadas en cada una de las actividades referidas y según los datos suministrados referentes al monto del valor de cada hora hombre para los diferentes operarios que intervienen.

En la realización de las diferentes actividades necesarias para la reparación de la cámara de molienda, o para la calibración y ajuste del pulverizador se requiere la presencia y la actividad de diferentes tipos de operarios así:

♦ Reparación general de la cámara de molienda.

Tabla 31. Personal operativo necesario para la reparación general de la cámara de molienda.

Cant.	Cargo	V/r. h/h	Nº h/h	V/r total
1	Supervisor	10000	240	2400000
1	Mecánico calificado	7500	240	1800000
1	Soldador	7500	240	1800000
1	Mecánico Auxiliar	5000	240	1200000
1	Auxiliar Soldadura (aprendiz Sena)	3125	240	750000
TOTAL REPARACIÓN GENERAL DE LA CÁMARA DE MOLIENDA				7950000

♦ Cambio de bolas, ajuste y calibración.

Tabla 32. Personal operativo necesario para el cambio de bolas, ajuste y calibración.

Cant.	Cargo	V/r. h/h	Nº h/h	V/r total
1	Supervisor	10000	12	120000
1	Mecánico calificado	7500	12	90000
1	Soldador	7500	12	90000
1	Mecánico Auxiliar	5000	12	60000
1	Auxiliar Soldadura (aprendiz Sena)	3125	12	37500
TOTAL ADICIÓN DE BOLAS, AJUSTE Y CALIBRACIÓN.				397500

♦ Ajuste periódico.

Tabla 33. Personal operativo necesario para el ajuste.

Cant.	Cargo	V/r. h/h	Nº h/h	V/r total
1	Supervisor	10000	8	80000
1	Mecánico calificado	7500	8	60000
1	Soldador	7500	8	60000
1	Mecánico Auxiliar	5000	8	40000
1	Auxiliar Soldadura (aprendiz Sena)	3125	8	25000
TOTAL AJUSTE PERIÓDICO				265000

Además se incluyen los gastos de capacitación, que como se dijo antes incluyen el costo de conferencias y charlas de entrenamiento y concientización acerca de la importancia de llevar el control estricto del programa de ajuste, y los gastos correspondientes a la papelería y demás elementos necesarios para la realización del registro y diligenciamiento de los datos que deben ser tomados durante las inspecciones para la reparación o ajuste. Este rubro se valoró en el 5% de la inversión en maquinaria y equipo (Repuestos). Los imprevistos a tener en cuenta tienen que ver principalmente con el desgaste prematuro o rotura de algunos

elementos de molienda, se consideró como el 10% de la inversión en maquinaria y equipo (repuestos).

Tabla 34. Inversiones fijas para el método de dos juegos de bolas.

INVERSIONES FIJAS				
REPUESTOS				
Ítem	Cant.	Descripción	Vr. Unitario	Vr. Total
1	1	Pista inferior	29594862.50	29594862.50
2	1	Pista superior	24877013.32	24877013.32
3	4	Cuñas de ajuste pista inferior	870000.00	3480000.00
4	6	Resortes	3417982.00	20507892.00
5	36	Bolas $\phi=12 \frac{1}{4}$ in.	1251050.16	45037805.76
6	4	Bolas $\phi=11 \frac{1}{4}$ in.	1104802.39	4419209.56
7	4	Bolas $\phi=10 \frac{1}{2}$ in.	1049255.77	4197023.08
8	2	Bolas $\phi=9 \frac{7}{8}$ in.	925276.70	1850553.40
9	4	Bolas $\phi=9 \frac{1}{4}$ in.	869730.07	3478520.28
10	12	Blindajes	263370.88	3160450.56
11	24	Grapas de sujeción para blindajes	13282.02	318768.48
12	24	Tornillos Bristol $\frac{3}{4} \times 3$ in. Rosca ord.	4350.00	104400.00
13	2	Trampas de pirita en acero al Mn.	29207.55	58415.10
14	24	Guasas de presión de $\frac{3}{4}$ in.	870.00	20880.00
15	30	Tornillos de $\frac{1}{2}$ in. \times $\frac{3}{4}$ in. Rosca ord.	325.87	9776.10
16	4	Tuercas de 1 in. En Fe. Rosca ord.	800.00	3200.00
17	10	Tornillos $\frac{3}{8} \times 2 \frac{1}{2}$ " R. ord. Con tuerca	1500.00	15000.00
18	20	Tornillos $\frac{3}{4} \times 1 \frac{1}{2}$ " R. ord. Con tuerca	1389.63	27792.60
19	30	Metro cinta asbesto 1/8 \times 2 in.	4691.60	140748.00
20	10	Kg. Soldadura eléctrica 400	18000.00	180000.00
21	80	Kg. Soldadura eléctrica 7018 5/32	3500.00	280000.00
TOTAL REPUESTOS				141762710.7
TOTAL INVERSIONES FIJAS				141762710.7

Tabla 35. Inversiones diferidas para el método de dos juegos de bolas.

INVERSIONES DIFERIDAS				
GASTOS DE MONTAJE				
Ítem	Cant.	Descripción	Vr. Unitario	Vr. Total
1	1	Reparación general cámara de molienda.	7950000	7950000
2	13	Cambio de bolas, ajuste y calibración.	397500	5167500
3	65	Ajuste periódico.	265000	17225000
TOTAL GASTOS DE MONTAJE				30342500
GASTOS DE CAPACITACIÓN				
(INVERSIÓN EN REPUESTOS) * 5%				7088135.53
TOTAL GASTOS DE CAPACITACIÓN				7088135.53
IMPREVISTOS				
(INVERSIÓN EN REPUESTOS) * 10%				14176271.07
TOTAL IMPREVISTOS				14176271.07
TOTAL INVERSIONES DIFERIDAS				51606906.6
INVERSIONES TOTALES = FIJAS + DIFERIDAS				193369616.6

Con este método de ajuste, el periodo considerado entre las dos reparaciones generales de la cámara de molienda es de 21446 horas, para hacer una comparación con el otro método se considera la inversión aproximada para 10000 horas, que será \$96684808.3.

8.3.3 Presupuesto para el método de un juego de bolas. En este caso se considera la inversión para el ajuste continuo de un solo juego de bolas en uso, es decir que no se necesita hacer rotación de bolas sino únicamente adición además del respectivo ajuste periódico.

Esta inversión se realiza para el periodo correspondiente entre dos reparaciones generales de la cámara de molienda que para el método de un solo juego de bolas es de 10643 horas.

Tabla 36. Inversiones diferidas para el método de un juego de bolas.

INVERSIONES DIFERIDAS				
GASTOS DE MONTAJE				
Ítem	Cant.	Descripción	Vr. Unitario	Vr. Total
1	1	Reparación general cámara de molienda.	7950000	7950000
2	4	Adición de bolas, ajuste y calibración.	397500	1590000
3	14	Ajuste periódico.	265000	3710000
TOTAL GASTOS DE MONTAJE				14250000

GASTOS DE CAPACITACIÓN	
(INVERSIÓN EN REPUESTOS) * 5%	5613547.73
TOTAL GASTOS DE CAPACITACIÓN	5613547.73

IMPREVISTOS	
(INVERSIÓN EN REPUESTOS) * 10%	11227095.47
TOTAL IMPREVISTOS	11227095.47

TOTAL INVERSIONES DIFERIDAS	31090643.2
------------------------------------	-------------------

Tabla 37. Inversiones fijas para el método de un juego de bolas.

Inversiones fijas				
Repuestos				
Ítem	Cant.	Descripción	Vr. Unitario	Vr. Total
1	1	Pista inferior	29594862.50	29594862.50
2	1	Pista superior	24877013.32	24877013.32
3	4	Cuñas de ajuste pista inferior	870000.00	3480000.00
4	6	Resortes	3417982.00	20507892.00
5	18	Bolas $\phi=12 \frac{1}{4}$ in.	1251050.16	22518902.88
6	2	Bolas $\phi=11 \frac{1}{4}$ in.	1104802.39	2209604.78

7	2	Bolas $\phi=10 \frac{1}{2}$ in.	1049255.77	2098511.54
8	1	Bolas $\phi=9 \frac{7}{8}$ in.	925276.70	925276.70
9	2	Bolas $\phi=9 \frac{1}{4}$ in.	869730.07	1739460.14
10	12	Blindajes	263370.88	3160450.56
11	24	Grapas de sujeción para blindajes	13282.02	318768.48
12	24	Tornillos Bristol $\frac{3}{4} \times 3$ in. Rosca ord.	4350.00	104400.00
13	2	Trampas de piritita en acero al Mn.	29207.55	58415.10
14	24	Guasas de presión de $\frac{3}{4}$ in.	870.00	20880.00
15	30	Tornillos de $\frac{1}{2}$ in. \times $\frac{3}{4}$ in. Rosca ord.	325.87	9776.10
16	4	Tuercas de $\frac{1}{2}$ in. En Fe. Rosca ord.	800.00	3200.00
17	10	Tornillos $\frac{3}{8} \times 2 \frac{1}{2}$ " R. ord. Con tuerca	1500.00	15000.00
18	20	Tornillos $\frac{3}{4} \times 1 \frac{1}{2}$ " R. ord. Con tuerca	1389.63	27792.60
19	30	Metro cinta asbesto $\frac{1}{8} \times 2$ in.	4691.60	140748.00
20	10	Kg. Soldadura eléctrica 400	18000.00	180000.00
21	80	Kg. Soldadura eléctrica 7018 $\frac{5}{32}$	3500.00	280000.00
TOTAL REPUESTOS				112270954.7
TOTAL INVERSIONES FIJAS				112270954.7

INVERSIONES TOTALES = FIJAS + DIFERIDAS	143361597.9
--	--------------------

En este método de ajuste el periodo considerado es de 10643 horas, por lo tanto la inversión para 10000 horas es de \$ 134700364.5 puede ser comparada con la inversión considerada en el método de dos juegos de bola para 10000 horas de trabajo.

- Inversión durante 10000 horas con el método de dos juegos de bolas = \$96684808.3.
- Inversión durante 10000 horas con el método de juego de bolas = \$134700364.5.

A partir de los anteriores resultados se concluye que desde el punto de vista económico, la opción más conveniente en cuanto al programa de ajustes a implementar en la Central Termoeléctrica de Paipa, es la correspondiente al método de dos juegos de bolas, pues su costo global incluidos repuestos, mano de obra y demás es mucho menor que el correspondiente a la opción del método de un solo juego de bolas.

9. ESTRATÉGIA DE IMPLEMENTACIÓN

Para iniciar la etapa de implementación, es requerido presentar las propuestas al comité técnico, mostrando los beneficios de una implementación. Una vez sea realizado los ajustes y sea aprobada por el comité, iniciar la implementación con los siguientes pasos:

- ◆ Socialización con las áreas involucradas.

- ◆ Actualización de la jerarquización de los equipos en el CMMS existente.

- ◆ Ingreso de las actividades de mantenimiento preventivo en el plan de mantenimiento.

- ◆ Etapa de planeación y programación: Elaboración de los requerimientos de repuestos, materiales y servicios para la implementación y la debida gestión para la adquisición.

- ◆ Implementación, retroalimentación y ajustes.

- ◆ Generación de indicadores de desempeño para llevar seguimiento.

10. CONCLUSIONES

- Se puede concluir que se produce una alta tasa de desgaste abrasivo en los elementos que corresponden a la cámara de molienda de los pulverizadores de carbón de las unidades II y III, por lo cual se debe implementar un programa de mantenimiento preventivo para mitigar las fallas producidas.
- Es requerido realizar una actualización en la jerarquización de equipos, esto para tener un historial más detallado, así como tener las herramientas informáticas para realizar estudios de confiabilidad CMD y mantenimiento predictivo.
- Se debe emplear técnicas de mantenimiento basado en condición CBM (vibraciones, termografía infrarroja) como complemento al plan de mantenimiento preventivo de equipos.
- Los sistemas objeto de estudio en esta presente monografía tienen un gran impacto de generación y en el aspecto ambiental. Por tanto se justifica la implementación del presente modelo gerencial.
- Actualmente la Central Termoeléctrica de Paipa, está dando un uso inadecuado a algunos elementos de la cámara de molienda tales como bolas de pulverización, pues con la rutina de operación optada en este momento se está desperdiciando parte importante de su vida útil.

- La disminución de la calidad de la granulometría del carbón pulverizado obedece principalmente al desgaste anormal de los elementos de la cámara molienda y a que no existe actualmente un programa de ajuste de esta que contrarreste el efecto de dicho desgaste que al crecer se ve reflejado en la calidad del carbón pulverizado.
- Dentro de las propuestas de mejoramiento también se pudo determinar que se debe mejorar la calidad de la granulometría del carbón pulverizado, para esto se elaboró un programa de ajuste de la cámara de molienda que consistió en dos métodos; el primero es la utilización de un juego de bolas en el proceso de la molienda y el segundo dos juegos de bolas.
- Con la implementación de estos dos métodos se estableció que es más eficiente la utilización de dos juegos de bolas en el pulverizador, este acumulara 10733 horas de trabajo, lo que significa que el juego de pistas acumulara un total de 21466 horas de trabajo logrando así un desgaste óptimo.
- Desde el punto de vista económico al implementar estas dos metodologías de ajustes de la cámara de molienda de los pulverizadores es más económica la utilización de dos juegos de bolas puesto que la Inversión con este método es de \$96.684.808, mientras que la Inversión con el método de un juego de es de \$134.700.364 lo cual nos indica que se estaría ahorrando un valor de \$38.015.556 que le serviría a la Central Termoeléctrica de Paipa para invertir en otro proceso que requiera de inversión.

- Según datos suministrados por el sistema de información (infom@nte) de GENSA S.A. E.S.P actualmente el inventario de repuestos es de \$241.079.444 para los equipos de pulverización de carbón, para realizar el mantenimiento general del pulverizador se necesitarían \$141.762.710, es decir que la empresa se estaría ahorrando \$99.316.734.
- Mediante la aplicación del programa de ajustes propuesto, el personal operativo estará más familiarizado con el funcionamiento del pulverizador y además se tendrá un mejor control del desgaste de los elementos que conforman la cámara de molienda.

11. RECOMENDACIONES

Se deben realizar pruebas de granulometría antes y después de cada uno de los ajustes y reparaciones realizadas a la cámara de molienda, para hacer esta actividad un poco más sencilla se recomiendan pruebas de granulometría quincenalmente si el pulverizador se encuentra en operación continua.

El registro de los resultados de las pruebas de granulometría se debe realizar de tal forma que se incluya la fecha y el número de horas de trabajo del pulverizador a partir del último ajuste, esto facilitará el análisis del desgaste de los elementos de molienda y su influencia en la calidad de la granulometría del carbón pulverizado.

Los formatos para la toma de datos propuestos se deben respetar y diligenciar correctamente y con los datos reales; si es conveniente y adecuado que el personal de GENSA S.A. E.S.P Central Termoeléctrica de Paipa pueda diseñar formatos adicionales para la toma de otros datos.

El almacenamiento y análisis de datos que se realice debe estar a disposición del personal de mantenimiento y operación, pues actualmente existe desconocimiento de algunos datos y parámetros por parte de dicho personal.

Se debe realizar la respectiva capacitación del personal de mantenimiento y operación para la familiarización con la aplicación del presente programa de

mantenimiento propuesto y de ajustes, esto es necesario para el correcto desarrollo del plan.

Se recomienda la sistematización de los datos de ajuste y reparación de la cámara de molienda de los pulverizadores para facilitar su acceso y diligenciamiento por parte del personal de GENSA S.A. E.S.P Centra Termoeléctrica de Paipa.

BIBLIOGRAFÍA

ANGEL FLECHAS, Gustavo Andrés. Elaboración de un Modelo Gerencial de Mantenimiento para el Sistema de Transporte de Ceniza Volátil de la Central Termoeléctrica de Paipa, GENSA S.A. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2014.

BORRAS PINILLA, Carlos. Ingeniería de Mantenimiento. En: asignatura de Ingeniería de Mantenimiento. (2016: Yopal). Lecturas y diapositivas de la asignatura Ingeniería de Mantenimiento. Yopal: Universidad Industrial de Santander, 2016. 291 p.

DENVER, Gardner. Parts list operating and service manual. Versión 3 del 2005. 5cdl-pseries.

MEDINA CABALLERO, Iván Leonardo. Diseño de un Sistema de Mantenimiento Preventivo para los Talleres de Campesa S.A Basados en el Análisis de Criticidad Y Modos de Falla (FMEA). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2016.

GARCIA GARRIDO, Santiago. Organización y Gestión Integral de Mantenimiento, Madrid: Díaz de Santos. 2014. 320 p.

GONZÁLES BOHÓRQUEZ, Carlos Ramón. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2006.

GONZALES JAIMES, Isnardo. Seminario I Profundización Bibliográfica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

GONZALES JAIMES, Isnardo. Seminario II Profundización Bibliográfica. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2011.

GREENE, Richard w. Válvulas selección, uso y mantenimiento. McGraw-Hill 1992. México.

Instructions for Erection, Operation and Maintenance. United conveyor corporation
300 Wilmot road Deerfield, Illinois

LLORENTE, José Luis. Análisis de modos de fallo y efectos (AMFE). [En línea].
Disponible en internet: <http://gestion-calidad.com/wp-content/uploads/2016/09/AMFE.pdf>

Steam Its Generation and de Use, The Babcock & Wilcox Company, 42 st Edition,
Barberton, Ohlo, U.S.A., 2005.

TERMOPAIPA II & III- MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO, The
Babcock & Wilcox Company.

ANEXOS

Anexo A. Análisis de modo y efectos de falla pulverizadores el 76

ANÁLISIS DE MODO DE FALLA EN LOS PULVERIZADORES DE CARBÓN UNIDADES II Y III CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE PAIPA									
FORMATO PARA EL ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA EQUIPO: PULVERIZADORES DE CARBÓN CÓDIGO: 1 MODELO: EL 76 FECHA: 15/07/2016 TALLER: MANTENIMIENTO SECCIÓN CALDERAS REVISADO UBICACIÓN NIVEL 0.0 CALDERAS APROVADO CORDINADOR DE SECCIÓN: CARLOS ABEL PARRA									
COMPONENTE	FUNCIÓN	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	CAUSA DE FALLA	SOLUCIÓN	"O"	"G"	"D"	"IPR"
CARCAZA DEL PULVERIZADOR	Cuerpo que protege el mecanismo de transmisión y la cámara de molienda	Desgaste en paredes internas	Temperatura elevada en la pared de la carcasa	Abrasión por carbón	aplicación de soldadura para rellenar pared	2	2	1	4
MECANISMO CONDUCTOR	Transmisión de potencia entre motor y eje principal del pulverizador	Desalineación. Desgaste de dientes, desajuste	Vibración, ruido, daño motor, ruptura de eje	Mala alineación motor, desajuste de piñón	Alineación de eje espigo. cambio de piñón por desgaste	3	5	3	45
MOTOR	Transmitir velocidad y fuerza al mecanismo	Motor no arranca. Amperaje elevado	No funciona el pulverizador	Sobrecarga de carbón.	Revisión del motor, revisión cámara de molienda	1	8	8	64

EJE DE COMANDO	Transmisión de movimiento y soporte de piezas	Cizallamiento y rotura	Equipo queda fuera de servicio	Des alineamiento, ajustes, holguras inadecuadas, alta vibración	Ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje	2	10	8	160
PLACA SUPERIOR DE SOPORTE (PLATO HOUNSIN)	Separar el sistema de transmisión con la cámara de molienda, servir de soporte y fijación de rodamientos radiales y eje principal	Ampliación y deformación, fisuras en alojamiento de rodamientos radiales.	El equipo presenta alta vibración y ruido anormal, des alineamiento eje principal	Des alineamiento eje principal, torque inadecuado tornillos de fijación.	Ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje	2	4	2	16
YUGO	Sirve como soporte de la pista inferior y elementos de la cámara de molienda.	Desgaste por abrasión	Acumulación de carbón y sobrecarga de la pista inferior	Turbulencia y fricción de material abrasivo, carbón.	Reconstrucción con soldadura eléctrica anti abrasiva, pulimento de aletas.	1	2	1	2
TAPA DE SELLOS DE AIRE	Soportar los tubos de aire y fijación anillos de sello.	Desgaste anillos de sello	Perdida de presión de aire	Desgaste anillos de sello	Instalación de nuevos anillos de sello de aire	2	2	2	8
CUÑA ANULAR FIJACIÓN PISTA INFERIOR	Centrado y fijación de la pista inferior	Desgaste por abrasión	Des alineamiento y soldura mecánica pista inferior.	Acumulación de material abrasivo carbón	Reconstrucción con soldadura eléctrica anti abrasiva	8	8	9	576
PISTA INFERIOR DE MOLIENDA	Sirve como guía de las bolas y permite acumulación de carbón para realizar	Desgaste irregular, fragmentación y fisuras en bordes de la pista.	Granulometría y pulverización anormal del carbón	Caída de chatarra y acumulación de material ferroso en la pista	Colocar separador magnético antes de la entrada de carbón al pulverizador	7	9	9	567

	la pulverización								
PISTA SUPERIOR DE MOLIENDA	Sirve de soporte para que las bolas realicen el proceso de pulverización	Desgaste irregular, fragmentación y fisuras en bordes de la pista.	Granulometría y pulverización anormal del carbón	Des calibración de los resortes de apoyo	Calibración y torque uniforme en los resortes de fijación	7	8	8	448
RESORTES	Fijación y aplicación de fuerza para realizar la pulverización del carbón.	Desgaste, fisura y rotura	Granulometría y ruido anormal	Desgaste causado por abrasión	Cambio de resortes	8	9	9	648
BOLAS DE PULVERIZACIÓN	Realizar el proceso de pulverización y granulometría dentro de parámetros adecuados	Deformación, desgaste y rotura	Granulometría y ruido anormal	Falla por abrasión, ajuste inadecuado de los resortes y des alineamiento de las pistas	Instalación de bolas nuevas debidamente certificadas	9	9	9	729
CLASIFICADOR DE CARBÓN	Clasificar el paso uniforme de partículas de carbón del mismo tamaño	Desgaste en las laminillas de clasificación	Granulometría anormal	Desgaste por material abrasivo	Instalación de nuevas laminillas de calibración	5	6	5	150
CONO	Permitir la caída del carbón que se regresa del clasificador	Desgaste y perforación	Granulometría anormal	Falla por abrasión de material particulado	Reconstrucción y colocación de parches en perforaciones	7	7	8	392

BLINDAJES	Proteger la carcasa y cuerpo del pulverizador	Fisuras y roturas	Ruido anormal y aumento de temperatura en la carcasa	Golpe con elementos metálicos	Reconstrucción con soldadura eléctrica y instalación de blindajes nuevos	8	9	9	648
VÁLVULAS DE BALANCE	Sellar y regular la salida de carbón del pulverizador a la caldera	Desgaste de los sellos de caucho	Distribución irregular de la salida de carbón a los ductos	Desgaste por material abrasivo	Reemplazar los empaques por nuevos	5	5	3	75
DUCTOS SALIDA DE CARBÓN	Permitir y guiar el carbón del pulverizador a la caldera	Fisuras y roturas de ductos	Fugas de carbón y contaminación fuera del pulverizador	Desgaste causado por materia abrasivo	Reconstrucción con soldadura eléctrica y/o cambio de ductos	4	4	3	48
SISTEMA DE AIRE CALIENTE	Llevar aire caliente a la cámara de molienda del pulverizador	Temperatura no adecuada ya sea alta o baja en la cámara de molienda	El carbón se acumula en la cámara de molienda	Sellos y empaques deteriorados y perforados	Ratificación de sellos e instalación de nueva empaquetadura	2	3	2	12
SISTEMA DE AIRE PRIMARIO	Sacar el carbón pulverizado y llevarlo al hogar de la caldera	Flujo de aire insuficiente	Acumulación de carbón en cámara de molienda	Alabes del rotor ventilador desgastados	Cambio de alabes y/o instalación de ventilador nuevo	2	3	3	18
RODAMIENTO RADIAL EJE PRINCIPAL	Soportar y guiar el eje principal	Presentar deterioro en la jaula o elementos rodantes	El equipo presenta alta vibración y ruido anormal	Suciedad acumulada y falla en el sistema de lubricación	Prueba sistema de lubricación, cambio de rodamientos	3	9	3	81
RODAMIENTO AXIAL EJE PRINCIPAL	Guiar el eje principal, soportar la carga axial de los elementos de la cámara de molienda	Deterioro en los elementos rodantes, deformación de las pistas	El equipo presenta alta vibración y ruido anormal	Desalineamiento, holguras inadecuadas, falla en el sistema de lubricación.	Instalación de nuevo rodamiento	2	6	2	24

TUBERÍA AIRE DE SELLOS	Permitir el paso de aire para realizar el sello, no permitir el paso de carbón a los rodamientos	Roscado inadecuado o rotura del tubo	No llegar aire de sello	Roscado inadecuado o deformación de los tubos	Rectificado de roscas e instalación de nueva tubería	2	3	2	12
EJE PRINCIPAL	Sirve para transmitir el movimiento y soporte de las piezas de la cámara de molienda	Cizallamiento y rotura	Equipo queda fuera de servicio	Desalineamiento, ajustes, holguras inadecuadas, alta vibración	Ajustes holguras y alineamientos adecuados cambio de eje	2	10	8	160
CORONA EJE PRINCIPAL	Transmitir el movimiento al eje principal y elementos de rotación de la cámara de molienda	Desgaste y roturas de dientes	Alta vibración y ruido anormal	Desalineamiento, holguras inadecuadas y falla en la lubricación	Alineamiento, holgura de acuerdo a instructivos o catálogos de fabricación	2	4	2	16
RETENEDORES DE ACEITE	Sellar el paso de material particulado y/o suciedad a la cámara de transmisión	Desgaste y deterioro en el caucho y resortes	Deterioro de rodamientos radiales y contaminación de aceite	Altas temperaturas en el eje y cristalización del caucho	Dejar holguras y ajuste de acuerdo a recomendación del fabricante	2	4	2	16
COMPUERTA DE PIRITAS	Permitir la salida de material extraño de la cámara de molienda al piso del pulverizador	Compuerta no acciona normal mente	Acumulación de material extraño en cámara de molienda	Elemento metálico incrustado entre la compuerta y el cuerpo	Extracción de elementos metálicos, suavizar compuerta	3	5	3	45
SOPORTE DE RESORTES	Alinear y soportar resorte tensionado	Desajuste y ampliación de taladros de orificios	Desalineamiento de resortes	Desgaste por abrasión y alta vibración	Instalación de camisa protectoras en los orificios	2	3	3	18

PERNO TORNILLO TENSOR	Ejercer fuerza para mantener el resorte comprimido ejerciendo una carga constante	Se desenrosca con facilidad, no mantiene la carga constante al resorte	Granulometría anormal	Alta vibración y desgaste del tornillo	Instalar tornillos prisioneros para mantener fijo el tornillo y la tuerca	3	3	2	18
BLINDAJES LATERALES CUERPO	Proteger las paredes del cuerpo	Fisuras y rotura de blindajes	Ruido anormal y golpeteo en cámara de molienda	Caída de elementos metálicos a cámara de molienda	Instalación separador magnético antes del pulverizador del carbón	7	8	8	448
CAMPANA Y BUJE SELLO DE AIRE	Mantener la presión más elevada que la que se genera en la cámara de molienda para no permitir el ingreso de carbón a los rodamientos	Desgaste de los sellos de aire	Perdida de presión en la cámara de aire	Falla por abrasión de material particulado	Instalación de nuevos sellos de aire	2	3	1	6
BOMBA DE ACEITE	Impulsar el aceite del Carter hacia los rodamientos radiales superiores mantenerlos siempre lubricados	Perdida de presión	Al no llegar aceite a los rodamientos estos se pueden deteriorar y llegar a altas temperaturas donde se queman los elementos rodantes	Desajuste y desgaste en los dientes de los piñones	Cambio e instalación de nuevos piñones	2	3	1	6
MANÓMETRO	Marcar la presión a la cual está trabajando la bomba de	Des calibración agujas de señalización quedan	No marca presión real de trabajo	Manómetro dentro de rango inadecuado, golpes y	instalar manómetro dentro de rango adecuados y protección de los vidrios	3	4	3	36

	aceite	estáticas		rotura de vidrio					
CIRCUITO DE LUBRICACIÓN	Permitir la circulación de aceite desde la bomba hasta los rodamientos radiales superiores	Obstrucción y taponamiento en la línea	Se quedan sin lubricación los rodamientos	Suciedad acumulada en el circuito	Verificación drenaje de aceite para que este salga a presión	1	6	2	12