



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE
CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN**

Kristopher Manuel Paredes Mijangos

Asesorado por el Ing. Mauricio de la Torre Armengol

Guatemala, junio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE
CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

KRISTOPHER MANUEL PAREDES MIJANGOS

ASESORADO POR EL ING. MAURICIO DE LA TORRE ARMELGOL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|-------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL I | Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno |
| VOCAL II | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |
| VOCAL III | Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa |
| VOCAL IV | Br. Walter Rafael Véliz Muñoz |
| VOCAL V | Br. Sergio Alejandro Donis Soto |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADORA | Inga. Miriam Patricia Rubio Contreras |
| EXAMINADOR | Ing. Pedro Enrique Kubez Zacek |
| EXAMINADOR | Ing. Edgar Darío Álvarez Coti |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha agosto de 2005.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to read 'KPM'. The signature is enclosed within a horizontal oval shape.

Kristopher Manuel Paredes Mijangos

Guatemala, 22 junio 2011

Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela Mecánica Industrial
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Urquizú:

De manera atenta me dirijo a usted, deseándole éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para manifestarle que el estudiante de ingeniería mecánica industrial Kristopher Manuel Paredes Mijangos quién se dispuso a efectuar el trabajo de graduación de nombre: **OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN**", ha desarrollado el tema de acuerdo a lo planteado en el protocolo de trabajo de graduación y he sido participe en la revisión del mismo durante el período que comprende enero 2,010 a junio 2,011. El trabajo de graduación final planteado a mi persona tiene mi aval para ser presentado a su consideración para que el estudiante pueda continuar con lo que corresponda en la obtención de su título en Ingeniería Mecánica Industrial. Considero que el trabajo presentado por el estudiante es un aporte importante para el mejoramiento de la gestión de mantenimiento donde fue realizado el trabajo de graduación.

Atentamente,



Ing. Mauricio de la Torre
Colegiado No. 4,207

Mauricio De La Torre A.
Ingeniero Electricista
No. Colegiado 4207



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Kristopher Manuel Paredes Mijangos**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

*Nora Leonor Elizabeth García Tobar
Ingeniera Industrial
Colegiado No. 8121*

Inga. ~~Nora Leonor Elizabeth García Tobar~~
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación
Escuela ~~Mecánica Industrial~~

Guatemala, mayo de 2012.

/mgp



REF.DIR.EMI.154.013

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de **OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Kristopher Manuel Paredes Mijangos**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, junio de 2013.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 411 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **OPTIMIZACIÓN DE MANTENIMIENTO DE UN PULVERIZADOR DE CARBÓN DEL TIPO DE ATRICCIÓN**, presentado por el estudiante universitario **Kristopher Manuel Paredes Mijangos**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 14 de junio de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por hacer realidad este sueño. Gracias por haberme dado la fe, la fortaleza, la salud y la esperanza para terminar este objetivo.
- Mis padres** Edvin Paredes García y Lilian Elizabeth Mijangos Rodas, porque gracias a su apoyo y consejo he llegado a alcanzar esta meta, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir. Gracias por su ejemplo de superación incansable. En especial a mi madre Lilian Elizabeth Mijangos Rodas le agradezco su orientación, estímulo y aliento brindado siempre para alcanzar este logro. Mi triunfo es el de ustedes.
- Mi hermana** Gracias por su apoyo constante e inagotables palabras de aliento. Bárbara Stephanie, eres la mejor hermana del mundo.
- Mis amigos** Ing. Juan Carlos Pacheco mi agradecimiento por su valioso apoyo en la realización del presente trabajo.
Ing. Oscar Gómez por su contribución en la consecución de este trabajo.

Mi asesor

Ing. Mauricio de la Torre Armengol, mi sincero agradecimiento por su total apoyo en la elaboración de este trabajo.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Danilo González Trejo Por su invaluable apoyo en la consecución del presente trabajo de graduación, muchas gracias.

Mis familiares y amigos Que de una u otra manera estuvieron pendientes a lo largo de este proceso brindándome su apoyo incondicional.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | VII |
| GLOSARIO | XIII |
| RESUMEN..... | XV |
| OBJETIVOS | XVII |
| INTRODUCCIÓN..... | XIX |
| | |
| 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA | 1 |
| 1.1. Descripción y ubicación de la empresa..... | 1 |
| 1.2. Estructura organizacional de la planta | 2 |
| 1.2.1. Visión y misión | 4 |
| 1.2.2. Principios y valores | 4 |
| 1.3. Descripción de instalaciones. | 5 |
| 1.3.1. Actividades y servicios que realiza..... | 5 |
| 1.4. Mantenimiento | 6 |
| 1.4.1. Mantenimiento correctivo | 6 |
| 1.4.2. Mantenimiento preventivo | 7 |
| 1.4.3. Mantenimiento predictivo | 8 |
| 1.5. Selección del tipo de mantenimiento | 9 |
| | |
| 2. EVALUACIÓN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL | 11 |
| 2.1. Objetivos del programa de mantenimiento..... | 12 |
| 2.1.1. Eficiencia operativa..... | 12 |
| 2.1.1.1. Muestras de carbón..... | 13 |
| 2.1.1.2. Medición de fineza de carbón pulverizado..... | 13 |

| | | | |
|------|------------|---|----|
| | 2.1.1.3. | Calibración del mecanismo de fineza del pulverizador | 16 |
| | 2.1.2. | Disponibilidad del equipo | 20 |
| 2.2. | | Descripción del proceso | 20 |
| | 2.2.1. | Alimentador de carbón | 23 |
| | 2.2.2. | Sistema de aire primario y atemperación..... | 24 |
| | 2.2.3. | Pulverizador Atrita 558D (dúplex) | 25 |
| | 2.2.3.1. | Sección de molido-secado | 25 |
| | 2.2.3.2. | Sección de pulverizado | 28 |
| | 2.2.3.3. | Sección del ventilador | 30 |
| | 2.2.4. | Sistema de tubería de carbón pulverizado..... | 31 |
| | 2.2.5. | Sistema de combustión | 33 |
| 2.3. | | Ruta del mantenimiento del pulverizador..... | 33 |
| | 2.3.1. | Programa de reparaciones | 33 |
| | 2.3.1.1. | Sección de molienda | 34 |
| | 2.3.1.2. | Sección de pulverizado | 36 |
| | 2.3.1.3. | Sección del ventilador | 40 |
| | 2.3.1.3.1. | Sección fija | 40 |
| | 2.3.1.3.2. | Sección móvil | 42 |
| | 2.3.2. | Inventario de repuestos pulverizadores | 42 |
| 2.4. | | Costo total | 51 |
| | 2.4.1. | Costos directos..... | 51 |
| | 2.4.1.1. | Mano de obra | 52 |
| | 2.4.1.2. | Herramienta | 55 |
| | 2.4.1.3. | Repuestos | 57 |
| | 2.4.2. | Costos indirectos | 66 |
| 2.5. | | Control actual del mantenimiento | 68 |
| | 2.5.1. | Ficha de maquinaria | 68 |
| | 2.5.2. | Historial de fallas | 69 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.5.3. | Órdenes de trabajo | 70 |
| 2.5.4. | Requisición de materiales | 70 |
| 3. | PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO | |
| | PREVENTIVO | 71 |
| 3.1. | Establecimiento de objetivos del mantenimiento propuesto | 71 |
| 3.1.1. | Eficiencia del pulverizador | 72 |
| 3.1.1.1. | Tamaño de pulverización | 72 |
| 3.1.1.2. | Distribución del pulverizado..... | 74 |
| 3.1.2. | Disponibilidad del pulverizador..... | 74 |
| 3.1.2.1. | Toneladas procesadas por unidad de tiempo | 75 |
| 3.1.3. | Implementación de instructivos para el mantenimiento del pulverizador | 75 |
| 3.1.3.1. | Instructivos para el mantenimiento propuesto | 76 |
| 3.1.4. | Prolongación vida útil de repuestos..... | 76 |
| 3.1.4.1. | Uso de soldadura de arco | 77 |
| 3.1.4.2. | Aplicación de materiales cerámicos con adhesivo epóxico..... | 77 |
| 3.1.4.3. | Rotación de piezas del pulverizador.... | 77 |
| 3.1.5. | Análisis de costos | 77 |
| 3.1.5.1. | Costos totales del mantenimiento optimizado..... | 78 |
| 4. | IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO | |
| | PREVENTIVO | 79 |
| 4.1. | Organización | 79 |
| 4.1.1. | Personal..... | 79 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 4.1.2. | Repuestos | 83 |
| 4.1.2.1. | Inventario..... | 84 |
| 4.2. | Instructivos para reparaciones | 84 |
| 4.2.1. | Selección y agrupación de repuestos nuevos..... | 85 |
| 4.2.2. | Instructivo de desarme del pulverizador | 85 |
| 4.2.3. | Instructivo de ensamblaje del pulverizador | 86 |
| 4.3. | Reutilización de repuestos | 87 |
| 4.3.1. | Repuestos | 87 |
| 4.3.1.1. | Criterios de selección de repuestos usados | 87 |
| 4.3.1.2. | Aplicación de soldadura de arco | 89 |
| 4.3.1.3. | Aplicación de materiales cerámicos con adhesivo epóxico | 89 |
| 4.3.2. | Herramienta | 90 |
| 4.3.2.1. | Control de inventario..... | 92 |
| 4.4. | Análisis de costos | 93 |
| 4.4.1. | Costos directos | 93 |
| 4.4.1.1. | Mano de obra | 93 |
| 4.4.1.2. | Herramienta..... | 97 |
| 4.4.1.3. | Repuestos | 97 |
| 4.4.2. | Costos indirectos | 99 |
| 4.5. | Análisis comparativo de costos | 100 |
| 4.5.1. | Consideraciones del análisis de costos | 100 |
| 4.5.1.1. | Costos totales programa de mantenimiento actual..... | 100 |
| 4.5.1.2. | Costos totales programa de mantenimiento propuesto | 102 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 5. | INSPECCIÓN Y CONTROL DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO | 105 |
| 5.1. | Control de mantenimiento..... | 105 |
| 5.1.1. | Control del pulverizado | 105 |
| 5.1.1.1. | Gráficos de control | 107 |
| 5.1.1.2. | Diagrama de Pareto | 111 |
| 5.1.2. | Control del paros | 113 |
| 5.1.3. | Control del órdenes de trabajo | 114 |
| 5.2. | Inspección del mantenimiento preventivo | 119 |
| 5.2.1. | Rutinas diarias | 119 |
| 5.2.1.1. | Fichas de chequeo de equipo | 120 |
| 5.2.2. | Inspecciones programadas | 121 |
| | CONCLUSIONES | 123 |
| | RECOMENDACIONES..... | 127 |
| | BIBLIOGRAFÍA..... | 129 |
| | APÉNDICES..... | 131 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Estructura organizacional de la planta..... | 3 |
| 2. | Principios y valores de la compañía | 4 |
| 3. | Pulverizador de carbón y los tubos de salida | 14 |
| 4. | Bloque de molienda y los tornillos que ajustan el bloque..... | 18 |
| 5. | Descripción y componentes del equipo | 22 |
| 6. | Compuerta aislamiento del silo A | 23 |
| 7. | Alimentador de carbón | 23 |
| 8. | Sistema de aire primario y atemperación | 24 |
| 9. | Entrada carbón y entrada aire caliente | 25 |
| 10. | Sección de molido-secado | 26 |
| 11. | Exterior sección de molienda | 27 |
| 12. | Parte interna sección de molienda | 27 |
| 13. | Sección de pulverizado | 28 |
| 14. | Exterior sección de pulverizado..... | 29 |
| 15. | Parte interna sección de pulverizado..... | 29 |
| 16. | Exterior sección del ventilador..... | 30 |
| 17. | Parte interna sección del ventilador..... | 31 |
| 18. | Parte interna del rifle | 32 |
| 19. | Compuertas de aislamiento y tuberías de carbón pulverizado..... | 32 |
| 20. | Martillos y guardas (11C-A137)..... | 34 |
| 21. | Parrilla (11C-A419)..... | 35 |
| 22. | Blindaje lateral interior (11C-A420)..... | 35 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 23. | Plato de desgaste izquierdo (11C-A411) y plato de desgaste derecho (11C-A412) | 37 |
| 24. | Plato de desgaste interno (11C-A413) | 37 |
| 25. | Blindaje periférico pulverizado izquierdo (11C-A414) y blindaje periférico pulverizado derecho (11C-A415)..... | 38 |
| 26. | Blindaje lateral interior pulverizado (11C-A416) | 38 |
| 27. | Quijadas fijas cámara de pulverizado (11C-A417) | 39 |
| 28. | Brazos rechazadores (11C-A418)..... | 39 |
| 29. | Blindaje ventilador izquierdo (11C-A406) y blindaje ventilador derecho (11C-A407) | 41 |
| 30. | Blindaje periférico ventiladores (11C-A410) | 41 |
| 31. | Aspas ventilador izquierdo (11C-A408) y aspas ventilador derecho (11C-A409) | 42 |
| 32. | Material cerámico belzona 1812 aplicado a carcasa inferior | 90 |
| 33. | Gráfica costos mantenimiento actual | 102 |
| 34. | Gráfica costos mantenimiento propuesto | 103 |
| 35. | Comparativo costos mantenimiento actual contra mantenimiento optimizado | 104 |
| 36. | Control de desgaste martillos lado izquierdo..... | 109 |
| 37. | Control de desgaste martillos lado derecho | 109 |
| 38. | Análisis de fineza pulverizador 1A del 04-11-2010..... | 110 |
| 39. | Análisis de fineza pulverizador 1A del 02-12-2012..... | 110 |
| 40. | Formato de solicitud de orden de trabajo | 115 |
| 41. | Formato de registro orden de trabajo..... | 116 |

TABLAS

| | | |
|-----|---|----|
| I. | Resultados fineza realizado 10 de febrero de 2010 | 14 |
| II. | Resultados fineza realizado 14 de marzo de 2010 | 15 |

| | | |
|---------|---|----|
| III. | Resultados fineza realizado 19 de mayo de 2010 | 15 |
| IV. | Histórico calibración bloque molienda enero a junio 2010 del pulverizador 1A | 19 |
| V. | Kit de repuestos sección molienda | 34 |
| VI. | Kit de repuestos sección pulverizado | 36 |
| VII. | Kit de repuestos sección del ventilador | 40 |
| VIII. | Repuestos sección molienda parte 1 | 43 |
| IX. | Repuestos sección molienda parte 2 | 44 |
| X. | Repuestos sección de pulverizado parte 1 | 45 |
| XI. | Repuestos sección de pulverizado parte 2 | 46 |
| XII. | Repuestos sección de pulverizado parte 3 | 47 |
| XIII. | Repuestos sección del ventilador parte 1 | 48 |
| XIV. | Repuestos sección del ventilador parte 2 | 49 |
| XV. | Repuestos sección del ventilador parte 3 | 50 |
| XVI. | Repuestos sección del ventilador parte 4 | 51 |
| XVII. | Mantenimiento tipo A | 52 |
| XVIII. | Mantenimiento tipo B | 53 |
| XIX. | Mantenimiento tipo C | 53 |
| XX. | Mantenimiento tipo D | 54 |
| XXI. | Mantenimiento tipo E | 54 |
| XXII. | Mantenimiento tipo F | 55 |
| XXIII. | Listado de herramienta 1 | 56 |
| XXIV. | Listado de herramienta 2 | 57 |
| XXV. | Costos de mantenimiento tipo A | 58 |
| XXVI. | Costos de mantenimiento tipo B | 59 |
| XXVII. | Costos de mantenimiento tipo C | 61 |
| XXVIII. | Costos de mantenimiento tipo D | 62 |
| XXIX. | Costos de mantenimiento tipo E | 63 |
| XXX. | Costos de mantenimiento tipo F | 65 |

| | | |
|----------|---|-----|
| XXXI. | Resumen costos de repuestos por tipo de mantenimiento..... | 66 |
| XXXII. | Costos por sobre inventario del 2010 | 67 |
| XXXIII. | Ficha técnica del pulverizador de carbón 1A | 69 |
| XXXIV. | Programa para análisis de fineza de carbón..... | 73 |
| XXXV. | Calibración del bloque de molienda | 73 |
| XXXVI. | Planificación mano obra mantenimiento tipo A | 80 |
| XXXVII. | Planificación mano obra mantenimiento tipo B | 81 |
| XXXVIII. | Planificación mano obra mantenimiento tipo C y D..... | 82 |
| XXXIX. | Planificación mano obra mantenimiento tipo E | 82 |
| XL. | Planificación mano obra mantenimiento tipo F | 83 |
| XLI. | Repuestos para rotación..... | 88 |
| XLII. | Listado de herramienta | 91 |
| XLIII. | Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo A | 94 |
| XLIV. | Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo B | 94 |
| XLV. | Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo C | 95 |
| XLVI. | Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo D | 95 |
| XLVII. | Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo E | 96 |
| XLVIII. | Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo F..... | 96 |
| XLIX. | Cuantificación en quetzales inventario sugerido | 98 |
| L. | Resumen costos optimizados por tipo de mantenimiento | 99 |
| LI. | Toneladas acumuladas para el tipo de mantenimiento | 101 |
| LII. | Costos del mantenimiento actual del pulverizador | 101 |
| LIII. | Costos del mantenimiento optimizado del pulverizador | 102 |
| LIV. | Calibración del bloque de molienda | 105 |
| LV. | Resultados fineza de carbón evaluación 1..... | 106 |
| LVI. | Resultados fineza de carbón evaluación 2..... | 107 |
| LVII. | Control de paros o reparaciones período 2011-2013..... | 113 |
| LVIII. | Equipo de protección personal requerido | 118 |
| LIX. | Formato rutina de inspección diaria al pulverizador de carbón | 120 |

LX. Inspecciones programadas por tipo de mantenimiento 121

GLOSARIO

Abrasión

Desgaste de la superficie, producido por rayado continuo o la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material.

Atemperación

Proceso que consiste en controlar la temperatura de un fluido.

Atricción

Molienda que se produce por impacto entre el propio material y entre el material y piezas fijas y móviles del molino o pulverizador que giran en dirección opuesta.

ASTM

Abreviatura de American Society for Testing and Materials que en español significa sociedad americana de ensayo de materiales. Es un organismo de normalización de los estados unidos que lidera en la definición de los materiales y métodos de prueba.

Carbón mineral

Es una roca sedimentaria de color negro extraído de la tierra para ser utilizado como combustible fósil.

Contratuerca

Tuerca auxiliar que se superpone a otra para evitar que esta se afloje por efecto de la vibración o por otras causas.

Disponibilidad de equipo

Es una función que permite calcular el porcentaje de tiempo total en que se puede esperar que un equipo esté disponible para cumplir la función para la cual fue destinado.

Material epóxico

Material formado a partir de la reacción de una resina y un endurecedor que unidos ofrecen un material altamente resistente a la abrasión.

Retorno sobre la inversión (ROA)

Índice de rentabilidad que compara la utilidad obtenida en relación a la inversión realizada. Por sus siglas en inglés llamado también ROI (*Return on Investments* o Retorno sobre la inversión).

Tamiz

Cedazo muy tupido.

RESUMEN

Es necesaria la implementación de un programa de mantenimiento preventivo del pulverizador de carbón para la empresa de generación de energía eléctrica ubicada en el kilómetro 77 autopista Puerto Quetzal.

El programa se describe en cinco capítulos que se detallan a continuación:

El primer capítulo trata de las generalidades de la empresa tales como: descripción y ubicación, reseña histórica, estructura organizacional, visión y misión, principios y valores, actividades y servicios que realiza. También se describe un marco teórico en el cual hay conceptos de mantenimiento preventivo y criterios para seleccionar el tipo de mantenimiento.

El segundo capítulo hace referencia a la situación actual de los procesos de mantenimiento preventivo aplicado al pulverizador de carbón, describe en detalle el programa de reparaciones por sección del equipo en análisis como todos los recursos empleados para la realización del mantenimiento y sus respectivos controles. También muestra una cuantificación en quetzales de lo que cuesta la realización actual del mantenimiento.

El tercer capítulo detalla la propuesta del programa de mantenimiento preventivo al pulverizador de carbón refiriéndose a puntos específicos de mejorar como lo son eficiencia y disponibilidad del equipo, implementación de instructivos para el mantenimiento, técnicas de ingeniería a aplicar para prolongar la vida útil de repuestos y el desarrollo de un análisis de costos para medir y controlar los recursos empleados.

El cuarto capítulo describe a detalle la implementación de la propuesta de mantenimiento aplicado al programa de mantenimiento actual logrando establecer la mejora en periodicidad y alcance. También se incluye un análisis comparativo de costos del mantenimiento actual contra el mantenimiento optimizado.

Por último, el quinto capítulo, describe los controles que deben integrarse al mantenimiento optimizado propuesto para lograr alcanzar la maximización de todos los recursos a emplear en el mantenimiento. Son descritos controles operativos y de mantenimiento para lograr un nexo que optimice el funcionamiento del pulverizador de carbón en complemento de un óptimo mantenimiento.

OBJETIVOS

General

Optimizar el programa de mantenimiento preventivo actual de un pulverizador de atricción de carbón en cantidad de tiempo y en materia económica, desarrollando este con altos estándares de calidad y seguridad.

Específicos

1. Incrementar el tiempo efectivo operativo del pulverizador de atricción de carbón.
2. Minimizar los costos de mantenimiento del pulverizador de atricción de carbón.
3. Implementar la técnica de soldadura especializada y el uso de materiales cerámicos con adhesivo epóxico.
4. Mejorar las rutinas de inspección de la operación del pulverizador de atricción de carbón, tanto en periodicidad como en alcance.
5. Implementar herramientas para el control operativo del pulverizador de carbón del tipo atricción.
6. Determinar la factibilidad económica del proyecto mediante un análisis de costos.

7. Identificar los dispositivos de protección personal necesarios para el cumplimiento del mantenimiento.

INTRODUCCIÓN

El ingeniero de planta juega un papel primordial para alcanzar la máxima productividad de la industria en la cual se desarrolla.

En la obtención de dicha productividad, además de presentar un problema diario para el ingeniero de planta, es el mantenimiento de los equipos de producción.

Todo tipo de industria tiene sus problemas específicos de mantenimiento con mayor o menor grado de dificultad dependiendo del tipo de industria que se trate, y es función de los ingenieros y técnicos que trabajen en dichas industrias para resolver en la forma más efectiva y económica dichos problemas y así alcanzar la máxima productividad.

La finalidad del trabajo de optimización del mantenimiento de un pulverizador de carbón del tipo de atricción a desarrollar en la planta de generación de energía eléctrica donde se encuentra este tipo de pulverizador único en Centroamérica, será de gran aporte, primero para la empresa ya que se mejorará el plan de mantenimiento con el cual cuenta la empresa hasta ahora y dicha mejora tiene como objetivo fundamental conservar el servicio que presta el pulverizador de carbón y la conservación y cuidado de los elementos de los pulverizadores de carbón; para el cumplimiento de los objetivos se combinarán los factores de calidad económica de servicio, duración adecuada del equipo y minimización de los costos del mantenimiento.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

Conocer la situación actual en la que se encuentra la planta es de suma importancia, sobre todo para saber todo con respecto a la ubicación de sus instalaciones, capacidad instalada disponible, ubicación de sus áreas, el tipo de mantenimiento que se adopta actualmente y también para conocer las materias primas utilizadas para la operación de la planta. También es importante conocer cuáles son los problemas que se tienen en la planta para analizar algún tipo de implementación que se pueda hacer en la misma.

1.1. Descripción y ubicación de la empresa

El desarrollo del trabajo de graduación es elaborado en una planta de generación de energía eléctrica localizada en el municipio de Masagua, departamento de Escuintla a 77 kilómetros de la ciudad de Guatemala, sobre la carretera que conduce al Puerto Quetzal. La planta de generación de energía eléctrica cuenta con una serie de equipos principales que hacen posible la producción de energía eléctrica de manera eficiente y limpia.

Los equipos principales que hacen posible la producción de energía eléctrica son: una caldera con sus equipos auxiliares tales como: ventiladores de tiro inducido y forzado, bandas transportadoras que alimentan a silos el carbón que es usado como combustible, pulverizadores de carbón, bombas de agua de alimentación, compresores de aire, válvulas de control de procesos y filtros de aire de combustión, una turbina de vapor, un generador eléctrico y una subestación eléctrica.

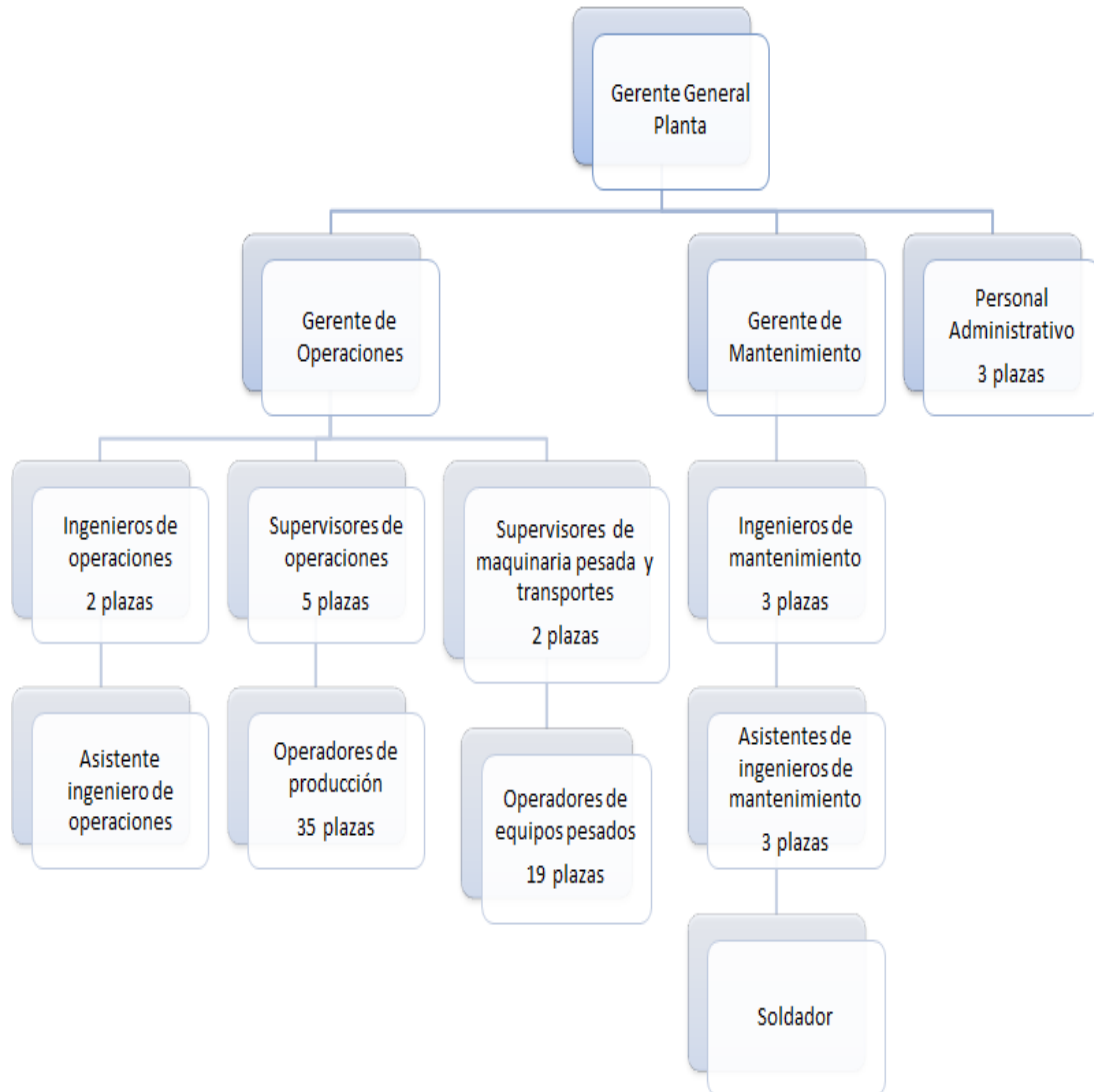
Para la producción de energía eléctrica dentro de la central eléctrica el rubro de combustible es uno de los que más impactan, para la producción de la misma y es debido a esto que se plantea optimizar el mantenimiento de los equipos de pulverizado de carbón, los cuales suministran el combustible al proceso; el cual a falta de suministro de combustible (carbón) debe disminuir la producción de energía eléctrica.

En la actualidad el mantenimiento de los pulverizadores de carbón es llevado a cabo como un mantenimiento preventivo con un alcance limitado debido a que se enfoca en la sustitución de piezas para prevenir fallas.

1.2. Estructura organizacional planta

Todas las áreas que se indican en el organigrama de la figura 1 juegan un papel importante en el proceso productivo de la organización. Cada una ejecuta funciones diseñadas para cumplir con la misión de la empresa en forma interrelacionada con las demás áreas. Algunas forman parte directa del proceso productivo como lo son las áreas de mantenimiento y operación y otras son áreas de apoyo a dicho proceso como lo es el área de seguridad industrial. Todas las áreas en conjunto deben contribuir con el alcance de las metas estratégicas de la empresa, las cuales, finalmente, sirven de guía para el que hacer de cada una de ellas.

Figura 1. Estructura organizacional de la planta



Fuente: elaboración propia.

1.2.1. Visión y misión

Visión: “Ser reconocidos como la mejor compañía de generación de energía eléctrica por su confiabilidad en la operación y gestión en la región.”

Misión: “Generar energía eléctrica de forma competitiva y confiable, promoviendo el desarrollo regional.”

1.2.2. Principios y valores

Los principios y valores de la empresa son muy importantes en cualquier empresa, que se mencionan a continuación:

Figura 2. Principios y valores de la compañía

| EMPRESA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA PRINCIPIOS Y VALORES | |
|---|--|
| Seguridad y respeto al medio ambiente | Creo firmemente que proteger la vida y la integridad física sobrepasa cualquier otra consideración. Valoro, aprecio y trabajo para conservar y mejorar nuestro medio ambiente. |
| Integridad | Actúo siempre de manera honesta, responsable, justa y ética, con apego a la verdad y a nuestros valores. |
| Adaptabilidad | Tengo la capacidad de ajustarme a los cambios de forma pronta y eficiente. |
| Respeto a las personas | Valoro la diversidad, dando las mismas oportunidades, promoviendo el desarrollo continuo, fomentando las comunicaciones honestas, responsables y trato a todas las personas de manera digna y justa. |
| Trabajo en equipo | Creo firmemente que los mejores resultados se logran uniendo las habilidades de todos La empresa es una sola y el equipo somos todos. |
| Apoyo a la comunidad | Promuevo el desarrollo de las comunidades que nos rodean, a través de buenas relaciones con autoridades, comunidades, entes fiscalizadores y el cumplimiento de nuestras obligaciones. |

Fuente: elaboración propia.

1.3. Descripción de instalaciones

La planta de generación de energía eléctrica está compuesta de las siguientes áreas:

- Área de oficinas
- Taller mecánico y eléctrico
- Bodega principal y auxiliar de repuestos
- Planta de tratamiento de agua
- Taller de transportes
- Área de caldera
- Área de turbina y generador
- Área de torre de enfriamiento
- Área de almacenamiento de carbón

1.3.1. Actividades y servicios que realiza

La planta generadora tiene una producción promedio de energía de 120 000 kilowatts por hora a base de quema de carbón mineral. El carbón mineral utilizado como combustibles es transportado desde su descarga en Puerto Quetzal hasta la planta generadora por medio de camiones de volteo. La planta cuenta con una serie de filtros para los gases de combustión lo cual hace que la producción de energía sea limpia.

La planta cuenta con un edificio de oficinas dentro del cual está el cuarto de control desde el cual se operan la mayoría de los equipos instalados para la conversión de la energía calorífica del carbón en energía eléctrica; entre los equipos que se encuentran instalados para la generación de electricidad se mencionan: una turbina, una generador eléctrico, un generador de vapor, un

condensador, un sistema de agua de alimentación, sistema de combustión diésel y carbón, sistema de manejo de cenizas, sistema de tratamiento de agua, sistema de tratamiento de agua de desechos, sistema de pulverización del carbón y una subestación eléctrica.

1.4. Mantenimiento

El realizar mantenimiento a los equipos actualmente no implica reparar las fallas de un equipo tan pronto sea posible. El realizar mantenimiento actual implica mantener el equipo al cual está sujeto de mantenimiento en los niveles de operación más altos especificados. La primera prioridad del mantenimiento es prevenir fallas y de este modo reducir los riesgos de paradas imprevistas.

El mantenimiento no empieza cuando los equipos e instalaciones son recibidos y montados, sino en la etapa inicial de todo proyecto y continúa cuando se formaliza la compra de aquéllos y su montaje correspondiente.

Existe una variedad de mantenimientos, sin embargo tres tipos de mantenimiento son los que se van a utilizar, siendo estos: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo.

1.4.1. Mantenimiento correctivo

Este mantenimiento tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo se actuará cuando se presenta un error en el sistema. Este mantenimiento también es denominado mantenimiento reactivo. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente algún desperfecto para entonces realizar

una acción correctiva. El mantenimiento correctivo trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no planificadas 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 podrán comprar los repuestos en el momento deseado.
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

1.4.2. Mantenimiento preventivo

El tipo de mantenimiento preventivo es aplicado antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Este mantenimiento también es denominado mantenimiento planificado. Básicamente este tipo de mantenimiento 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; el fabricante también estipula el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.

- Se lleva a cabo un programa previamente elaborado donde se detallan los pasos 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 la directiva de la empresa.
- Está destinado 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.
- Permite 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.

1.4.3. Mantenimiento predictivo

Este tipo de mantenimiento consiste en determinar en todo instante la condición técnica, mecánica y eléctrica real del equipo examinado, mientras este se encuentre 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 las aplicaciones de programas de computación, algunos 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 mantenimientos preventivos y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, de instrumentos y en contratación de personal calificado. Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo:

- Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas, entre otros),
- Análisis de vibraciones,
- Termografías (detección de condiciones a través del calor desplegado utilizando una cámara termo gráfica),
- Medición de parámetros de operación (presión y temperatura del aceite, voltaje, corriente, temperatura y potencia del motor).

1.5. Selección del tipo de mantenimiento

La división de los tipos de mantenimiento presenta el inconveniente de que cada equipo a efectuar algún mantenimiento requiere de una mezcla de cada uno de los tipos de mantenimiento, de manera que es posible pensar en aplicar uno solo de ellos a un equipo en particular. Así, en un motor determinado se debe pensar en ocuparse de su lubricación (mantenimiento preventivo), si lo requiere, se debe medir las vibraciones (mantenimiento predictivo) y si se reparan averías que vayan surgiendo (mantenimiento correctivo). La mezcla más idónea de todos estos tipos de mantenimiento la dictará la razón ligada al: coste de las pérdidas de producción en una parada de ese equipo, el coste de reparación, el impacto ambiental y la calidad del producto o servicio entre otras.

2. EVALUACIÓN PROGRAMA DE MANTENIMIENTO ACTUAL

El estudio de trabajo logra sus beneficios, en primer lugar, mediante una investigación de la situación actual, revisando cualquier deficiencia aparente es por ello que en el presente capítulo se realizó la recopilación de información del mantenimiento llevado a cabo por el departamento de mantenimiento de la planta; se analizaron los procesos que son puestos en práctica para la coordinación del mantenimiento de un pulverizador de carbón.

Para efectuar un diagnóstico del mantenimiento actual al pulverizador de carbón también fue necesario revisar la base de datos donde se elaboran las órdenes de trabajo para el pulverizador y demás equipos de planta; en esta misma base de datos también es llevado el inventario de repuestos del pulverizador y de los demás equipos de planta. Posterior a revisar las bases de datos citadas anteriormente se incluyó la revisión de información electrónica llevada por los ingenieros que tienen a cargo el mantenimiento del pulverizador lo que permitió tener un panorama claro de lo que se hace en la actualidad.

La evaluación del mantenimiento preventivo considera información histórica de la base de datos de mantenimiento desde el 2001 para la evaluación de repuestos, se consideró el período del 2010 para la evaluación del desempeño del pulverizador en la parte operativa.

2.1. Objetivos del programa de mantenimiento

El departamento de mantenimiento de la planta de generación de energía eléctrica tiene como objetivo primordial mantener en óptimas condiciones los equipos con que cuenta la empresa para lograr mantener la producción de energía eléctrica a su máxima capacidad y así generar la mayor utilidad para la empresa. Para alcanzar el objetivo trazado, el mantenimiento del pulverizador de carbón es efectuado por colaboradores de planta que con el tiempo han adquirido experiencia y se han convertido en expertos para hacer esta tarea año tras año.

2.1.1. Eficiencia operativa

La variable de eficiencia operativa del pulverizador es fundamental debido a que el trabajo del pulverizador es convertir el combustible sólido que en este caso es carbón mineral, en partículas muy finas. Mientras más finas son las partículas de carbón mejor será la combustión resultante, esto es similar al caso de la atomización del combustible diésel.

Actualmente la planificación de los mantenimientos del pulverizador está basada por el desgaste que han sufrido las piezas que conforman el pulverizador y las toneladas que han sido pulverizadas.

Es importante medir la eficiencia operativa para poder implementar un control estadístico que ayude a mejorar la manera de planificar el mantenimiento de un pulverizador. En la actualidad se tienen actividades para medir esta eficiencia sin embargo no se tiene establecido un programa formal para su ejecución y control. Las actividades que permiten determinar la eficiencia operativa del pulverizador son:

- Muestreos de carbón
- Medición de fineza del carbón pulverizado
- Calibración del mecanismo de fineza del pulverizador

2.1.1.1. Muestreos de carbón

Los muestreos de carbón son realizados a la salida del pulverizador donde se localizan cuatro tubos de descarga de carbón pulverizado donde fluye el carbón a través de aire caliente. En la actualidad los muestreos de carbón pulverizado a realizar a un pulverizador de carbón son limitados y no se cuenta con un programa definido para la toma de los mismos. Para realizar dichos muestreos se utiliza el método de muestreo ASTM D 1997-87 nombrado como método de muestreo y fineza de carbón pulverizado, descrito en el apéndice 1.

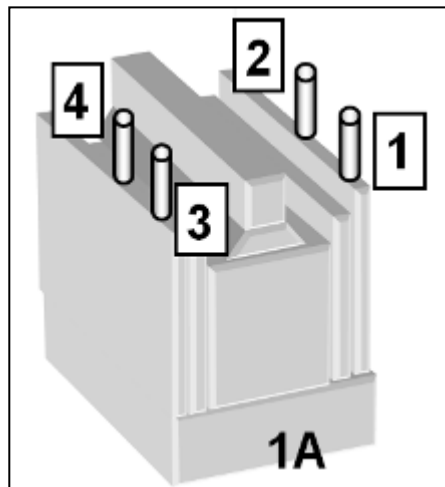
2.1.1.2. Medición de fineza del carbón pulverizado

El carbón recolectado en los muestreos de carbón se utiliza para efectuar la medición de fineza, utilizando el método ASTM 1997-87 descrito en el apéndice 1 nombrado como método de muestro y fineza de carbón pulverizado.

Una vez aplicado el método ASTM 1997-87 el cual determina el grado de fineza del carbón pulverizado se aplica el criterio indicado por el fabricante para identificar si el pulverizador está en rango óptimo de operación. El criterio del fabricante es simple e indica que de la muestra analizada el 75 % de la muestra debe haber quedado en el tamiz 200 (tamaño del grano igual a 0,074 milímetros) y por el tamiz 50 (tamaño del grano igual a 0,295 milímetros) debe pasar el 99,5 % de la muestra, si se cumple el criterio de los tamices 200 y 50 el pulverizador está funcionando en condiciones óptimas.

En la figura 3 que se muestra a continuación, se presenta la representación gráfica de los tubos de salida del pulverizador.

Figura 3. **Pulverizador de carbón y los tubos de salida**



Fuente: elaboración propia.

A continuación resultados de mediciones de fineza al pulverizador de carbón realizada durante el 2010.

Tabla I. **Resultados fineza realizado 10 de febrero del 2010**

| Tamaño del Tamiz | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Tubo 4 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Tamiz <50 | 0,4 | 0,4 | 0,8 | 0,4 |
| Tamiz >200 | 71,6 | 70,4 | 56,2 | 738 |
| Total muestra (gr) | 681,1 | 697,5 | 959,5 | 785,7 |
| % flujo de carbón por tubo | 21,80 | 22,33 | 30,72 | 25,15 |
| Distribución carbón lado | 44,13 | | 55,87 | |

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. **Resultados fineza realizado 14 de marzo del 2010**

| Tamaño del Tamiz | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Tubo 4 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Tamiz <50 | 0,4 | 0,6 | 1,6 | 1,2 |
| Tamiz >200 | 59,2 | 70,6 | 52 | 65,2 |
| Total muestra (gr) | 680,9 | 641,6 | 922,9 | 779,3 |
| % flujo de carbón por tubo | 22,51 | 21,21 | 30,51 | 25,76 |
| Distribución carbón lado | | 43,72 | | 56,28 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Resultados fineza realizado 19 de mayo del 2010**

| Tamaño del Tamiz | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Tubo 4 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Tamiz <50 | 0,4 | 0,6 | 1 | 0,8 |
| Tamiz >200 | 55,4 | 70,6 | 50,6 | 78,6 |
| Total muestra (gr) | 732,9 | 739,5 | 760,5 | 709 |
| % flujo de carbón por tubo | 24,91 | 25,14 | 25,85 | 24,10 |
| Distribución carbón lado | | 50,05 | | 49,95 |

Fuente: elaboración propia.

De la información presentada en las tablas anteriores se identifica que el pulverizador no estaba operando en su punto óptimo al momento de realizar la medición de fineza debido a que en los 3 análisis de fineza efectuados; los resultados porcentuales del tamiz 200 son menores al 75 %. Con estos resultados se logra identificar que se debió hacer un ajuste en el bloque de molienda para mejorar el tamaño del grano.

2.1.1.3. Calibración del mecanismo de fineza del pulverizador

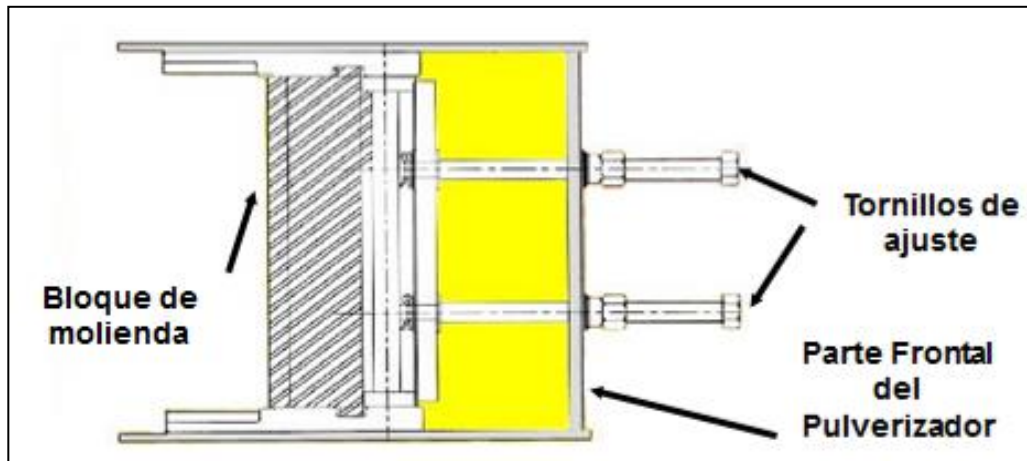
La actividad de calibración de fineza del carbón a pulverizar consiste básicamente en ajustar el bloque del área de molienda del pulverizador. Esta actividad actualmente es realizada por uno de los cinco mecánicos de planta según corresponda y la variable está controlada por el ingeniero de planificación de mantenimiento de planta en un archivo electrónico.

Las instrucciones para ajuste del mecanismo de fineza del pulverizador están descritas a continuación:

- A. Como herramienta de medición se debe obtener un vernier y las unidades a utilizar para la medición son en milímetros.
- B. El mecánico asignado debe ubicarse frente al área frontal del pulverizador donde se encuentran los 4 tornillos ajustadores de los dos bloques de molienda del pulverizador dúplex.
- C. Proceder a realizar la medición de profundidad tomando como base la parte exterior de la cabeza de uno de los tornillos ajustadores del bloque de molienda hacia la pared del pulverizador. Anotar la medida en milímetros. Como referencia histórica el bloque de molienda nuevo y martillos nuevos proporcionan una profundidad de entre 120 a 125 milímetros siendo este el valor máximo; el valor mínimo de profundidad esta en 82 milímetros siendo este último valor el criterio para proporcionar mantenimiento al área de molienda.

- D. Se debe aflojar la contratuerca de los dos tornillos del bloque de molienda para que el movimiento del bloque de molienda este libre.
- E. Con cada tornillo del bloque de molienda el ajuste a proporcionar debe tener el mismo número de vueltas al tornillo haciendo que este se inserte por cada vuelta que sufre hasta hacer contacto con los martillos.
- F. Cada tornillo debe sufrir media vuelta de ajuste para asegurar que el bloque de molienda se mueve parejo y evitar contacto directo con los martillos abruptamente. Cada vuelta del tornillo representa una distancia roscada de $\frac{1}{8}$ de pulgada. El espacio de operación adecuado del bloque de molienda es de $\frac{1}{4}$ de pulgada a $\frac{1}{2}$ pulgada. Cuando el bloque de molienda tenga contacto con los martillos el criterio para identificar el contacto es por el sonido de los martillo y por la vibración de los dos tornillos de ajuste y la llave utilizada para mover la tuerca del tornillo.
- G. Una vez se identifica que los martillos tienen contacto con el bloque de molienda se debe regresar dos vueltas completas a los dos tornillos para obtener el espacio adecuado entre el bloque de molienda y los martillos. Se debe tener igual ajuste en los dos tornillos del bloque de molienda para asegurar el desgaste parejo de los martillos.

Figura 4. **Bloque de molienda y los tornillos que ajustan el bloque**



Fuente: Manual de entrenamiento pulverizador Atrita de la compañía DB. RILEY

Actualmente las tendencias que se obtienen de esta actividad no son satisfactorios debido a factores tales como:

- Rotación del mecánico para la toma de lecturas.
- Errores en la tabulación de datos a la hoja electrónica de control.
- Descentralización de la información.

A continuación resultados de los datos obtenidos de la calibración del bloque de molienda para el pulverizador en el primer semestre del 2010.

Tabla IV. Histórico calibración bloque molienda enero a junio 2010 del pulverizador 1A

| Fecha | Lado izquierdo pulverizador | | Lado derecho pulverizador | |
|----------|-----------------------------|-------|---------------------------|-------|
| Marzo 16 | 117 | 117 | 120 | 120 |
| Marzo 19 | 115 | 116 | 120 | 120 |
| Marzo 26 | 114 | 114.5 | 122 | 120 |
| Abril 3 | 113 | 113 | 117.5 | 119.7 |
| Abril 8 | 115 | 115 | 110 | 110 |
| Abril 16 | 114 | 114 | 110 | 110 |
| Mayo 7 | 111 | 111 | 116 | 116 |
| Mayo 12 | 110.5 | 111 | 116 | 116 |
| Mayo 28 | 110 | 110 | 114 | 114 |
| Junio 4 | 107 | 107 | 113 | 113 |

Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se logra identificar el desgaste que a lo largo de las semanas va generando la molienda de carbón en el bloque de molienda. Con los datos obtenidos en la tabla se identifican resultados de calibración erróneos listados a continuación:

- Los resultados de fecha 26 de marzo son erróneos del lado derecho del pulverizador ya que la lectura es superior a la calibración anterior.
- Los resultados de fecha 8 de abril son erróneos del lado izquierdo del pulverizador ya que la lectura es superior a la calibración anterior.
- Los resultados de calibración del lado derecho del pulverizador tienen discrepancia de la fecha 7 de mayo a junio 4 ya que en fecha del 16 de abril se tenía una medición más baja del bloque de molienda.

Tanto la información de medición de fineza del carbón como la calibración del bloque de molienda debe ir integradas en un mismo proceso para que los

controles generen valor. En la actualidad hay una descentralización de estas dos variables lo cual no hace efectivo el control de la eficiencia operativa del pulverizador de carbón.

2.1.2. Disponibilidad del equipo

La disponibilidad del pulverizador de carbón está en función del porcentaje de tiempo total que se espera esté disponible el pulverizador para cumplir con su función. La disponibilidad no se ve afectada por el tiempo que el equipo este fuera por mantenimiento programado si el mantenimiento es efectuado dentro del período de tiempo programado, las fallas inesperadas afectan directamente la disponibilidad del equipo.

En la central generadora de energía eléctrica se tienen 30 días para el período de mantenimiento al equipo anual por lo que se espera que el equipo trabaje 8 040 horas equivalentes a una disponibilidad del 100 %. El indicador técnico de disponibilidad no tiene registros actualmente en la empresa de análisis.

2.2. Descripción del proceso

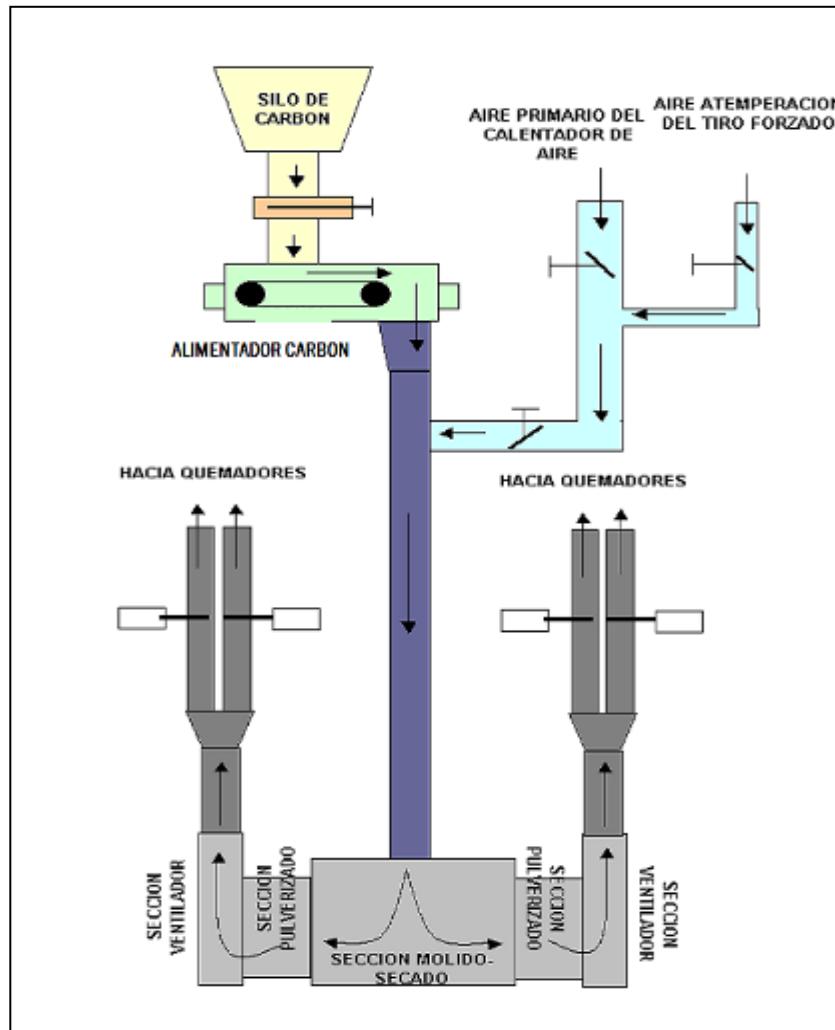
El carbón que se encuentra almacenado en los 3 silos de la planta, cae directamente a tres transportadores de banda, los cuales alimentan de carbón a los pulverizadores. Los pulverizadores tienen la función de pulverizar el carbón y dirigir este carbón hacia los doce quemadores de la caldera.

El pulverizador utiliza una serie de martillos oscilantes pivoteados a la rueda del rotor, alrededor de la cual se encuentra una rejilla estacionaria, separando una sección de tal modo que el material extraño se expulsa.

Después de pasar por esta etapa, el carbón se conduce por medio de una corriente de aire hasta la siguiente etapa, que consiste en hileras de quijadas fijas y movimiento alternante en donde se efectúa la mayor parte de la pulverización; al salir de esta etapa el carbón atraviesa un anillo rechazador que posee varias aletas en forma de cuchara sostenidas por el eje principal, en donde las partículas más pesadas se lanzan una vez más al compartimiento de pulverización, permitiendo tan solo el paso de las partículas más finas que penetran por la entrada del ventilador y son arrastradas y dirigidas por medio de un sistema de tuberías y aire hacia los doce quemadores de la caldera, localizados en los niveles 4, 5 y 6 (4 quemadores por nivel). De esta manera se logra la combustión del carbón dentro del hogar de la caldera, para la producción del vapor.

La calidad de la combustión es verificada a intervalos regulares, analizando tanto la ceniza que es producida como la calidad de los gases de combustión que se producen en la caldera.

Figura 5. Descripción y componentes del equipo



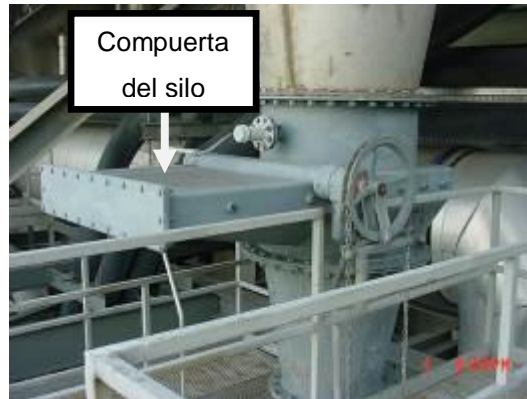
Fuente: procedimiento de operaciones del sistema de pulverizadores de la planta cogeneradora.

El carbón sin pulverizar proviene de un silo de carbón. En la figura 7 se muestra la compuerta de aislamiento del silo al alimentador. El carbón que se encuentra en este silo cae directamente a un alimentador de carbón, el cual alimenta al pulverizador a una tasa constante dependiendo de las necesidades de la planta.

2.2.1. Alimentador de carbón

Cuando el alimentador de carbón está en servicio siempre debe estar en operación el pulverizador; no sucede lo mismo en el caso del pulverizador en servicio no es necesario colocar en operación el alimentador de carbón.

Figura 6. **Compuerta aislamiento del silo A**



Fuente: nivel 3 ½ de caldera lado norte de la planta cogeneradora.

Figura 7. **Alimentador de carbón**



Fuente: nivel 3 de caldera lado norte de la planta cogeneradora.

2.2.2. Sistema de aire primario y atemperación

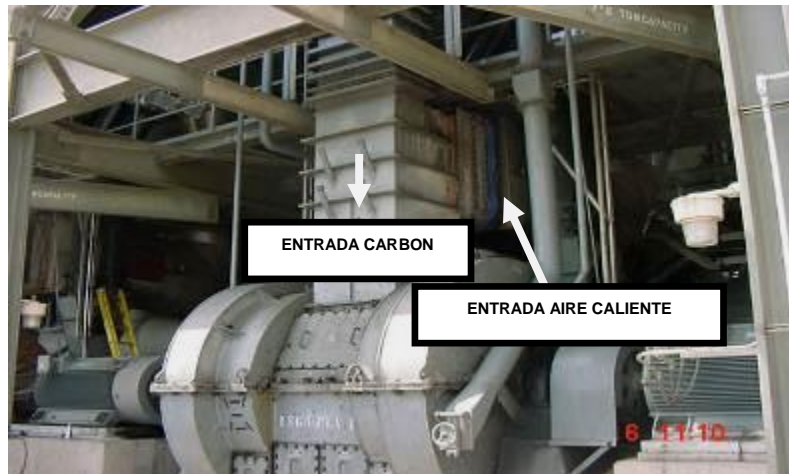
El carbón que proviene del alimentador de carbón es mezclado antes de entrar a la sección de molido-secado del pulverizador con aire caliente, el cual es una mezcla de aire primario que proviene de la salida del calentador de aire y aire de atemperación el cual proviene directamente del tiro forzado. El flujo de aire primario y de atemperación es controlado automáticamente para mantener un set de temperatura en el pulverizador de 190 grados Fahrenheit, para reducir el riesgo de fuego en el pulverizador. En la figura 6 se muestra la entrada del aire primario y la entrada del aire de atemperación a un solo ducto; y es en este ducto donde se establece la temperatura del aire de secado para el carbón.

Figura 8. Sistema de aire primario y atemperación



Fuente: nivel 3 de caldera lado norte de la planta cogeneradora.

Figura 9. **Entrada carbón y entrada aire caliente**



Fuente: área de pulverizadores nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

2.2.3. Pulverizador atrita 558D (dúplex)

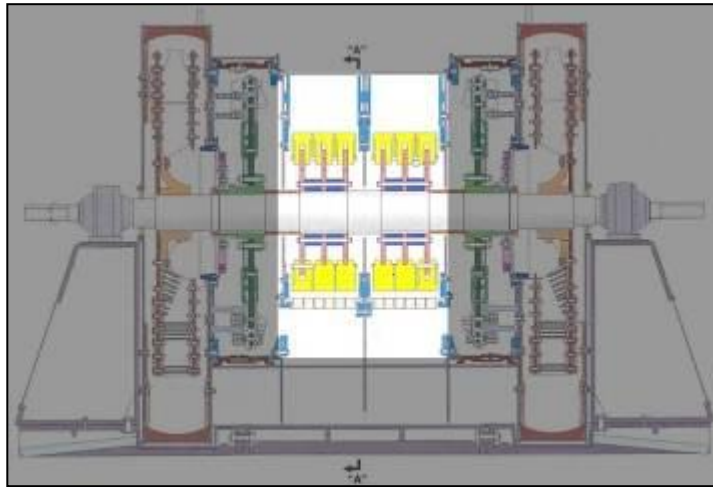
El carbón que proviene del alimentador de carbón pasa por las siguientes partes del pulverizador antes de llegar a los quemadores de la caldera.

2.2.3.1. Sección de molido-secado

La mezcla de aire caliente y carbón pasan directamente a la sección de molido-secado, en donde el carbón por medio de unos martillos en movimiento hacen que el carbón impacte sobre una superficie (parrilla), la cual es parecida a una rejilla, para reducir el tamaño del grano del carbón a $\frac{1}{4}$ de pulgada. Pedazos de metal y otros materiales extraños son rechazados al atrapa metales para ser removidos.

A continuación se muestra en la figura 10 la sección de molido y secado.

Figura 10. **Sección de molido-secado**



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Esta sección del pulverizador tiene tres funciones principales:

- Romper los pedazos de carbón para reducirlos a un tamaño para que pasen a través de la parrilla.
- Evaporar la humedad del carbón que puede afectar adversamente el pulverizado fino y la capacidad del pulverizador.
- Rechazar pedazos de metal y otros materiales extraños que puedan dañar el equipo.

Figura 11. **Exterior sección de molienda**



Fuente: área de pulverizadores nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

Figura 12. **Parte interna sección de molienda**



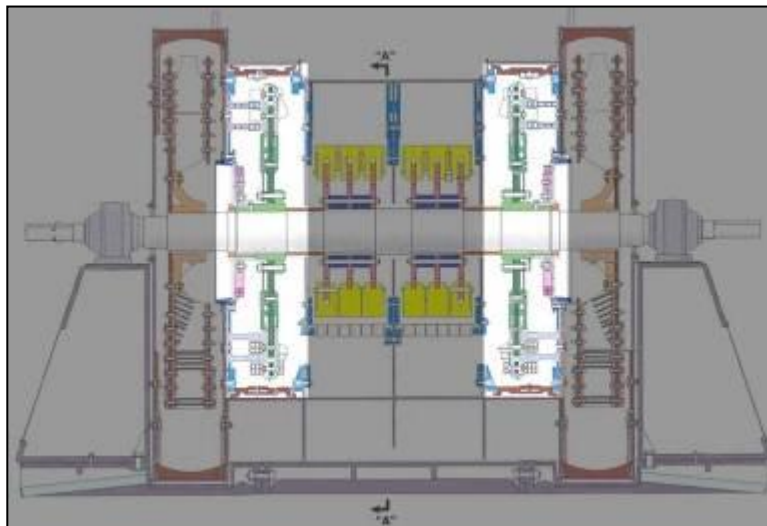
Fuente: parte interior del pulverizador 1A ubicado en el nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

2.2.3.2. Sección de pulverizado

La sección de pulverizado está formado por dos cámaras, que reducen el tamaño del carbón por medio de atrición (impacto de carbón con carbón, y carbón con partes fijas y en movimiento). No existe un contacto de metal con metal en los elementos del pulverizador.

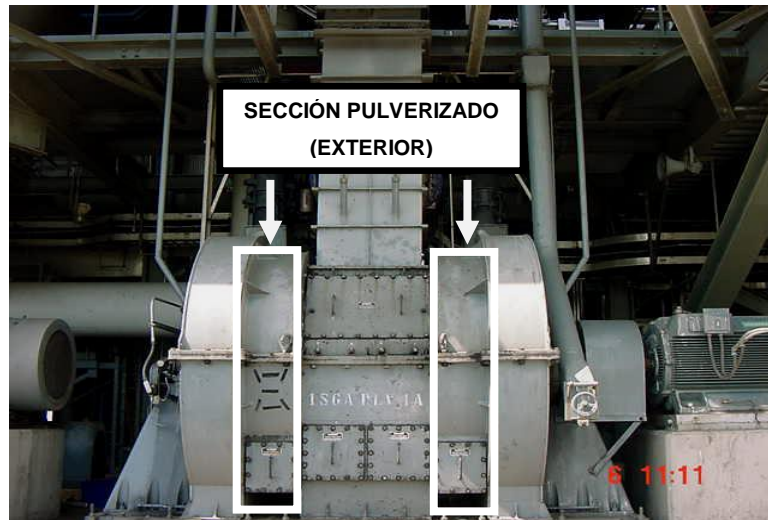
Un brazo rechazador en forma de V se encuentra localizado entre la sección de pulverizado y el ventilador. Este brazo rechazador imparte una fuerza centrífuga a las partículas pesadas de carbón. Esta fuerza es mayor que la fuerza de succión del ventilador causando que estas partículas pesadas permanezcan en la sección de pulverizado hasta reducir su tamaño. A continuación las figuras 13, 14 y 15 muestran la sección de pulverizado.

Figura 13. Sección de pulverizado



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 14. Exterior sección de pulverizado



Fuente: parte exterior del pulverizador 1A ubicado en el nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

Figura 15. Parte interna sección de pulverizado

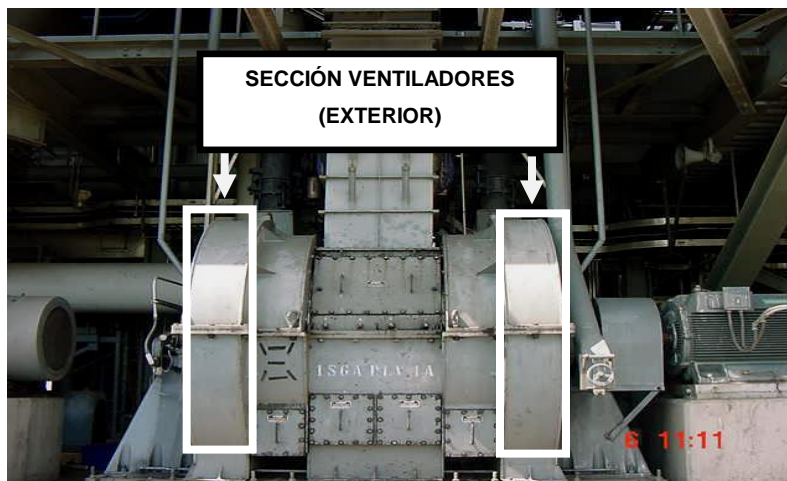


Fuente: parte interior del pulverizador 1A ubicado en el nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

2.2.3.3. Sección del ventilador

El ventilador es un disco con aspas, el cual se encuentra montado sobre el eje del pulverizador y provee el flujo de masa necesario para transportar el carbón pulverizado desde la sección de pulverizado hasta las tuberías de carbón para los quemadores.

Figura 16. Exterior sección del ventilador



Fuente: parte exterior del pulverizador 1A ubicado en el nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

Figura 17. **Parte interna sección del ventilador**



Fuente: parte interior del pulverizador 1A ubicado en el nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

2.2.4. Sistema de tubería de carbón pulverizado

El sistema de tubería de carbón toma la mezcla de aire-carbón que ha sido triturado por el pulverizador y lo dirige hacia los quemadores.

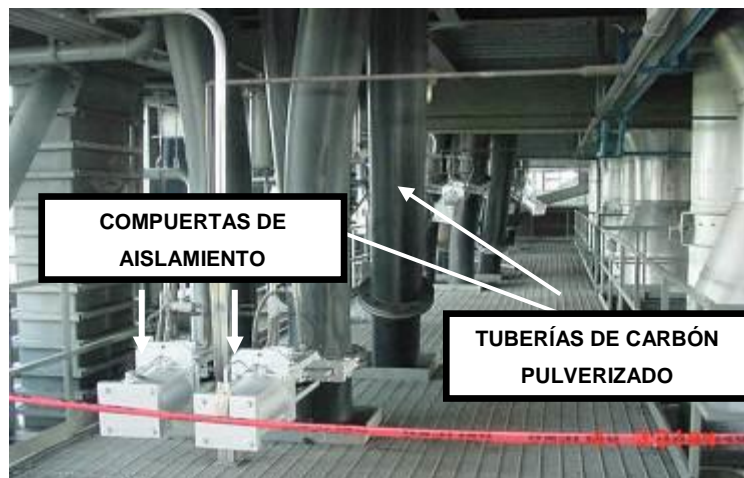
Desde la descarga del pulverizador, la mezcla de aire-carbón fluye hasta un rifle el cual divide el flujo de carbón en dos tuberías independientes. Cada una de las tuberías cuenta con una compuerta de aislamiento que provee aislamiento al pulverizador de los quemadores.

Figura 18. **Parte interna del rifle**



Fuente: lado norte oeste del pulverizador 1A ubicado en el nivel 1 de caldera de la planta cogeneradora.

Figura 19. **Compuertas de aislamiento y tuberías de carbón pulverizado**



Fuente: compuertas de aislamiento de carbón en el nivel 2 de caldera lado noreste.

2.2.5 Sistema de combustión

El sistema de combustión está compuesto por equipos auxiliares necesarios para la adecuada combustión del carbón pulverizado dentro del hogar de la caldera.

Este sistema es capaz de distribuir apropiadamente el carbón pulverizado y aire de combustión (aire primario y secundario), combustible de ignición y monitoreo de las llamas del hogar de la caldera.

2.3. Ruta del mantenimiento del pulverizador

En el análisis de la ruta de mantenimiento efectuado al pulverizador de carbón se analizará el programa de reparaciones, los costos totales que incluyen costos directos e indirectos y todos los controles llevados a la fecha para el mantenimiento.

2.3.1. Programa de reparaciones

El mantenimiento preventivo efectuado en la actualidad a los pulverizadores está en función de las toneladas procesadas. A continuación se listan las toneladas acumuladas que se deben procesar para efectuar mantenimiento preventivo al pulverizador de carbón: 50 000, 100 000, 150 000, 200 000, 250 000, 300 000, 350 000, 400 000, 450 000, 500 000, 550 000 y 600 000 toneladas.

2.3.1.1. Sección de molienda

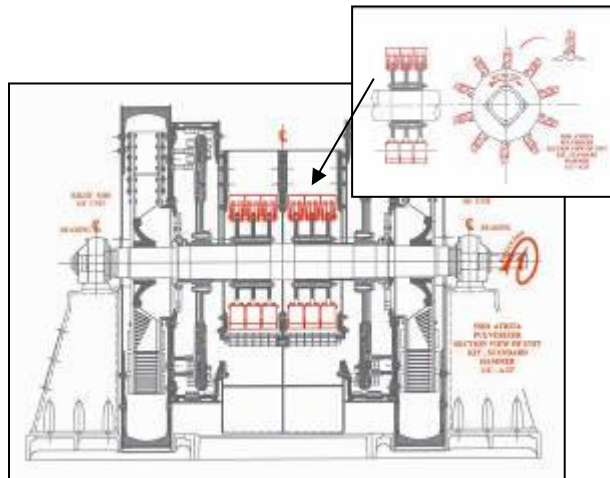
El mantenimiento preventivo a esta sección involucra las partes listadas a continuación en la tabla V.

Tabla V. **Kit de repuestos sección molienda**

| No. | Sección | Identificación del kit fabricante |
|-----|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 | Martillos y Guardas | 11C-A137 |
| 2 | Parrilla | 11C-A419 |
| 3 | Blindaje lateral interior | 11C-A420 |

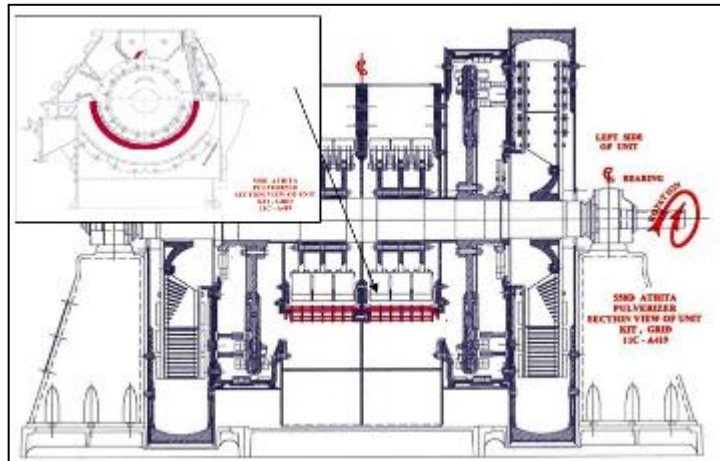
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. **Martillos y guardas (11C-A137)**



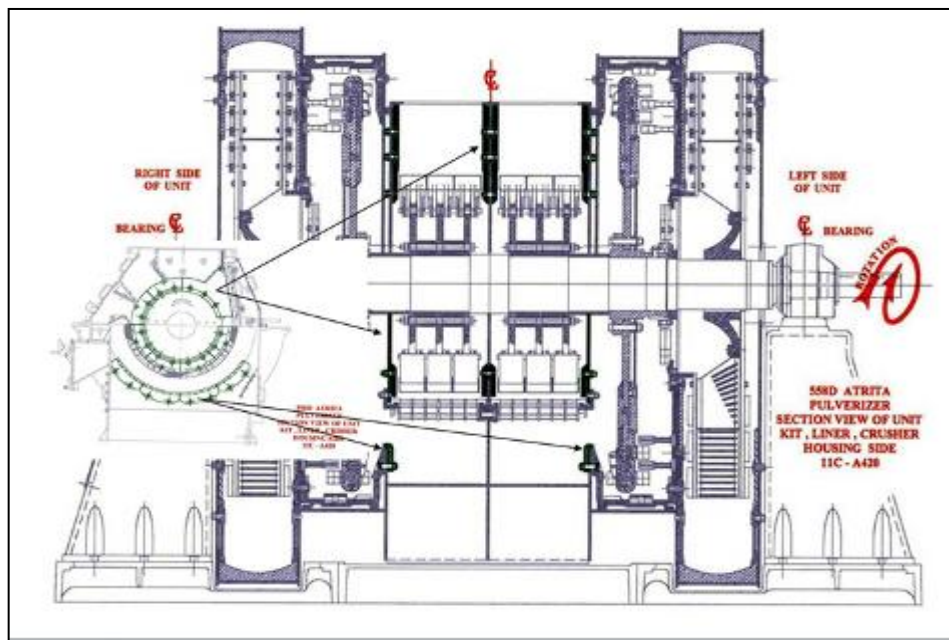
Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 21. **Parrilla (11C-A419)**



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 22. **Blindaje lateral interior (11C-A420)**



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

2.3.1.2. Sección de pulverizado

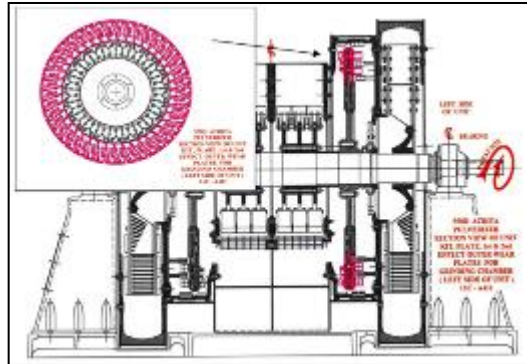
El mantenimiento preventivo a esta sección involucra las partes listadas a continuación:

Tabla VI. **Kit de repuestos sección pulverizado**

| No. | Sección | Identificación del kit fabricante |
|------------|---|--|
| 4 | Plato de desgaste Izquierdo | 11C-A411 |
| 5 | Plato de desgaste Derecho | 11C-A412 |
| 6 | Plato de desgaste Interno | 11C-A413 |
| 7 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | 11C-A414 |
| 8 | Blindaje periférico pulverizado derecho | 11C-A415 |
| 9 | Blindaje lateral interior molienda | 11C-A416 |
| 10 | Quijadas cámara de molienda | 11C-A417 |
| 11 | Brazos rechazadores | 11C-A418 |

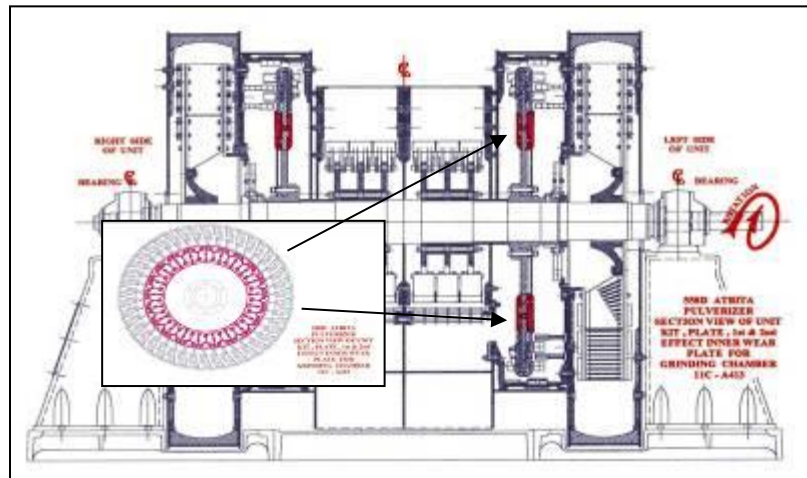
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Plato de desgaste izquierdo (11C-A411) y plato de desgaste derecho (11C-A412)**



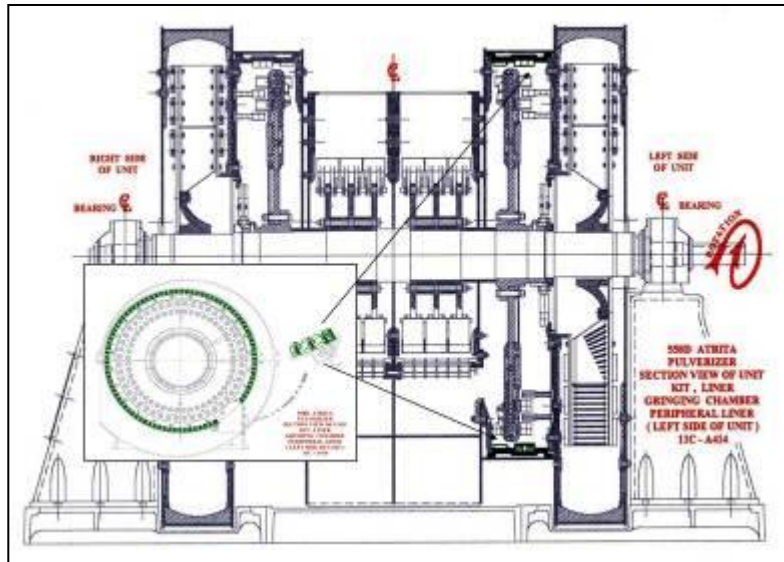
Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 24. **Plato de desgaste interno (11C-A413)**



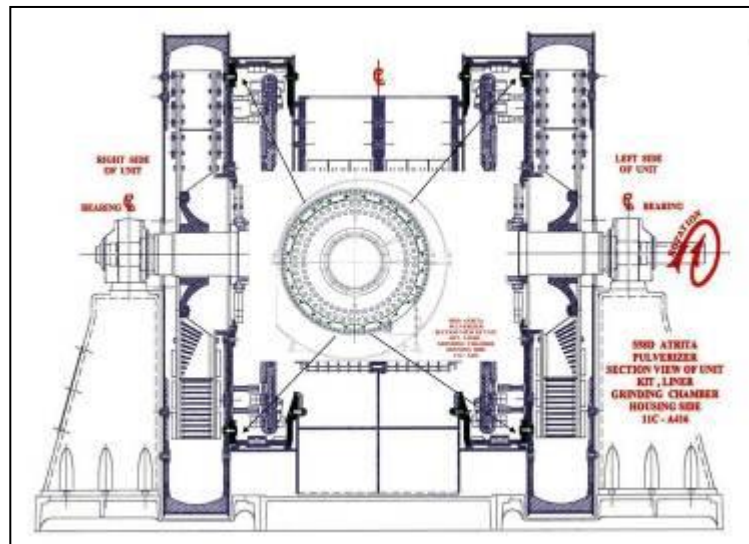
Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 25. **Blindaje periférico pulverizado izquierdo (11C-A414) y blindaje periférico pulverizado derecho (11C-A415)**



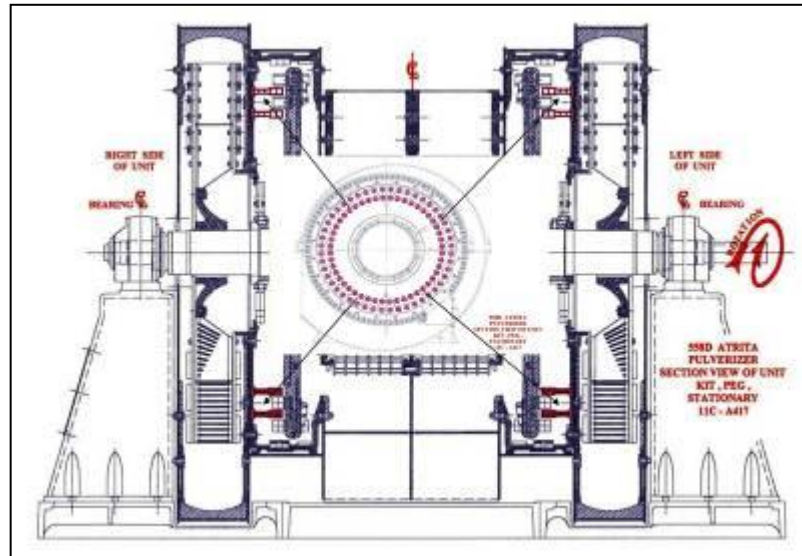
Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 26. **Blindaje lateral interior pulverizado (11C-A416)**



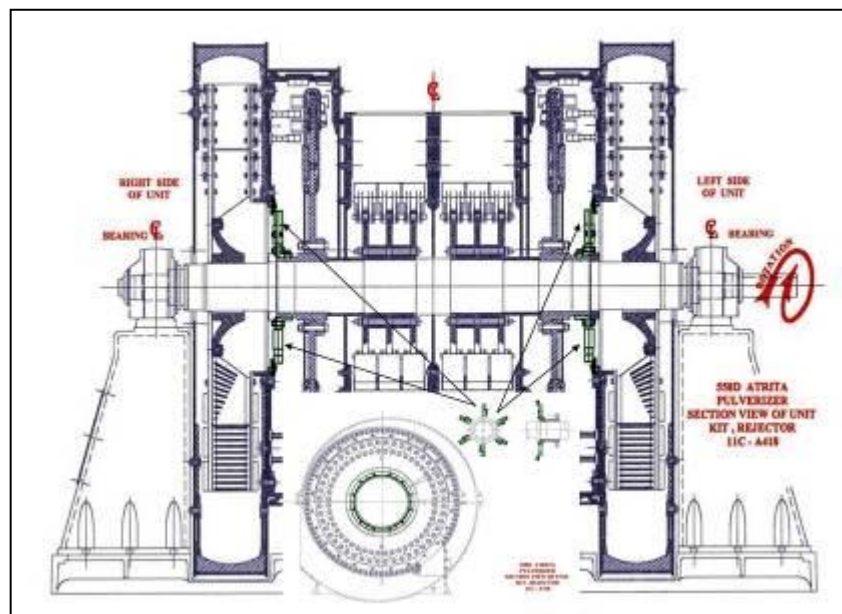
Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 27. Quijadas fijas cámara de pulverizado (11C-A417)



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 28. Brazos rechazadores (11C-A418)



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

2.3.1.3. Sección del ventilador

El mantenimiento preventivo a esta sección involucra las partes listadas a continuación:

Tabla VII. **Kit de repuestos sección del ventilador**

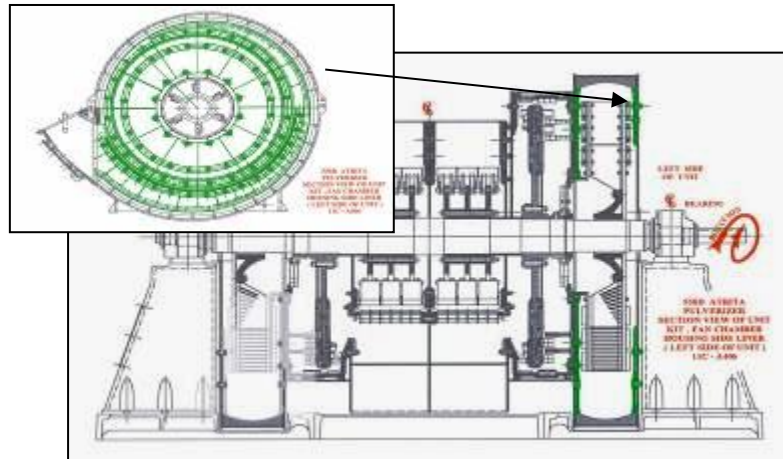
| No. | Sección | Identificación del kit fabricante |
|-----|----------------------------------|-----------------------------------|
| 12 | Blindaje ventilador izquierdo | 11C-A406 |
| 13 | Blindaje ventilador derecho | 11C-A407 |
| 14 | Aspas ventilador izquierdo | 11C-A408 |
| 15 | Aspas ventilador derecho | 11C-A409 |
| 16 | Blindaje periférico ventiladores | 11C-A410 |

Fuente: elaboración propia.

2.3.1.3.1. Sección fija

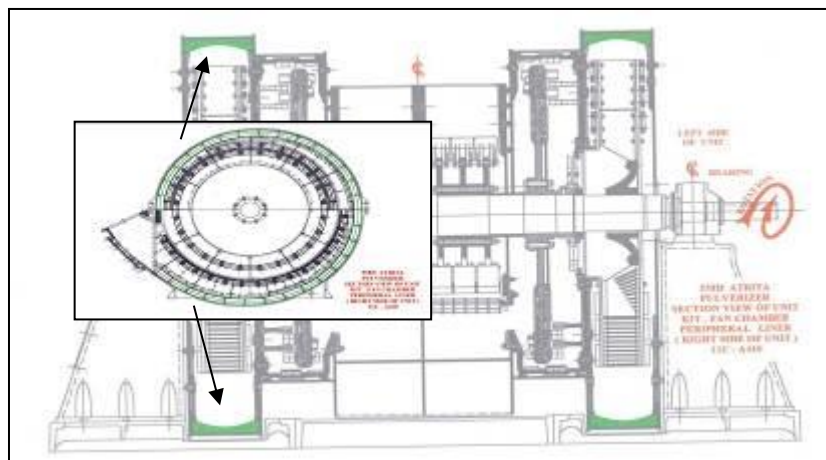
El mantenimiento preventivo a esta sección involucra las partes listadas en las figuras 29 y 30 a continuación.

Figura 29. **Blindaje ventilador izquierdo (11C-A406) y blindaje ventilador derecho (11C-A407)**



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

Figura 30. **Blindaje periférico ventiladores (11C-A410)**

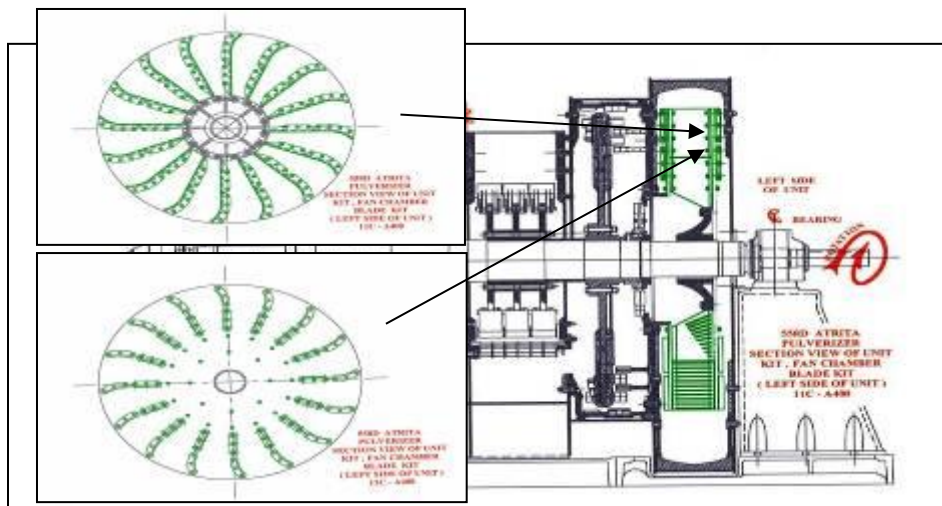


Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

2.3.1.3.2. Sección móvil

El mantenimiento preventivo a esta sección involucra las partes listadas en la figura 31.

Figura 31. **Aspas ventilador izquierdo (11C-A408) y aspas ventilador derecho (11C-A409)**



Fuente: Manual de partes pulverizadores Atrita de la compañía DB Riley.

2.3.2. Inventario de repuestos pulverizadores

Para asegurar la disponibilidad de repuestos del pulverizador se tienen los repuestos necesarios para atender los requerimientos del Área de Mantenimiento. Se tiene un listado de repuestos en la base datos del Departamento de Mantenimiento. En la actualidad la incertidumbre en el abastecimiento de materiales ha incrementado el nivel inventario, otro factor que ha contribuido al aumento del inventario es el alcance actual del programa de mantenimiento del pulverizador de carbón. El listado actual de repuestos del

pulverizador de carbón tiene su nomenclatura en idioma inglés dentro de la base de datos por lo que para efectos de este trabajo se buscó su traducción más idónea de acuerdo al trabajo y ubicación dentro del pulverizador de carbón.

A continuación se describen los repuestos de acuerdo a la sección que pertenecen, siendo las secciones de molienda, pulverizado y del ventilador las tres secciones existentes. El inventario listado a continuación detalla la descripción de cada repuesto, el número de parte con que lo identifica el fabricante, la cantidad en existencia como el mínimo y máximo que tiene cada uno de los repuestos.

Tabla VIII. Repuestos sección molienda parte 1

| No. | Descripción español | Ítem fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|------|--|--------------|------|------|-------------------------------|
| 1.01 | Martillo | AV | 0 | 60 | 60 |
| 1.02 | Guarda del martillo | AV | 0 | 60 | 60 |
| 1.03 | Perno con agujero | AX | 20 | 40 | 20 |
| 1.04 | Chaveta de 1/4" x 3" | P | 20 | 40 | 20 |
| 2.01 | Bloque espaciador de la rejilla frontal | GE | 2 | 4 | 2 |
| 2.02 | Bloque espaciador de la rejilla trasera | GF | 1 | 2 | 2 |
| 2.03 | Segmento de rejilla 45 grados | AA | 34 | 68 | 34 |
| 2.04 | Segmento de rejilla solido 45 grados | GA | 36 | 72 | 36 |
| 2.05 | Espaciador de parrilla | GB | 4 | 8 | 4 |
| 3.01 | Plato delantero posterior a la entrada de alimentación | GC | 2 | 2 | 2 |
| 3.02 | Blindaje y soporte de parrilla | AC | 6 | 12 | 6 |
| 3.03 | Tornillo de ajuste del bloque de molienda | AG | 2 | 4 | 4 |
| 3.04 | Blindaje interno lado izquierdo | AR | 2 | 4 | 2 |
| 3.05 | Blindaje interno lado derecho | AR | 2 | 4 | 2 |
| 3.06 | Blindaje de la carcasa | AK | 24 | 48 | 24 |
| 3.07 | Blindaje inferior | AS | 8 | 16 | 8 |
| 3.08 | Blindaje izquierdo de la carcasa en el plato de molienda | AL | 2 | 4 | 2 |

Continuación de la tabla VIII.

| | | | | | |
|------|--|----|---|---|---|
| 3.09 | Blindaje derecho de la carcasa en el plato de molienda | AM | 2 | 4 | 2 |
| 3.10 | Blindaje frontal de alimentación de molienda | AQ | 2 | 4 | 2 |
| 3.11 | Plato de molienda | AD | 4 | 8 | 4 |
| 3.12 | Placa de atrapa metales | AH | 2 | 4 | 2 |
| 3.13 | Guía de placa de atrapa metales | AJ | 2 | 4 | 2 |
| 3.14 | Rotor de molienda | AP | 2 | 4 | 2 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Repuestos sección molienda parte 2

| No. | Descripción español | Ítem fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|------|---------------------------------------|--------------|------|------|-------------------------------|
| 3.15 | Bloque de molienda | AF | 2 | 4 | 2 |
| 3.16 | Guía derecha del bloque de molienda | | 2 | 2 | 1 |
| 3.17 | Guía izquierda del bloque de molienda | | 2 | 2 | 1 |
| 3.18 | Tornillo hexagonal de 3/4" x 2" | JZ | 129 | 250 | 54 |
| 3.19 | Tornillo hexagonal 3/4" - 10 x 2-1/2" | JX | 99 | 200 | 6 |
| 3.20 | Tuerca hexagonal de 3/4" - 10 | KV | 310 | 600 | 60 |
| 3.21 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 800 | 60 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Repuestos sección de pulverizado parte 1

| No. | Descripción español | Ítem Fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|------------|--|-------------------------|-------------|-------------|--|
| 4.01 | Plato de desgaste lado izquierdo de primer efecto | BQ | 42 | 84 | 42 |
| 4.02 | Plato de desgaste lado izquierdo segundo efecto | BT | 42 | 84 | 42 |
| 4.03 | Quijadas de primer efecto de pulverizado | EH | 84 | 160 | 42 |
| 4.04 | Quijadas de segundo efecto de pulverizado | BU | 168 | 300 | 84 |
| 4.05 | Disco cámara pulverizo y ventilador | BG | 2 | 4 | 2 |
| 4.06 | Tornillo de 3/4"-10 x 3 1/4" | JB | 168 | 300 | 84 |
| 4.07 | Tuerca hexagonal de 3/4"-10 | JG | 310 | 600 | 84 |
| 4.08 | Arandela de seguridad de 3/4" | JH | 379 | 600 | 84 |
| 5.01 | Plato de desgaste lado derecho primer efecto | BQ | 42 | 84 | 42 |
| 5.02 | Plato de desgaste lado derecho segundo efecto | BT | 42 | 84 | 42 |
| 5.03 | Quijadas de primer efecto de pulverizado | EH | 84 | 160 | 42 |
| 5.04 | Quijadas de segundo efecto de pulverizado | BU | 168 | 350 | 84 |
| 5.05 | Tornillo de 3/4"-10 x 3 1/4" | JB | 168 | 350 | 84 |
| 5.06 | Tuerca hexagonal de 3/4"-10 | JG | 310 | 600 | 84 |
| 5.07 | Arandela de seguridad de 3/4" | JH | 379 | 700 | 84 |
| 6.01 | Disco cámara de pulverizado lado izquierdo | BN | 0 | 0 | 1 |
| 6.02 | Disco cámara de pulverizado lado derecho | BN | 0 | 0 | 1 |
| 6.03 | Blindaje de primer efecto de la cámara de pulverizado lado derecho | EB | 2 | 2 | 2 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XI. Repuestos sección de pulverizado parte 2

| No. | Descripción español | Ítem | Min. | Máx. | Total piezas |
|------|--|------|------|------|--------------|
| 6.04 | Blindaje de primer efecto de la cámara de pulverizado lado izquierdo | EC | 2 | 2 | 2 |
| 6.05 | Plato de desgaste interno de primer efecto | BP | 42 | 42 | 42 |
| 6.06 | Plato de desgaste interno de segundo efecto | BS | 42 | 42 | 42 |
| 6.07 | Blindaje de seguridad del plato inferior | EG | 2 | 6 | 2 |
| 6.08 | Blindaje de cierre lado derecho | BF | 1 | 1 | 1 |
| 6.09 | Blindaje de cierre lado izquierdo | BF | 1 | 1 | 1 |
| 6.10 | Tornillo de 3/4"-10 x 3 1/2" | JD | 126 | 260 | 126 |
| 6.11 | Tuerca hexagonal de 3/4"-10 | JG | 310 | 620 | 126 |
| 6.12 | Arandela de seguridad de 3/4" | JH | 379 | 620 | 126 |
| 7.01 | Blindaje periférico lado izquierdo | BB | 27 | 54 | 27 |
| 7.02 | Espaciador de blindaje periférico | BC | 14 | 28 | 7 |
| 7.03 | Blindaje de cierre periférico lado izquierdo | BD | 1 | 13 | 1 |
| 7.04 | Segmento para blindaje periférico | EE | 168 | 330 | 84 |
| 7.05 | Segmento de cierre para blindaje periférico | EF | 2 | 4 | 1 |
| 7.06 | Tornillo 3/4"-10 x 3" | KJ | 2 | 4 | 1 |
| 7.07 | Tornillo 1/2" x 1 1/4" | JW | 12 | 24 | 83 |
| 7.08 | Arandela de seguridad de 1/2" | KU | 44 | 90 | 83 |
| 7.09 | Tornillo 1/2" x 1 3/4" | KA | 2 | 4 | 1 |
| 7.10 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 680 | 1 |
| 8.01 | Blindaje periférico lado derecho | BB | 27 | 60 | 27 |
| 8.02 | Espaciador de blindaje periférico | BC | 14 | 28 | 7 |
| 8.03 | Blindaje de cierre periférico lado derecho | BD | 1 | 3 | 1 |
| 8.04 | Segmento para blindaje periférico | EE | 168 | 330 | 84 |
| 8.05 | Segmento de cierre para blindaje periférico | EF | 2 | 4 | 1 |
| 8.06 | Tornillo 3/4"-10 x 3" | KJ | 2 | 4 | 1 |
| 8.07 | Tornillo 1/2" x 1 1/4" | JW | 12 | 24 | 83 |
| 8.08 | Arandela de seguridad de 1/2" | KU | 44 | 88 | 83 |
| 8.09 | Tornillo 1/2" x 1 3/4" | KA | 2 | 4 | 1 |
| 8.10 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 620 | 1 |
| 9.01 | Blindaje Interior lado derecho cámara de pulverizado | BE | 24 | 48 | 24 |
| 9.02 | Blindaje superior de primer efecto | EA | 12 | 24 | 12 |
| 9.03 | Blindaje de primer efecto | BA | 8 | 16 | 8 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. Repuestos sección de pulverizado parte 3

| No. | Descripción español | Ítem Fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por Pulverizador |
|-------|-------------------------------|-----------------|------|------|-------------------------------------|
| 9.04 | Tornillo de 3/4" x 2" | JZ | 129 | 260 | 24 |
| 9.05 | Tornillo 3/4"-10 x 2 1/2" | JX | 99 | 200 | 48 |
| 9.06 | Esparrago de 3/4" x 4" | EJ | 16 | 32 | 16 |
| 9.07 | Tuerca de 3/4"-10 | KV | 310 | 620 | 16 |
| 9.08 | Arandela de seguridad 3/4" | JY | 379 | 620 | 64 |
| 9.09 | Arandela de 3/4" x 4" | FE | 300 | 600 | 24 |
| 10.01 | Quijada fija | BK | 192 | 382 | 192 |
| 11.01 | Anillo rechazador | BV | 12 | 24 | 12 |
| 11.02 | Brazo rechazador | BX | 12 | 24 | 12 |
| 11.03 | Guarda del brazo rechazador | BY | 12 | 18 | 12 |
| 11.04 | Guía del brazo rechazador | BL | 0 | 0 | 2 |
| 11.05 | Tornillo 1/2" x 1 1/4" | LA | 12 | 24 | 12 |
| 11.06 | Tornillo 1/2" x 1 3/4" | KT | 12 | 24 | 12 |
| 11.07 | Tornillo 3/4" x 2 1/4" | KS | 27 | 54 | 6 |
| 11.08 | Tuerca de 1/2"-13 | LD | 12 | 24 | 12 |
| 11.09 | Tuerca de 3/4"-10 | KV | 310 | 620 | 6 |
| 11.10 | Arandela de seguridad de 1/2" | JE.LD | 44 | 88 | 18 |
| 11.11 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 800 | 6 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Repuestos sección del ventilador parte 1

| No. | Descripción español | Ítem fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|-------|---|--------------|------|------|-------------------------------|
| 12.01 | Blindaje de la carcasa superior derecha | CE | 1 | 1 | 1 |
| 12.02 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | CE | 1 | 1 | 1 |
| 12.03 | Blindaje de la carcasa superior derecha | CF | 1 | 1 | 1 |
| 12.04 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | CF | 1 | 1 | 1 |
| 12.05 | Blindaje de la carcasa superior derecha | CG | 1 | 1 | 1 |
| 12.06 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | CG | 1 | 1 | 1 |
| 12.07 | Blindaje de la carcasa superior derecha | CH | 1 | 1 | 1 |
| 12.08 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | CH | 1 | 1 | 1 |
| 12.09 | Blindaje de la carcasa superior derecha | CJ | 1 | 1 | 1 |
| 12.10 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | CJ | 1 | 1 | 1 |
| 12.11 | Blindaje de la carcasa superior derecha | CK | 1 | 1 | 1 |
| 12.12 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | CK | 1 | 1 | 1 |
| 12.13 | Blindaje interior | CL | 18 | 24 | 12 |
| 12.14 | Blindaje interior del plato posterior | CM | 6 | 12 | 6 |
| 12.15 | Blindaje inferior intermedio | CN | 10 | 10 | 5 |
| 12.16 | Blindaje interior del plato posterior | CP | 30 | 40 | 5 |
| 12.17 | Blindaje a la salida lado izquierdo | CQ | 1 | 2 | 1 |
| 12.18 | Blindaje periférico lado derecho | CR | 1 | 2 | 1 |
| 12.19 | Blindaje periférico lado izquierdo | CS | 2 | 4 | 1 |
| 12.20 | Blindaje periférico lado derecho | CS | 1 | 1 | 1 |
| 12.21 | Blindaje periférico lado izquierdo | CT | 1 | 1 | 1 |
| 12.22 | Blindaje periférico lado derecho | CT | 1 | 1 | 1 |
| 12.23 | Blindaje periférico lado izquierdo | CU | 2 | 2 | 1 |
| 12.24 | Blindaje periférico lado derecho | CU | 2 | 2 | 1 |
| 12.25 | Blindaje periférico lado izquierdo | CV | 2 | 2 | 1 |
| 12.26 | Blindaje periférico lado derecho | CV | 2 | 2 | 1 |
| 12.27 | Blindaje periférico lado izquierdo | CW | 2 | 2 | 1 |
| 12.28 | Blindaje periférico lado derecho | CW | 2 | 2 | 1 |
| 12.29 | Blindaje periférico lado izquierdo | CX | 2 | 2 | 1 |
| 12.30 | Blindaje periférico lado derecho | CX | 2 | 2 | 1 |
| 12.31 | Blindaje periférico lado izquierdo | CY | 2 | 2 | 1 |
| 12.32 | Blindaje periférico lado derecho | CY | 2 | 2 | 1 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Repuestos sección del ventilador parte 2

| No. | Descripción español | Ítem fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|-------|---|--------------|------|------|-------------------------------|
| 12.33 | Blindaje periférico lado izquierdo | CC | 2 | 2 | 1 |
| 12.34 | Blindaje periférico lado derecho | CC | 2 | 2 | 1 |
| 12.35 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-1/4" | KW | 140 | 280 | 18 |
| 12.36 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-3/4" | KH | 44 | 264 | 24 |
| 12.37 | Tornillo hexagonal de 3/4" X 2", | JZ | 129 | 258 | 52 |
| 12.38 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 2-1/2" | JX | 99 | 200 | 22 |
| 12.39 | Tuerca hexagonal de 3/4" - 10 | KV | 310 | 620 | 52 |
| 12.40 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 620 | 116 |
| 12.41 | Arandela plana de 3/4" | FE | 300 | 600 | 52 |
| 13.01 | Blindaje de la carcasa lado derecho | CE | 1 | 2 | 1 |
| 13.02 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | CE | 1 | 2 | 1 |
| 13.03 | Blindaje de la carcasa lado derecho | CF | 1 | 2 | 1 |
| 13.04 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | CF | 1 | 2 | 1 |
| 13.05 | Blindaje de la carcasa lado derecho | CG | 1 | 2 | 1 |
| 13.06 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | CG | 1 | 2 | 1 |
| 13.07 | Blindaje de la carcasa lado derecho | CH | 1 | 2 | 1 |
| 13.08 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | CH | 1 | 2 | 1 |
| 13.09 | Blindaje de la carcasa lado derecho | CJ | 1 | 2 | 1 |
| 13.10 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | CJ | 1 | 2 | 1 |
| 13.11 | Blindaje de la carcasa lado derecho | CK | 1 | 2 | 1 |
| 13.12 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | CK | 1 | 2 | 1 |
| 13.13 | Blindaje interior de la carcasa | CL | 18 | 24 | 12 |
| 13.14 | Blindaje interior parte interna de la carcasa | CM | 6 | 12 | 6 |
| 13.15 | Blindaje inferior intermedio | CN | 10 | 10 | 5 |
| 13.16 | Blindaje de la carcasa | CP | 30 | 40 | 5 |
| 13.17 | Blindaje a la salida lado izquierdo | CQ | 1 | 2 | 1 |
| 13.18 | Blindaje periférico lado derecho | CR | 1 | 3 | 1 |
| 13.19 | Blindaje periférico lado izquierdo | CS | 2 | 4 | 1 |
| 13.20 | Blindaje periférico lado derecho | CS | 1 | 2 | 1 |
| 13.21 | Blindaje periférico lado izquierdo | CT | 1 | 2 | 1 |
| 13.22 | Blindaje periférico lado derecho | CT | 1 | 2 | 1 |
| 13.23 | Blindaje periférico lado izquierdo | CU | 2 | 2 | 1 |
| 13.24 | Blindaje periférico lado derecho | CU | 2 | 2 | 1 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Repuestos sección del ventilador parte 3

| No. | Descripción español | Ítem fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|-------|--|--------------|------|------|-------------------------------|
| 13.25 | Blindaje periférico lado izquierdo | CV | 2 | 2 | 1 |
| 13.26 | Blindaje periférico lado derecho | CV | 2 | 2 | 1 |
| 13.27 | Blindaje periférico lado izquierdo | CW | 2 | 2 | 1 |
| 13.28 | Blindaje periférico lado derecho | CW | 2 | 2 | 1 |
| 13.29 | Blindaje periférico lado izquierdo | CX | 2 | 2 | 1 |
| 13.30 | Blindaje periférico lado derecho | CX | 2 | 2 | 1 |
| 13.31 | Blindaje periférico lado izquierdo | CY | 2 | 2 | 1 |
| 13.32 | Blindaje periférico lado derecho | CY | 2 | 2 | 1 |
| 13.33 | Blindaje periférico lado izquierdo | CC | 2 | 2 | 1 |
| 13.34 | Blindaje periférico lado derecho | CC | 2 | 2 | 1 |
| 13.35 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-1/4" | KW | 140 | 280 | 18 |
| 13.36 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-3/4" | KH | 44 | 88 | 24 |
| 13.37 | Tornillo hexagonal de 3/4" X 2", | JZ | 129 | 258 | 52 |
| 13.38 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 2-1/2" | JX | 99 | 200 | 22 |
| 13.39 | Tuerca hexagonal de 3/4" - 10 | KV | 310 | 620 | 52 |
| 13.40 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 760 | 116 |
| 13.41 | Arandela plana de 3/4" | FE | 300 | 600 | 52 |
| 14.01 | Aspas curvas | HL | 32 | 64 | 16 |
| 14.02 | Barra para aspas rectas | HV | 128 | 192 | 32 |
| 14.03 | Barra para aspas curvas | HW | 64 | 128 | 32 |
| 14.04 | Aspas rectas | HK | 16 | 32 | 16 |
| 14.05 | Tornillo de 5/8"-11 X 2 1/4" | HN | 134 | 2688 | 192 |
| 14.06 | Tornillo de 5/8" X 2 1/4" | HG | 192 | 384 | 32 |
| 14.07 | Tuerca hexagonal de 5/8"-11 | HS | 179 | 2688 | 224 |
| 14.08 | Arandela de seguridad de 5/8" | HR | 179 | 2688 | 224 |
| 15.01 | Aspas curvas | HL | 32 | 64 | 16 |
| 15.02 | Barra para aspas rectas | HV | 128 | 192 | 32 |
| 15.03 | Barra para aspas curvas | HW | 64 | 128 | 32 |
| 15.04 | Aspas rectas | HK | 16 | 32 | 16 |
| 15.05 | Tornillo de 5/8"-11 X 2 1/4" | HN | 134 | 2016 | 192 |
| 15.06 | Tornillo de 5/8" X 2 1/4" | HG | 192 | 288 | 32 |
| 15.07 | Tuerca hexagonal de 5/8"-11 | HS | 179 | 2688 | 224 |
| 15.08 | Arandela de seguridad de 5/8" | HR | 179 | 2688 | 224 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Repuestos sección del ventilador parte 4**

| No. | Descripción español | Ítem Fábrica | Mín. | Máx. | Total piezas por pulverizador |
|-------|---|-----------------|------|------|-------------------------------------|
| 16.01 | Blindaje periférico de la carcasa | CA | 56 | 84 | 56 |
| 16.02 | Blindaje periférico de la carcasa | CB | 2 | 4 | 2 |
| 16.03 | Blindaje periférico de la carcasa | CD | 2 | 4 | 2 |
| 16.04 | Blindaje de la carcasa en la sección de corte | HB | 2 | 4 | 2 |
| 16.05 | Blindaje a la salida de la carcasa | HC | 2 | 2 | 2 |
| 16.06 | Espaciadores de los blindajes de la carcasa | HE | 24 | 48 | 48 |
| 16.07 | Blindaje del eje | HF | 16 | 32 | 16 |
| 16.08 | Disco del ventilador | HH | 0 | 0 | 2 |
| 16.09 | Cubierta lado izquierdo | HJ | 0 | 0 | 1 |
| 16.10 | Cubierta lado derecho | HJ | 0 | 0 | 1 |
| 16.11 | Espaciadores de cubierta del ventilador | HP | 0 | 0 | 2 |
| 16.12 | Espaciadores de cubierta del ventilador | HP | 2 | 4 | 2 |
| 16.13 | Tornillo hexagonal de 3/4"-10 x 1-3/4" | KN | 44 | 88 | 2 |
| 16.14 | Arandela de seguridad de 3/4" | JY | 379 | 569 | 2 |

Fuente: elaboración propia.

2.4. Costo total

Al momento de cuantificar el costo total de mantenimiento a un pulverizador se tomaron en consideración los costos directos e indirectos existentes; el detalle de los costos en mención es listado a continuación.

2.4.1. Costos directos

Los costos de mantenimiento del pulverizador de carbón están definidos por el tipo de mantenimiento preventivo practicado. El tipo de mantenimiento está en función de las toneladas procesadas y se practica a 50 000, 100 000,

150 000, 200 000, 250 000, 300 000, 350 000, 400 000, 450 000, 500 000, 550 000 y 600 000 toneladas.

2.4.1.1. Mano de obra

En los registros de la base de datos de mantenimiento se carece de información histórica de la mano de obra empleada en cada uno de los mantenimientos, sin embargo fue posible efectuar un estimado de la mano de obra según registros del ingeniero de mantenimiento que coordina cada uno de los mismos.

A continuación el detalle de mano de obra empleada, el tiempo estimado por mantenimiento, el salario por día según plaza del colaborador y los costos totales de cada mantenimiento.

Tabla XVII. **Mantenimiento tipo A**

| Toneladas procesadas: | 50 000, 250 000, 350 000 y 550 000 toneladas. | | | |
|---|---|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total por plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 1 | Q 267 | Q 267 |
| Mecánico | 2 | 1 | Q 183 | Q 367 |
| Ayudantes de mecánico | 2 | 1 | Q 67 | Q 133 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 767 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Mantenimiento tipo B**

| Toneladas procesadas | | 150 000 y 450 000 toneladas. | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 3 | Q 267 | Q 800 |
| Mecánico | 2 | 3 | Q 183 | Q 1 100 |
| Ayudantes de mecánico | 2 | 3 | Q 67 | Q 400 |
| Soldador | 1 | 3 | Q 140 | Q 420 |
| Ayudante de soldador | 1 | 3 | Q 67 | Q 200 |
| Operador de grúa | 1 | 3 | Q 117 | Q 350 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 3 | Q 83 | Q 250 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 3 520 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Mantenimiento tipo C**

| Toneladas procesadas | | 100 000 y 500 000 toneladas. | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 10 | Q 267 | Q 2 667 |
| Mecánico | 4 | 10 | Q 183 | Q 7 333 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 10 | Q 67 | Q 2 667 |
| Soldador | 1 | 10 | Q 140 | Q 1 400 |
| Ayudante de soldador | 1 | 10 | Q 67 | Q 667 |
| Operador de grúa | 1 | 10 | Q 117 | Q 1 167 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 10 | Q 83 | Q 833 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 16 733 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Mantenimiento tipo D**

| Toneladas procesadas | | 200 000 y 400 000 toneladas. | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 11 | Q 267 | Q 2 933 |
| Mecánico | 4 | 11 | Q 183 | Q 8 067 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 11 | Q 67 | Q 2 933 |
| Soldador | 1 | 11 | Q 140 | Q 1 540 |
| Ayudante de soldador | 1 | 11 | Q 67 | Q 733 |
| Operador de grúa | 1 | 11 | Q 117 | Q 1 283 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 11 | Q 83 | Q 917 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 18 407 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXI. **Mantenimiento tipo E**

| Toneladas procesadas | | 300 000 toneladas | | |
|---|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------|
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 12 | Q 267 | Q 3 200 |
| Mecánico | 4 | 12 | Q 183 | Q 8 800 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 12 | Q 67 | Q 3 200 |
| Soldador | 1 | 12 | Q 140 | Q 1 680 |
| Ayudante de soldador | 1 | 12 | Q 67 | Q 800 |
| Operador de grúa | 1 | 12 | Q 117 | Q 1 400 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 12 | Q 83 | Q 1 000 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 20 080 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Mantenimiento tipo F**

| Toneladas procesadas | | 600 000 toneladas | | |
|---|-----------------------|-------------------|-----------------|---------------------|
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 20 | Q 267 | Q 5 333 |
| Mecánico | 4 | 20 | Q 183 | Q 14 667 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 20 | Q 67 | Q 5 333 |
| Soldador | 1 | 20 | Q 140 | Q 2 800 |
| Ayudante de soldador | 1 | 20 | Q 67 | Q 1 333 |
| Operador de grúa | 1 | 20 | Q 117 | Q 2 333 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 20 | Q 83 | Q 1 667 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 33 467 |

Fuente: elaboración propia.

2.4.1.2. **Herramienta**

En la actualidad la herramienta utilizada para ejecutar el mantenimiento del pulverizador de carbón es solicitada en la bodega de herramientas de planta, utilizando para ello herramientas que son de uso general para el mantenimiento de los demás equipos de la planta de electricidad por lo que se considera despreciable el costo de herramienta.

Del histórico de herramienta que se utiliza para este equipo se logró sacar un listado de cuál es la utilizada para los mantenimientos de pulverizadores. Ver tabla XXIII mostrada a continuación.

Tabla XXIII. Listado de herramienta 1

| Descripción herramienta | Cantidad requerida |
|---|--------------------|
| Polipasto de cinco toneladas | 2 |
| Carro para viga H capacidad cinco toneladas | 2 |
| Andamio | 1 |
| Grillete de cinco toneladas | 2 |
| Pistola neumática raíz de ½ pulgada | 2 |
| Pistola neumática raíz de ¼ pulgada | 2 |
| Pistola neumática raíz de 1 pulgada | 2 |
| Pulidora de disco de 12 pulgadas | 1 |
| Adaptador 1/4 - 3/8 | 1 |
| Adaptador 3/8 - ½ | 1 |
| Arco para sierra | 1 |
| Cangrejo 200 milímetros | 1 |
| Cangrejo 300 milímetros | 1 |
| Cinta métrica | 1 |
| Copa candelas raíz 3/8" medida 13/16" | 1 |
| Copa candelas raíz 3/8" medida 5/8" | 1 |
| Copa larga raíz 3/8" medida 7/8" | 1 |
| Copa raíz 1/2" medida 1 1/16" quebrada | 1 |
| Copa raíz 1/2" medida 3/8" | 1 |
| Set de copas de raíz de 1/4" | 1 |
| Set de copas de raíz de 1/2" | 1 |
| Set de copas de raíz de 3/8" | 1 |
| Extensión larga raíz de 3/8" | 1 |
| Extensión corta raíz de 1/2" quebrada | 1 |
| Extensión corta raíz de 3/8" | 1 |
| Extensión larga raíz de 1/2" | 1 |
| Extensión raíz de 1/4" | 1 |
| Juego de copas largas raíz de 1/2" | 1 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Listado de herramienta 2**

| Descripción herramienta | Cantidad requerida |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Juego de copas raíz de 1/4" | 1 |
| Juego de 9 desarmadores planos | 1 |
| Juego de cinceles y puntas | 1 |
| Juego de llaves cola corona de 3/8" | 1 |
| Maneral raíz de 1/2" | 1 |
| Maneral raíz de 1/4" | 1 |
| Maneral raíz de 3/8" | 1 |
| Martillo de bola de 16 onzas | 1 |
| Reducidor de 3/8" a 1/4" | 1 |
| Reducidor de 1/2" a 3/8" | 1 |
| Unión articulada raíz de 1/2" | 1 |
| Unión articulada raíz de 3/8" | 1 |

Fuente: elaboración propia.

2.4.1.3. Repuestos

Los costos incurridos por repuestos están definidos por el tipo de mantenimiento el cual está en función de las toneladas de carbón procesadas por el pulverizador. La inversión en inventario de repuestos del pulverizador de carbón asciende a 1 677 382,00 quetzales.

A continuación un resumen de los costos por repuestos de las secciones de molienda, pulverizado y del ventilador según el tipo de mantenimiento que se ejecute.

Mantenimiento tipo A

Frecuencia: cada 50 000 toneladas

Descripción: básicamente consiste en el cambio de martillos, guardas y pernos del área molienda.

Referencia: Sección 11C-A137

Costo: Q 48 588

Este mantenimiento se repite a las 250 000, 350 000 y 550 000 toneladas. Además, está incluido en todos los mantenimientos.

Tabla XXV. **Costos de mantenimiento tipo A**

| | | Sección | Identificación | Costo sección |
|-------------------------------|----|----------|---|---------------|
| MOLIENDA | 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 48 588 |
| | 2 | 11C-A419 | Parrilla | Q - |
| | 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | Q - |
| PULVERIZADO | 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q - |
| | 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | Q - |
| | 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | Q - |
| | 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | Q - |
| | 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | Q - |
| | 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | Q - |
| | 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | Q - |
| | 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | Q - |
| VENTILADOR | 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q - |
| | 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | Q - |
| | 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | Q - |
| | 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | Q - |
| | 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | Q - |
| Costo total del mantenimiento | | | | Q 48 588 |

Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento B

Frecuencia: cada 150 000 toneladas

Descripción: incluye el mantenimiento A más la guía de placa de atrapa metales, pertenecientes a la sección de blindaje interior de la sección de molienda. En el área de Pulverizado se incluye el brazo rechazador de la sección de brazos rechazadores. En el área de ventiladores se incluyen las aspas rectas de ambos ventiladores.

Referencia: Secciones 11C-A137, 11C-A420, 11C-A418, 11C-A408 y 11C-A409.

Costo: Q 136 053

Este mantenimiento se repite a las 450 000 toneladas.

Tabla XXVI. **Costos de mantenimiento tipo B**

| Área | | Sección | Identificación | Costo unitario | Costo |
|-------------------------------|----|----------|---|----------------|-----------|
| MOLIENDA | 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 48 588 | Q 52 809 |
| | 2 | 11C-A419 | Parrilla | Q - | |
| | 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | Q 4 221 | |
| PULVERIZADO | 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q - | Q 11 749 |
| | 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | Q - | |
| | 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | Q - | |
| | 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | Q - | |
| | 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | Q - | |
| | 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | Q - | |
| | 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | Q - | |
| | 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | Q 11 749 | |
| VENTILADOR | 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q - | Q 71 495 |
| | 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | Q - | |
| | 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | Q 35 899 | |
| | 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | Q 35 596 | |
| | 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | Q - | |
| Costo total del mantenimiento | | | | Q 136 053 | Q 136 053 |

Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento C

Frecuencia: cada 100 000 toneladas

Descripción: incluye el mantenimiento A más los segmentos de rejilla de 45 grados y los segmentos de las rejillas de 45 grados sólidas, los espaciadores de la rejilla de la sección de parrillas, el bloque de molienda con sus guías y la tornillería del área de molienda, que incluye los tornillos, tuercas y arandelas de seguridad.

Del área de pulverizado incluye los platos de desgaste lado izquierdo y derecho de primer y segundo efecto, las quijadas de primer y segundo efecto de pulverizado, las quijadas fijas de pulverizado, disco de cámara de pulverizado y ventilador, blindaje de seguridad del plato inferior y blindaje de cierre lado izquierdo y derecho, incluyendo los tornillos, tuercas y arandelas de seguridad del blindaje. Incluye también la guía del brazo rechazador así como la tornillería, que incluye los tornillos, tuercas y arandelas de seguridad. Del área del ventilador solamente incluye la tornillería de las aspas y del blindaje del ventilador. No incluye cambio de aspas rectas del ventilador.

Referencia: Secciones 11C-A137, 11C-A419, 11C-A420, 11C-A411, 11C-A412, 11C-A413, 11C-A414, 11C-A415, 11C-A416, 11C-A417, 11C-A418, 11C-A406, 11C-A407, 11C-A408, 11C-A409, 11C-A410.

Costo: Q 743 201

Este mantenimiento se repite a las 500 000 toneladas.

Tabla XXVII. **Costos de mantenimiento tipo C**

| Área | | Sección | Identificación | Costo Unitario | Costo sección |
|-------------------------------|----|----------|---|----------------|---------------|
| MOLIENDA | 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 48 742 | Q 79 168 |
| | 2 | 11C-A419 | Parrilla | Q 23 558 | |
| | 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | Q 6 868 | |
| PULVERIZADO | 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q 165 465 | Q 644 852 |
| | 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | Q 138 016 | |
| | 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | Q 158 083 | |
| | 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | Q 1 212 | |
| | 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | Q 1 212 | |
| | 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | Q 2 673 | |
| | 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | Q 149 846 | |
| | 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | Q 28 345 | |
| VENTILADOR | 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q 2 627 | Q 19 181 |
| | 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | Q 2 627 | |
| | 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | Q 6 368 | |
| | 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | Q 6,368 | |
| | 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | Q 1 191 | |
| Costo total del mantenimiento | | | | Q 743 201 | Q 743 201 |

Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento D

Frecuencia: cada 200 000 toneladas

Descripción: incluye el mantenimiento C más las aspas curvas del área del ventilador. No incluye cambio de aspas rectas del ventilador.

Referencia: Secciones 11C-A137, 11C-A419, 11C-A420, 11C-A411, 11C-A412, 11C-A413, 11C-A414, 11C-A415, 11C-A416, 11C-A417, 11C-A418, 11C-A406, 11C-A407, 11C-A408, 11C-A409, 11C-A410

Costo: Q 797 250

Este mantenimiento se repite a las 400 000 toneladas.

Tabla XXVIII. **Costos de mantenimiento tipo D**

| Área | | Sección | Identificación | Costo Unitario | Costo sección |
|-------------------------------|----|----------|---|----------------|---------------|
| MOLIENDA | 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 48 742 | Q 79 166 |
| | 2 | 11C-A419 | Parrilla | Q 23 558 | |
| | 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | Q 6 866 | |
| PULVERIZADO | 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q 165 465 | Q 644 852 |
| | 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | Q 138 016 | |
| | 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | Q 158 083 | |
| | 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | Q 1 212 | |
| | 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | Q 1 212 | |
| | 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | Q 2 673 | |
| | 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | Q 149 846 | |
| | 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | Q 28 345 | |
| VENTILADOR | 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q 2 627 | Q 63075 |
| | 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | Q 2 627 | |
| | 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | Q 28 315 | |
| | 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | Q 28 315 | |
| | 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | Q 1 191 | |
| Costo total del mantenimiento | | | | Q 787 090 | Q 787 090 |

Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento E

Frecuencia: cada 300 000 toneladas

Descripción: incluye el mantenimiento D más los blindajes del área de molienda, los brazos rechazadores del área de pulverizado y las barras para las aspas rectas y curvas del ventilador.

Referencia: Secciones 11C-A137, 11C-A419, 11C-A420, 11C-A411, 11C-A412, 11C-A413, 11C-A414, 11C-A415, 11C-A416, 11C-A417, 11C-A418, 11C-A406, 11C-A407, 11C-A408, 11C-A409, 11C-A410

Costo: Q 918 433

Tabla XXIX. **Costos de mantenimiento tipo E**

| Área | | Sección | Identificación | Costo Unitario | Costo Sección |
|-------------------------------|----|----------|---|----------------|---------------|
| MOLIENDA | 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 48 742 | Q 161 001 |
| | 2 | 11C-A419 | Parrilla | Q 24 905 | |
| | 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | Q 87 354 | |
| PULVERIZADO | 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q 165 465 | Q 656 601 |
| | 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | Q 138 016 | |
| | 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | Q 158 083 | |
| | 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | Q 1 212 | |
| | 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | Q 1 212 | |
| | 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | Q 2673 | |
| | 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | Q 149 846 | |
| | 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | Q 40 094 | |
| VENTILADOR | 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q 2 627 | Q 90 676 |
| | 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | Q 2 627 | |
| | 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | Q 42 267 | |
| | 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | Q 41 964 | |
| | 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | Q 1 191 | |
| Costo total del mantenimiento | | | | Q 908 275 | Q 908 275 |

Fuente: elaboración propia.

Mantenimiento F

Frecuencia: cada 600 000 toneladas

Descripción: incluye en cambio de todas las piezas del pulverizador. A continuación se listan las piezas que se cambian por primera vez. En el área de molienda en la sección del blindaje interior se cambia el plato delantero posterior a la entrada de alimentación, blindaje y soporte de parrilla y tornillo de ajuste del bloque de molienda. En el área de pulverizado en la sección del plato de desgaste interno se cambia el disco de la cámara de pulverizado lado izquierdo y derecho, el blindaje de primer efecto de la cámara de pulverizado lado izquierdo y derecho.

En la sección de blindaje periférico de pulverizado izquierdo y derecho se cambia el Blindaje periférico, espaciador de blindaje periférico, blindaje de cierre periférico, segmento para blindaje periférico y segmento de cierre para blindaje periférico. En la sección de blindaje lateral interior de pulverizado se cambia el blindaje Interior de la cámara de pulverizado, blindaje superior de primer efecto y blindaje de primer efecto. En la sección de rechazadores se cambia el anillo rechazador. De las secciones del blindaje de los ventiladores se cambian los blindajes de la carcasa superior izquierda y derecha, blindajes: interior, interior del plato posterior, inferior intermedio, interior del plato posterior, blindaje a la salida lado izquierdo, blindaje periférico lado izquierdo y derecho. De la sección de blindaje periférico de los ventiladores se cambia el blindaje periférico de la carcasa, blindaje de la carcasa en la sección de corte, blindaje a la salida de la carcasa, espaciadores de los blindajes de la carcasa, blindaje del eje, disco del ventilador, cubierta lado izquierdo y derecho y los espaciadores de cubierta del ventilador.

Referencia: Secciones 11C-A137, 11C-A419, 11C-A420, 11C-A411, 11C-A412, 11C-A413, 11C-A414, 11C-A415, 11C-A416, 11C-A417, 11C-A418, 11C-A406, 11C-A407, 11C-A408, 11C-A409, 11C-A410

Costo: Q 2 018 706

Tabla XXX. **Costos de mantenimiento tipo F**

| Área | | Sección | Identificación | Costo Unitario | Costo Sección |
|-------------------------------|----|----------|---|----------------|---------------|
| MOLIENDA | 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 48 742 | Q 218 669 |
| | 2 | 11C-A419 | Parrilla | Q 24 905 | |
| | 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | Q 145 022 | |
| PULVERIZADO | 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q 165 465 | Q 1 060 331 |
| | 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | Q 138 016 | |
| | 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | Q 320 221 | |
| | 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | Q 67 648 | |
| | 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | Q 68 240 | |
| | 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | Q 94 014 | |
| | 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | Q 149 846 | |
| | 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | Q 56 881 | |
| VENTILADOR | 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q 99 972 | Q 739 706 |
| | 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | Q 99 811 | |
| | 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | Q 64 214 | |
| | 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | Q 63 912 | |
| | 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | Q 411 797 | |
| Costo total del mantenimiento | | | | Q 2 018 706 | Q 2 018 706 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Resumen costos de repuestos por tipo de mantenimiento**

| | Kit por sección | Mantto. A | Mantto. B | Mantto. C | Mantto. D | Mantto. E | Mantto. F |
|-------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 1 | 11C-A137 | Q 48 588 | Q 48 588 | Q 48 742 | Q 48 742 | Q 48 742 | Q 48 742 |
| 2 | 11C-A419 | Q 0 | Q 0 | Q 23 558 | Q 23 558 | Q 24 905 | Q 24 905 |
| 3 | 11C-A420 | Q 0 | Q 4 221 | Q 6 868 | Q 6 868 | Q 87 354 | Q 145 022 |
| 4 | 11C-A411 | Q 0 | Q 0 | Q165 465 | Q 165 465 | Q 165 465 | Q 165 465 |
| 5 | 11C-A412 | Q 0 | Q 0 | Q138 016 | Q 138 016 | Q 138 016 | Q 138 016 |
| 6 | 11C-A413 | Q 0 | Q 0 | Q158 083 | Q 158 083 | Q 158 083 | Q 320 221 |
| 7 | 11C-A414 | Q 0 | Q 0 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 67 648 |
| 8 | 11C-A415 | Q 0 | Q 0 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 68 240 |
| 9 | 11C-A416 | Q 0 | Q 0 | Q 2 673 | Q 2 673 | Q 2 673 | Q 94 014 |
| 10 | 11C-A417 | Q 0 | Q 0 | Q149 846 | Q 149 846 | Q 149 846 | Q 149 846 |
| 11 | 11C-A418 | Q 0 | Q 11 749 | Q 28 345 | Q 28 345 | Q 40 094 | Q 56 881 |
| 12 | 11C-A406 | Q 0 | Q 0 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 99 972 |
| 13 | 11C-A407 | Q 0 | Q 0 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 99 811 |
| 14 | 11C-A408 | Q 0 | Q 35 899 | Q 6 368 | Q 28 315 | Q 42 267 | Q 64 214 |
| 15 | 11C-A409 | Q 0 | Q 35 596 | Q 6 368 | Q 28 315 | Q 41 964 | Q 63 912 |
| 16 | 11C-A410 | Q 0 | Q 0 | Q 1 191 | Q 1 191 | Q 1 191 | Q 411 797 |
| Costo total del mantenimiento | | Q 48 588 | Q 136 053 | Q743 201 | Q 787 090 | Q 908 275 | Q2 018 706 |

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Costos indirectos

Los costos indirectos que se relacionan al mantenimiento del pulverizador son de dos tipos, el primero va relacionado a las fallas inesperadas del pulverizador de carbón lo cual hace que exista pérdida de producción y el segundo costo indirecto es por sobre inventario ya que el exceso de inventario generó un costo de oportunidad es decir el dinero destinado al exceso de inventario dejo de generar retorno sobre la inversión que para la empresa es de un 11 % sobre la inversión. Para efectos de este estudio por confidencialidad de la empresa los costos indirectos relacionados a la pérdida de producción no

serán considerados sin embargo si se considerarán los costos indirectos generados por sobre inventario.

A continuación un resumen de los costos por sobre inventario de repuestos del pulverizador, el resumen presenta un detalle por sección del pulverizador obtenido de la tabla de inventario del apéndice 2.

Tabla XXXII. **Costos por sobre inventario del 2010**

| | | | Costo x sobre Inventario |
|--|----------|---|-------------------------------------|
| SECCION MOLIENDA | | | |
| 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | Q 60 318 |
| 2 | 11C-A419 | Parrilla | |
| 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | |
| SECCION PULVERIZADO | | | |
| 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | Q 237 790 |
| 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | |
| 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | |
| 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | |
| 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | |
| 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | |
| 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | |
| 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | |
| SECCION VENTILADOR | | | |
| 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | Q 342 930 |
| 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | |
| 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | |
| 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | |
| 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | |
| Costo total por sobre inventario | | | Q 641 038 |
| El porcentaje de retorno sobre la inversión es del 11% anual | | | Q 70 515 |

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se deduce que el costo indirecto por sobre inventario de repuestos del pulverizador asciende a un monto de Q 70 515; el monto anterior es la utilidad que se dejó de percibir en el período de un año por haber invertido Q 641 038. Para efectos de evaluación de costos el monto de los costos indirectos será designado anualmente, lo que conlleva a sacar el total de inversión efectuada en un año en mantenimiento del pulverizador de carbón.

2.5. Control actual del mantenimiento

Las variables del control actual de mantenimiento son: ficha de maquinaria, historial de fallas, ordenes de trabajo y requisición de materiales. A continuación se detalla cada una de estas variables.

2.5.1. Ficha de maquinaria

Es de suma importancia llevar una ficha de maquinaria para contar con la información del pulverizador de carbón a la mano, esto ahorra tiempo y esfuerzo de otros colaboradores al momento de necesitar información precisa del mismo. A continuación se presenta la ficha de maquinaria en detalle del pulverizador de carbón.

Tabla XXXIII. **Ficha técnica del pulverizador de carbón 1A**

| FICHA TÉCNICA | Código del Equipo: | 1 SGA-PLV-1A |
|-------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Nombre | Pulverizador de carbón 1A | |
| Modelo | 558 Dúplex | |
| Número de serie | 3231 | |
| Marca | ATRITA | |
| Año de fabricación | 1998 | |
| Fabricante | DB RILEY | |
| Ubicación | Primer nivel caldera lado este | |
| Documentación técnica | Si | |
| Manual de operaciones | Si | |
| Kit de Herramientas | No | |
| Motor eléctrico | Si | |
| Voltaje | 4160 | |
| Potencia del motor | 900 HP | |
| Amperaje nominal | 131 amperios | |
| Revoluciones por minuto | 890 r.p.m. | |

Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Historial de fallas

Los mantenimientos del pulverizador de carbón son programados utilizando la base de datos de nombre Mp2, este programa tiene el registro de las órdenes de trabajo realizadas a los equipos de planta. Se investigó en la base de datos para identificar el historial de fallas del pulverizador de carbón y el programa carece de información uniforme que desglose un historial de fallas del pulverizador de carbón, lo anterior se debe principalmente porque no se tiene uniformizado el proceso de creación de las órdenes de trabajo para este equipo.

2.5.3. Órdenes de trabajo

El mantenimiento aplicado actualmente al pulverizador de carbón es de tipo preventivo y en ocasiones un mantenimiento de falla. El responsable de generar la orden de trabajo para el mantenimiento es el ingeniero de planificación de mantenimiento, una vez generada la orden de trabajo en la base de datos de mantenimiento se llevan los registros de los mantenimientos efectuados en esta misma base de datos. A la fecha se han generado órdenes de trabajo para el mantenimiento del pulverizador de carbón y no proporcionan información suficiente del tipo de mantenimiento que se fue efectuado al pulverizador, no proporciona detalle de la mano de obra utilizada, el tiempo de realización del mantenimiento es desconocido y los repuestos utilizados en detalle en algunos casos no son congruentes con el mantenimiento efectuado.

2.5.4. Requisición de materiales

Los repuestos para el pulverizador de carbón son almacenados en la bodega de planta y están ubicados en estanterías. El problema con el manejo de repuestos del pulverizador es que no existe una interrelación con el departamento de logística y mantenimiento por lo cual no se tiene un rango de máximos y mínimos de repuestos idóneo que permita el abastecimiento en tiempo de los repuestos a utilizar en cada tipo de mantenimiento del pulverizador de carbón.

La requisición actual de los repuestos es generada al finalizar el mantenimiento del pulverizador, se hace un listado de los repuestos utilizados y se requiere su compra sin hacer análisis de existencias en bodega, lo que genera en algunos repuestos un alto inventario y poca rotación del mismo.

3. PROPUESTA DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

3.1. Establecimiento de objetivos del mantenimiento propuesto

El mantenimiento que se propone trae consigo la determinación periódica de las tareas que maximicen la eficiencia del pulverizador lo cual permitirá llevar un registro ordenado que establezca tendencias a utilizar para la toma de decisiones que permitan mejorar el desempeño del pulverizador y por ende llevar un registro de desgaste de las piezas del pulverizador. Para optimizar el mantenimiento del pulverizador de carbón se propone lo siguiente:

- Establecer un programa optimizado de mantenimiento según el desgaste y vida útil de las piezas del pulverizador.
- Generar órdenes de trabajo por nombre del tipo de mantenimiento con los instructivos para realizar el mantenimiento.
- Definir controles para medir la eficiencia del pulverizador que permitan detectar el desgaste de piezas del área de molienda del pulverizador y evitar así la falla de estas piezas.
- Controlar de manera más eficiente el costo directo del mantenimiento del pulverizador mediante el uso correcto y eficiencia del tiempo, materiales y mano de obra.

3.1.1. Eficiencia del pulverizador

Definir controles para medir la eficiencia del pulverizador que permitan controlar los desgastes de piezas del pulverizador y evitar así la falla de estas piezas.

La eficiencia del pulverizador está determinada por el tamaño del grano de carbón. Se pretende mejorar también la distribución del carbón en los tubos de salida hacia los quemadores de la caldera; esto hace necesario establecer un programa de medición de fineza del carbón pulverizado e implementar un método para la medición del carbón que fluye a la salida de cada tubo del pulverizador. Es necesario centralizar esta información para el seguimiento efectivo del mismo y que se generen las acciones correctivas en el momento que se identifiquen desviaciones en el desempeño del pulverizador.

3.1.1.1. Tamaño de pulverización

Para mejorar el tamaño de pulverizado es necesario un programa mensual de muestreos de carbón que este apoyado con un programa de ajuste del bloque de molienda, este último siendo el único mecanismo de ajuste del pulverizador para lograr alcanzar que el 75 % del carbón que se pulveriza este en el tamiz 200. El programa sugerido debe estar centralizado por alguien dentro de la planta para su efectivo seguimiento; se sugiere que este proceso por ser parte operativa sea centralizado por el ingeniero de operaciones de planta.

Tabla XXXIV. Programa para análisis de fineza de carbón

| Programación 2,010 | Calibración bloque de molienda | Análisis de fineza del carbón pulverizado | Orden de trabajo número | Semana para realización de tareas |
|-----------------------|--------------------------------------|---|-------------------------------|---|
| Agosto | 1 | 1 | | 1era. semana |
| Septiembre | 1 | 1 | | 1era. Semana |
| Octubre | 1 | 1 | | 1era. Semana |
| Noviembre | 1 | 1 | | 1era. Semana |
| Diciembre | 1 | 1 | | 1era. Semana |

Fuente: elaboración propia.

Las órdenes de trabajo mensual para controlar el tamaño del grano de carbón deben incluir el requerimiento previo al muestreo de carbón la calibración del bloque de molienda como parte del análisis de fineza del carbón.

Para controlar la calibración del bloque de molienda se presenta el siguiente formato en la siguiente tabla.

Tabla XXXV. Calibración del bloque de molienda

| Pulverizador de carbón | | | | 1A | | | |
|--|----------------|--------------------------------|------------------------------|---------------|--|---|--|
| Valor mínimo de ajuste de profundidad del bloque de molienda: | | | | 82 milímetros | | | |
| Fecha | Tipo carbón | Lado izquierdo pulverizador | Lado derecho pulverizador | Responsable: | | Totalizador alimentador de carbón A | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Distribución del pulverizado

Al realizar el muestreo de carbón utilizando el método ASTM D 1997-87 se logra obtener la distribución de carbón pulverizado en cada uno de los tubos de salida del pulverizador. El parámetro aceptable del balance de combustible entre tubos está en más 10% de la media del flujo de combustible. El mejorar la distribución de carbón pulverizado trae consigo el homogéneo desgaste del pulverizador en cada uno de los lados por lo que para esto se sugiere la instalación de barras de acero en la sección de rifles que ayuden a balancear el flujo de carbón.

3.1.2. Disponibilidad del pulverizador

Con el objeto de mejorar la disponibilidad del pulverizador se sugiere evaluar cada uno de los tipos de mantenimiento existentes considerando la implementación de un instructivo de desarme y ensamblaje del equipo para uniformizar la tarea. También se sugiere implementar indicadores técnicos que permitan mejorar la gestión del mantenimiento. Los indicadores técnicos que se sugiere implementar son: el tiempo promedio entre fallas (TPFF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR).

Tiempo promedio para fallar (TPFF): indicador que mide el tiempo promedio que es capaz de operar el equipo a capacidad sin interrupciones dentro del periodo considerado; éste constituye un indicador indirecto de la confiabilidad del equipo.

Tiempo promedio para reparar (TPPR): es la medida de la distribución del tiempo de reparación de un equipo. Este indicador mide la efectividad en restituir la unidad a condiciones óptimas de operación una vez que la unidad se

encuentra fuera de servicio por fallo, dentro de un periodo de tiempo determinado.

3.1.2.1. Toneladas procesadas por unidad de tiempo

Se hace necesario llevar un control de las toneladas procesadas por unidad de tiempo del pulverizador debido a que las toneladas de carbón procesadas es la variable referencia por parte del fabricante, para el remplazo de las piezas del pulverizador y esta variable se utilizará para el desarrollo del programa por tipo de reparación en cada mantenimiento programado de planta.

Se determinara el volumen procesado de carbón utilizando para ello el contador del alimentador de carbón y el tiempo en que ha operado el pulverizador posterior a la realización del mantenimiento.

3.1.3. Implementación de instructivos para el mantenimiento del pulverizador

Los instructivos del programa de mantenimiento propuestos están sujetos al tipo de reparación ya que la vida útil de los componentes del pulverizador está determinada por las toneladas procesadas acumuladas. Se debe determinar la vida útil de cada una de los componentes del pulverizador para desarrollar el programa de reparaciones según las toneladas acumuladas.

3.1.3.1. Instructivos para el mantenimiento propuesto

- Establecimiento del tipo de reparación de acuerdo a las toneladas procesadas acumuladas.
- Proporcionar un detalle de los recursos necesarios de acuerdo al tipo de reparación definido en el numeral 3.1.3.
- Verificación de existencias de repuestos en el sistema de inventario de bodega.
- Verificación física de repuestos en bodega.
- De acuerdo al tipo de reparación proporcionar el detalle de personal a utilizar, identificando cantidad y especialidad requerida.
- Asignación de la tarea de reparación.
- Brindar el listado de herramientas a utilizar de acuerdo al tipo de reparación.
- Verificar físicamente la existencia y estado de la herramienta. Solicitar el remplazo de la herramienta que se encuentre dañada al personal responsable de la herramienta.
- Creación de la orden de trabajo de la reparación del pulverizador que debe incluir todos los pasos anteriormente descritos.

3.1.4. Prolongación vida útil de repuestos

Se determinó que es posible prolongar la vida útil de ciertos componentes del pulverizador que sufren desgaste por lo abrasivo del carbón. El prolongar la vida útil de alguna pieza obedece a que no se tiene en inventario el repuesto y resulta necesario aplicar alguna técnica de ingeniería para que el pulverizador continúe operando. Las técnicas propuestas para prolongar la vida de las piezas del pulverizador son las descritas a continuación.

3.1.4.1. Uso de soldadura de arco

Cuando el desgaste no es excesivo, es posible llenar el vacío con material de aporte de similares características a la pieza en reparación utilizando soldadura de arco.

3.1.4.2. Aplicación de materiales cerámicos con adhesivo epóxico

La técnica más reciente es utilizar adhesivo epóxico, Belzona 1811 / 1812, para cubrir o llenar el desgaste de la pieza o componente. La aplicación de materiales cerámicos se sugiere aplicarla cuando ocurre un desgaste puntual a piezas del pulverizador, específicamente en las secciones de pulverizado y del ventilador. No se debe aplicar en la sección de molienda porque es un área de alto impacto y el material se puede desprender donde se aplique.

3.1.4.3. Rotación de piezas del pulverizador

De acuerdo a la experiencia obtenida se logró identificar que el desgaste de ciertas piezas es de acuerdo al sentido de la rotación, las piezas que permiten su rotación son simétricas y debido a esto ha sido posible cambiarlas de ubicación ya que el pulverizador tiene la peculiaridad de ser del tipo dúplex. La parte desgastada de la pieza a reutilizar queda en el anverso de la rotación logrando prolongar la vida útil.

3.1.5. Análisis de costos

Es importante identificar cuáles son los costos con los que se incurre para la realización del mantenimiento del pulverizador para entonces desarrollar un

presupuesto de mantenimiento preciso que permita hacer uso eficiente de los recursos.

Los costos de herramientas tratados en el capítulo 2 no serán considerados dentro del análisis de los costos totales del mantenimiento a optimizar por las razones listadas con anterioridad, lo anterior permitirá efectuar la comparación de costos en igualdad de condiciones.

3.1.5.1. Costos totales del mantenimiento optimizado

El proceso de análisis de costos totales a desarrollar conlleva el análisis de los mantenimientos del pulverizador por el tipo de programa de mantenimiento generado en función de las toneladas de carbón procesadas por el pulverizador. El reporte de costo de mantenimiento llevara:

- Costos directos
 - Desglose de mano de obra
 - Desglose de repuestos

- Costos indirectos

Con la obtención de los costos totales requeridos para el mantenimiento se tendrá la base para mejorar la predicción del presupuesto del 2011, ayudando de esta manera a alcanzar la meta prevista trazada en calidad y términos financieros.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

4.1. Organización

Los recursos necesarios en los diferentes tipos de mantenimientos para el pulverizador son descritos en este apartado.

4.1.1. Personal

La ejecución del mantenimiento al pulverizador de carbón requiere de personal especializado en el área de mecánica, soldadura y personal hábil para izar cargas. Dentro de la planificación de cada una de las reparaciones se sugirió considerar el recurso humano del Departamento de Transportes, quienes tienen la capacidad de realizar trabajos mecánicos debido a que son ellos quienes efectúan los mantenimientos menores a las unidades de transporte de carbón. El personal de transportes debe ser integrado dentro del mantenimiento del pulverizador de carbón, para tener más personal experto en este tipo de mantenimiento teniendo con esto el beneficio cognoscitivo para los pilotos, aunado a un beneficio en costo que aunque ahora es no significativo desahoga a los mecánicos de planta para efectuar tareas minuciosas que requieren el expertaje propiamente de un mecánico.

En la programación que se presenta a continuación para cada tipo de mantenimiento se disminuyó a la mitad la mano de obra de los mecánicos y en su lugar se colocó a un piloto nombrándolo como mecánico 2, para que en conjunto con el mecánico de planta se efectuara el mantenimiento al

pulverizador de carbón según el tipo de reparación que se vaya a desarrollar. A mediano plazo debe considerarse que cada uno de los pilotos de planta pueda desarrollar cada una de los tipos de reparaciones del pulverizador de carbón.

La programación por tipo de reparación en referencia a mano de obra se detalla a continuación en tablas:

Tabla XXXVI. **Planificación mano obra mantenimiento tipo A**

| Mantenimiento tipo A | | |
|-----------------------------------|---|-----------------|
| Toneladas procesadas | 50 000, 250 000, 350 000 y 550 000 toneladas. | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 1 |
| Mecánico | 1 | 1 |
| Mecánico 2 (piloto) | 1 | 1 |
| Ayudantes de mecánico | 2 | 1 |

Fuente: elaboración propia.

El mantenimiento tipo B disminuye en los días de ejecución debido a que las aspas curvas fueron rotadas a las 100 000 toneladas, lo cual permite prolongar la vida útil de las mismas y efectuar su remplazo hasta las 200 000 toneladas.

Tabla XXXVII. **Planificación mano obra mantenimiento tipo B**

| Mantenimiento tipo B | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Toneladas procesadas | 150 000 y 450 000 toneladas. | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 2 |
| Mecánico | 1 | 2 |
| Mecánico 2 (piloto) | 1 | 2 |
| Ayudantes de mecánico | 2 | 2 |
| Soldador | 1 | 2 |
| Ayudante de soldador | 1 | 2 |
| Operador de grúa | 1 | 2 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 2 |

Fuente: elaboración propia.

El mantenimiento tipo C requiere la misma cantidad de mano de obra que el mantenimiento tipo D, sin embargo, existe la diferencia en los días de labor el cual para el tipo C se requieren 10 días y para el tipo D se requieren 11 días.

Tabla XXXIII. **Planificación mano obra mantenimiento tipo C y D**

| Mantenimiento tipo C y D | | |
|-----------------------------------|--|----------------------------------|
| Toneladas procesadas | Tipo C: 100 000 y 500 000 toneladas. Tipo D: 200 000 y 400 000 toneladas. | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo Manto.: C – D |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 10 / 11 |
| Mecánico | 2 | 10 / 11 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 10 / 11 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 10 / 11 |
| Soldador | 1 | 10 / 11 |
| Ayudante de soldador | 1 | 10 / 11 |
| Operador de grúa | 1 | 10 / 11 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 10 / 11 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Planificación mano obra mantenimiento tipo E**

| Mantenimiento tipo E | | |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Toneladas procesadas | 300 000 toneladas. | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 12 |
| Mecánico | 2 | 12 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 12 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 12 |
| Soldador | 1 | 12 |
| Ayudante de soldador | 1 | 12 |
| Operador de grúa | 1 | 12 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 12 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Planificación mano de obra mantenimiento F**

| Mantenimiento tipo F | | |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Toneladas procesadas | 600 000 toneladas. | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 20 |
| Mecánico | 2 | 20 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 20 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 20 |
| Soldador | 1 | 20 |
| Ayudante de soldador | 1 | 20 |
| Operador de grúa | 1 | 20 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 20 |

Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Repuestos

El listado de repuestos está determinado de acuerdo al tipo de mantenimiento debiéndose tener una base para determinar qué tipos de repuestos son de inventario y cuáles no lo son, se identificó que a principios del 2009 se hizo el mantenimiento de 600 000 toneladas. Se logró identificar las toneladas procesadas por el pulverizador de carbón durante el 2009 y 2010, logrando con ello establecer la secuencia de mantenimientos que se han efectuado a la fecha.

Durante el 2009 y 2010 el pulverizador de carbón procesó 87 000 y 140 000 toneladas respectivamente para un total de 227 000 toneladas, habiéndose efectuado los mantenimientos de 50 000, 100 000, 150 000 y 200 000 toneladas. En 2009 y 2010 fueron años atípicos de operación por factores tales, como falla de equipos mayores durante el 2009 y factores climáticos durante el 2010 como lo fue la tormenta Agatha que afectó el despacho de generación de la generadora eléctrica, por lo anterior evaluando

los años anteriores al 2009 se estableció que la tasa de molienda del pulverizador de carbón por año es de 150 000 toneladas por lo que esta será la base para establecer los mínimos y máximos para los repuestos de inventario. Para el 2011 se consideran los mantenimientos de 250 000, 300 000, 350 000 y 400 000 toneladas.

4.1.2.1. Inventario

El manejo de inventario de los repuestos para el pulverizador se relaciona con el uso que tendrá cada uno en los mantenimientos a realizar, es por ello que se establecen nuevos máximos y mínimos considerando el consumo en los seis tipos de mantenimiento, se define para cada uno de los repuestos si es necesario tenerlo en inventario o no de acuerdo al tipo de mantenimiento.

Ver el apéndice 2 para el detalle de la definición de mínimos, máximos, tipo de inventario de repuesto, cantidad en mano y precio en quetzales.

4.2. Instructivos para reparaciones

Al momento de implementar el programa de mantenimiento preventivo para el pulverizador de carbón se identificó la necesidad de definir tres instructivos, estos son:

- Selección y agrupación de repuestos nuevos.
- Instructivo de desarme del pulverizador.
- Instructivo de ensamblaje del pulverizador.

El detalle de cada uno de los instructivos se detalla a continuación.

4.2.1. Selección y agrupación de repuestos nuevos

El instructivo para la selección de repuestos nuevos es identificarlos con su número de parte según fabricante, con este dato se ubica el repuesto en el programa de inventario de bodega y se procede a su requerimiento según el tipo de mantenimiento a ejecutar.

El instructivo para la agrupación de repuestos nuevos es aplicado únicamente a los elementos rotativos debido a que el peso debe ser balanceado, para esto se requiere que los elementos diametralmente opuestos pesen lo mismo. Se debe utilizar una balanza digital para determinar el peso de cada elemento y la unidad de medida debe ser en onzas. Los repuestos una vez pesados deben ser rotulados con el peso que le corresponde para su posterior ordenamiento.

4.2.2. Instructivo de desarme del pulverizador

- Desmontar junta de entrada de aire caliente al pulverizador.
- Desmontar tapaderas lados derecho e izquierdo.
- Desmontar ducto de caída de carbón al pulverizador.
- Desmontar carcasa central.
- Desmontar registros del lado este y oeste.
- Desmontar ventiladores derecho e izquierdo.
- Desmontar platos de desgaste.
- Desmontar aspas del ventilador lado derecho e izquierdo.
- Desmontar anillo derecho e izquierdo.
- Desmontar brazos rechazadores lado derecho e izquierdo.
- Desmontar martillos, guardas y pines.
- Desacoplar motor del pulverizador.

- Desmontar acople del eje del pulverizador.
- Sacar eje del pulverizador.
- Desmontar chumaceras.
- Desmontar ruedas de los ventiladores.
- Desmontar discos de los platos de desgaste.
- Desmontar anillos del eje.

4.2.3. Instructivo de ensamblaje del pulverizador

- Montar anillos del eje.
- Montar discos de los platos de desgaste.
- Montar ruedas de los ventiladores.
- Montar chumaceras.
- Montar eje del pulverizador.
- Montar acople del eje del pulverizador.
- Montar carcasa central.
- Montar ducto de caída de carbón.
- Montar motor de pulverizador.
- Montar platos de desgaste.
- Montar anillos.
- Montar brazos rechazadores lado derecho e izquierdo.
- Montar aspas del ventilador lado derecho e izquierdo.
- Calibración de brazos rechazadores.
- Montar ventiladores.
- Limpieza de tubería de lubricación.
- Inspección de zapatas internas y externas del acople.
- Cambio de aceite.
- Montar martillos, guardas y pines.

- Montar registros del lado este y oeste.
- Montar tapaderas del lado derecho e izquierdo.

4.3. Reutilización de repuestos

Para reutilizar piezas fue necesario el establecimiento de criterios que permitieran uniformizar el proceso de mantenimiento por el todo el personal involucrado. Adicional a la reutilización de repuestos se identificó la necesidad de definir controles de inventario de herramienta para la optimización del mantenimiento.

4.3.1. Repuestos

En esta sección se detallaran los criterios de reutilización de repuestos, aplicación de técnicas de soldadura y aplicación de materiales cerámicos a piezas. A continuación el detalle de cada uno de los puntos citados con anterioridad.

4.3.1.1. Criterios de selección de repuestos usados

Es posible utilizar repuestos usados en piezas del pulverizador tales como blindajes de todas las secciones del pulverizador cuando solo poseen un desgaste del 20% de su grosor, que es de 25 milímetros el criterio anterior es proporcionado de acuerdo a la recomendación del fabricante, quien indica que hay que remover blindajes cuando poseen el 80% de su grosor o cuando posean agujeros.

Es aplicable otro criterio de reutilizar piezas de pulverizadores cuando se hacen el mantenimiento de las 100 000 toneladas debido a que existen piezas

que son simétricas y como el pulverizador es dúplex pueden ser reutilizadas en el lado opuesto del pulverizador. La parte desgastada de la pieza a reutilizar queda en el anverso de la rotación logrando prolongar la vida útil.

Realizados los mantenimientos de 50 000, 100 000, 150 000 y 200 000 toneladas durante el 2009 y 2010; fue posible evaluar el desgaste de las piezas que se cambiaron, identificando que las aspas curvas y rectas del ventilador, así como las barras que protegen las tuercas de sujeción de los tornillos de las aspas, sufren un desgaste no uniforme en la superficie de la pieza, estableciendo entonces una rotación cada 100 000 toneladas de 4 piezas del pulverizador las cuales son listadas en la tabla siguiente.

Tabla XLI. Repuestos para rotación

| Descripción pieza | Ítem fabricante | Cantidad |
|--------------------------|------------------------|-----------------|
| Aspas curvas | HL | 16 |
| Aspas rectas | HK | 16 |
| Barra para aspas rectas | HV | 32 |
| Barra para aspas curvas | HW | 32 |

Fuente: elaboración propia.

Implementando la rotación anterior, es posible ampliar el periodo de remplazo de las 4 piezas anteriores de 150 000 a 200 000 toneladas lo cual representa un beneficio económico para la planta.

4.3.1.2. Aplicación de soldadura de arco

La soldadura de arco se debe aplicar para reparar las partes estructurales del pulverizador que sufren desgastes menores y que el fabricante no tiene inventario de ellas. Durante el mantenimiento efectuado en julio del 2010 se implementó la reparación con soldadura al arco a la carcasa superior del pulverizador. El material de la carcasa superior y de la carcasa inferior es acero al carbón A-36. Durante el mantenimiento de julio del 2010 se utilizó en la soldadura un electrodo 7018 (ver en apéndice 3 la ficha técnica del electrodo 7018), el cual suelda aceros al carbono difíciles y su aplicación es para partes de maquinaria pesada, estructura en general y aditamentos para caldera.

Otro lugar donde puede aplicarse soldadura de arco utilizando electrodo 7018 es en el rotor de molienda cuyo material es acero al carbón A-36.

4.3.1.3. Aplicación de materiales cerámicos con adhesivo epóxico

El material cerámico debe utilizarse para llenar aquellos espacios ocasionados por la abrasión del carbón en las secciones de pulverizado y del ventilador del pulverizador. El criterio es aplicar material cerámico donde se identifiquen desgastes puntuales tal es el caso del desgaste que se presenta entre los espacios de los blindajes de la carcasa superior e inferior. El material cerámico brinda un acabado liso y extremadamente resistente a la abrasión. El material utilizado es el Belzona 1812 (ver en apéndice 4 la ficha técnica de Belzona 1812).

Los blindajes se cambian solo si ya tienen hoyos que no pueden repararse con un epóxico anti abrasión o bien presentan un desgaste generalizado del 80% (el grosor promedio es de 25 milímetros).

A continuación fotografía de la carcasa inferior donde se aplicó el material epóxico, se debe resaltar que las dos carcasas del pulverizador de carbón son piezas que no están en inventario y que deben mantener la integridad para evitar fugas de carbón al ambiente.

Figura 32. **Material cerámico Belzona 1812 aplicado a carcasa inferior**



Fuente: carcasa inferior del pulverizador en área de pulverizadores.

4.3.2. Herramienta

Como en planta el mantenimiento al pulverizador de carbón aún hace uso de herramientas que son de uso común, se puede dar el problema que se carezca de la disponibilidad de alguna herramienta o equipo para efectuar el mantenimiento y dada la importancia de la misma se proporciona el listado de

herramientas que deben ser revisadas con por lo menos dos meses de anticipación el cual es un tiempo prudencial para efectuar el remplazo de cualquiera de las herramientas o equipos que se encuentren dañados.

Tabla XLII. **Listado de herramienta**

| Descripción herramienta | Cantidad requerida |
|---|---------------------------|
| Polipasto de cinco toneladas | 2 |
| Carro para viga H capacidad cinco toneladas | 2 |
| Andamio | 1 |
| Grillete de cinco toneladas | 2 |
| Pistola neumática raíz de ½ pulgada | 2 |
| Pistola neumática raíz de ¼ pulgada | 2 |
| Pistola neumática raíz de 1 pulgada | 2 |
| Pulidora de disco de 12 pulgadas | 1 |
| Adaptador 1/4 - 3/8 | 1 |
| Adaptador 3/8 - ½ | 1 |
| Arco para sierra | 1 |
| Cangrejo 200 milímetros | 1 |
| Cangrejo 300 milímetros | 1 |
| Cinta métrica | 1 |
| Copa candelas raíz 3/8" medida 13/16" | 1 |
| Copa candelas raíz 3/8" medida 5/8" | 1 |
| Copa larga raíz 3/8" medida 7/8" | 1 |
| Copa raíz 1/2" medida 1 1/16" quebrada | 1 |
| Copa raíz 1/2" medida 3/8" | 1 |
| Set de copas de raíz de 1/4" | 1 |
| Set de copas de raíz de 1/2" | 1 |
| Set de copas de raíz de 3/8" | 1 |
| Extensión larga raíz de 3/8" | 1 |
| Extensión corta raíz de 1/2" quebrada | 1 |

Continuación de la tabla XLII.

| Descripción herramienta | Cantidad requerida |
|-------------------------------------|--------------------|
| Extensión corta raíz de 3/8 | 1 |
| Extensión larga raíz de 1/2" | 1 |
| Extensión raíz de 1/4" | 1 |
| Juego de copas largas raíz de 1/2" | 1 |
| Juego de copas raíz de 1/4" | 1 |
| Juego de 9 desarmadores planos | 1 |
| Juego de cinceles y puntas | 1 |
| Juego de llaves cola corona de 3/8" | 1 |
| Maneral raíz de 1/2" | 1 |
| Maneral raíz de 1/4" | 1 |
| Maneral raíz de 3/8" | 1 |
| Martillo de bola de 16 onzas | 1 |
| Reducidor de 3/8" a 1/4" | 1 |
| Reducidor de 1/2" a 3/8" | 1 |
| Unión articulada raíz de 1/2" | 1 |
| Unión articulada raíz de 3/8" | 1 |

Fuente: elaboración propia.

4.3.2.1. Control de inventario

En la actualidad no se tiene herramienta asignada específicamente para el mantenimiento del pulverizador. En cada mantenimiento se solicita a bodega de herramientas el préstamo del listado anterior. Se sugiere que esta herramienta sea asignada específicamente al pulverizador para garantizar su disponibilidad en cada mantenimiento.

Con dos meses de anticipación a cada mantenimiento, se debe hacer un requerimiento de una orden de trabajo para efectuar la revisión e inspección de

esta herramienta y si existe diferencias con el listado realizar la solicitud de compra.

La herramienta que se encuentra en mal estado debe reportarse a bodega de herramientas para su remplazo.

4.4. Análisis de costos

Los costos fueron divididos para su análisis en directos e indirectos.

4.4.1. Costos directos

Son todos aquellos costos que varían de acuerdo al tipo de mantenimiento y se agruparon en: mano de obra, herramienta y repuestos.

4.4.1.1. Mano de obra

La cuantificación de los costos de mano de obra es detallada en las tablas mostradas a continuación en la siguiente tabla.

Tabla XLIII. **Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo A**

| Mantenimiento tipo A | | | | |
|---|---|-----------------|-----------------|---------------------|
| Toneladas procesadas | 50 000, 250 000, 350 000 y 550 000 toneladas. | | | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 1 | Q 267 | Q 267 |
| Mecánico | 1 | 1 | Q 183 | Q 183 |
| Mecánico 2 (piloto) | 1 | 1 | Q 150 | Q 150 |
| Ayudantes de mecánico | 2 | 1 | Q 67 | Q 133 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 733 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo B**

| Mantenimiento tipo B | | | | |
|---|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| Toneladas procesadas | 150 000 y 450 000 toneladas. | | | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 2 | Q 267 | Q 533 |
| Mecánico | 1 | 2 | Q 183 | Q 367 |
| Mecánico 2 (piloto) | 1 | 2 | Q 150 | Q 300 |
| Ayudantes de mecánico | 2 | 2 | Q 67 | Q 267 |
| Soldador | 1 | 2 | Q 140 | Q 280 |
| Ayudante de soldador | 1 | 2 | Q 67 | Q 133 |
| Operador de grúa | 1 | 2 | Q 117 | Q 233 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 2 | Q 83 | Q 167 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 2 280 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo C**

| Mantenimiento tipo C | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|
| Toneladas procesadas | | 100 000 y 500 000 toneladas. | | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de Trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 10 | Q 267 | Q 2 667 |
| Mecánico | 2 | 10 | Q 183 | Q 3 667 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 10 | Q 150 | Q 3 000 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 10 | Q 67 | Q 2 667 |
| Soldador | 1 | 10 | Q 140 | Q 1 400 |
| Ayudante de soldador | 1 | 10 | Q 67 | Q 667 |
| Operador de grúa | 1 | 10 | Q 117 | Q 1 167 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 10 | Q 83 | Q 833 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 16 067 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVI. **Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo D**

| Mantenimiento tipo D | | | | |
|---|-----------------------|------------------------------|-----------------|---------------------|
| Toneladas procesadas | | 200 000 y 400 000 toneladas. | | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 11 | Q 267 | Q 2 933 |
| Mecánico | 2 | 11 | Q 183 | Q 4 033 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 11 | Q 150 | Q 3 300 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 11 | Q 67 | Q 2 933 |
| Soldador | 1 | 11 | Q 140 | Q 1 540 |
| Ayudante de soldador | 1 | 11 | Q 67 | Q 733 |
| Operador de grúa | 1 | 11 | Q 117 | Q 1 283 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 11 | Q 83 | Q 917 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q17 673 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo E

| Mantenimiento tipo E | | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| Toneladas procesadas | | 300 000 toneladas. | | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 12 | Q 267 | Q 3 200 |
| Mecánico | 2 | 12 | Q 183 | Q 4 400 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 12 | Q 150 | Q 3 600 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 12 | Q 67 | Q 3 200 |
| Soldador | 1 | 12 | Q 140 | Q 1 680 |
| Ayudante de soldador | 1 | 12 | Q 67 | Q 800 |
| Operador de grúa | 1 | 12 | Q 117 | Q 1 400 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 12 | Q 83 | Q 1 000 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 19 280 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. Planificación optimizada mano de obra mantenimiento tipo F

| Mantenimiento tipo F | | | | |
|---|-----------------------|--------------------|-----------------|---------------------|
| Toneladas procesadas | | 600 000 toneladas. | | |
| Detalle de mano de obra requerida | Cantidad mano de obra | Días de trabajo | Salario por día | Costo total x plaza |
| Supervisor de mantenimiento | 1 | 20 | Q 267 | Q 5 333 |
| Mecánico | 2 | 20 | Q 183 | Q 7 333 |
| Mecánico 2 (piloto) | 2 | 20 | Q 150 | Q 6 000 |
| Ayudantes de mecánico | 4 | 20 | Q 67 | Q 5 333 |
| Soldador | 1 | 20 | Q 140 | Q 2 800 |
| Ayudante de soldador | 1 | 20 | Q 67 | Q 1 333 |
| Operador de grúa | 1 | 20 | Q 117 | Q 2 333 |
| Ayudante de operador de grúa | 1 | 20 | Q 83 | Q 1 667 |
| Costo total del mantenimiento en mano de obra | | | | Q 32 133 |

Fuente: elaboración propia.

4.4.1.2. Herramienta

La herramienta utilizada en la actualidad para el mantenimiento del pulverizador de carbón es de uso común dentro de la central generadora eléctrica para los mantenimientos de planta, por lo que para el análisis de costos no será considerado.

4.4.1.3. Repuestos

La definición de nuevos mínimos y máximos trae consigo manejar el nivel óptimo de inventario dentro de la planta. A continuación se detalla la cuantificación en quetzales del nivel de inventario sugerido como inventario continuo en bodega para los mantenimientos tipo A y tipo C, para los demás inventarios que son los tipos B, D, E y F el departamento de mantenimiento debe otorgar las directrices a bodega para efectuar el pedido de los repuestos, el detalle de los repuestos a pedir están en el apéndice 2.

Tabla XLIX. **Cuantificación en quetzales inventario sugerido**

| | Kit No. | Descripción | Sección del pulverizador | Monto en inventario |
|-----------------------------------|----------------|---|---------------------------------|----------------------------|
| 1 | 11C-A137 | Martillos y guardas | MOLIENDA | Q 142 973 |
| 2 | 11C-A419 | Parrilla | | |
| 3 | 11C-A420 | Blindaje lateral interior | | |
| 4 | 11C-A411 | Plato de desgaste izquierdo | PULVERIZADO | Q 756 557 |
| 5 | 11C-A412 | Plato de desgaste derecho | | |
| 6 | 11C-A413 | Plato de desgaste interno | | |
| 7 | 11C-A414 | Blindaje periférico pulverizado izquierdo | | |
| 8 | 11C-A415 | Blindaje periférico pulverizado derecho | | |
| 9 | 11C-A416 | Blindaje lateral interior pulverizado | | |
| 10 | 11C-A417 | Quijadas fijas cámara de pulverizado | | |
| 11 | 11C-A418 | Brazos rechazadores | | |
| 12 | 11C-A406 | Blindaje ventilador izquierdo | VENTILADOR | Q 166 860 |
| 13 | 11C-A407 | Blindaje ventilador derecho | | |
| 14 | 11C-A408 | Aspas ventilador izquierdo | | |
| 15 | 11C-A409 | Aspas ventilador derecho | | |
| 16 | 11C-A410 | Blindaje periférico ventiladores | | |
| Monto total inventario optimizado | | | | Q 1 066 390 |

Fuente: elaboración propia.

Definido el inventario óptimo de repuestos, se establece la cuantificación en quetzales de cada uno de los mantenimientos del pulverizador de carbón optimizados aplicando el criterio de rotación de piezas listadas anteriormente lo cual tiene un impacto económico favorable en los mantenimientos de 150 000 y 450 000 toneladas.

Tabla L. Resumen costos optimizados por tipo de mantenimiento

| | Kit por sección | Mantto. A | Mantto. B | Mantto. C | Mantto. D | Mantto. E | Mantto. F |
|-------------------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 1 | 11C-A137 | Q 48 588 | Q 48 588 | Q 48 742 | Q 48 742 | Q 48 742 | Q 48 742 |
| 2 | 11C-A419 | Q 0 | Q 0 | Q 23 558 | Q 23 558 | Q 24 905 | Q 24 905 |
| 3 | 11C-A420 | Q 0 | Q 4 221 | Q 6 868 | Q 6 868 | Q 87 354 | Q 145 022 |
| 4 | 11C-A411 | Q 0 | Q 0 | Q 165 465 | Q 165 465 | Q 165 465 | Q 165 465 |
| 5 | 11C-A412 | Q 0 | Q 0 | Q 138 016 | Q 138 016 | Q 138 016 | Q 138 016 |
| 6 | 11C-A413 | Q 0 | Q 0 | Q 158 083 | Q 158 083 | Q 158 083 | Q 320 221 |
| 7 | 11C-A414 | Q 0 | Q 0 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 67 648 |
| 8 | 11C-A415 | Q 0 | Q 0 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 1 212 | Q 68 240 |
| 9 | 11C-A416 | Q 0 | Q 0 | Q 2 673 | Q 2 673 | Q 2 673 | Q 94 014 |
| 10 | 11C-A417 | Q 0 | Q 0 | Q 149 846 | Q 149 846 | Q 149 846 | Q 149 846 |
| 11 | 11C-A418 | Q 0 | Q 11 749 | Q 28 345 | Q 28 345 | Q 40 094 | Q 56 881 |
| 12 | 11C-A406 | Q 0 | Q 0 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 99 972 |
| 13 | 11C-A407 | Q 0 | Q 0 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 2 627 | Q 99 811 |
| 14 | 11C-A408 | Q 0 | Q 0 | Q 6 368 | Q 64 214 | Q 6 368 | Q 64 214 |
| 15 | 11C-A409 | Q 0 | Q 0 | Q 6 368 | Q 64 912 | Q 6 368 | Q 63 912 |
| 16 | 11C-A410 | Q 0 | Q 0 | Q 1 191 | Q 1 191 | Q 1 191 | Q 411 797 |
| Costo total del mantenimiento | | Q48 588 | Q 64 558 | Q 743 198 | Q 858 588 | Q 836 780 | Q 2 018 706 |

Fuente: elaboración propia.

4.4.2. Costos indirectos

Con la optimización de los niveles de inventario para cada uno de los repuestos del pulverizador según el tipo de mantenimiento se espera eliminar por completo el sobre inventario debido a la estandarización de los mantenimientos aunado a la optimización del nivel de inventario. De tener un inventario actual en monto de Q 1 677 382 se tendrá un monto en inventario de Q 1 066 390 lo cual representa una disminución en inventario del 36,42 %.

4.5. Análisis comparativo de costos

Toda mejora debe tener una medición y control lo cual para este trabajo se enfatiza en la cuantificación monetaria y/o beneficio económico que trae consigo la implementación del mantenimiento optimizado, es por ello que se realiza un análisis comparativo de costos.

4.5.1. Consideraciones del análisis de costos

Es imprescindible contar con la información del mantenimiento actual y la información del mantenimiento optimizado, para poder realizar un análisis de costos en igualdad de condiciones que refleje claramente los beneficios que trae consigo la implementación del mantenimiento optimizado.

4.5.1.1. Costos totales programa de mantenimiento actual

Los mantenimientos llevados a cabo en la planta generadora de electricidad para el pulverizador de carbón a la fecha han generado los siguientes gastos en mano de obra, repuestos y costos indirectos según el tipo de mantenimiento el cual está en función de las toneladas procesadas acumuladas. El detalle de cuantas toneladas deben considerarse para efectuar el tipo de mantenimiento es descrito a continuación.

Tabla LI. **Toneladas acumuladas para el tipo de mantenimiento**

| Tipo de mantenimiento | Toneladas acumuladas |
|-----------------------|------------------------------------|
| A | 50 000, 250 000, 350 000 y 550000. |
| B | 150 000 y 450 000 |
| C | 100 000 y 500 000 |
| D | 200 000 y 400 000 |
| E | 300 000 |
| F | 600 000 |

Fuente: elaboración propia.

Los costos de mantenimiento generados por mantenimiento del pulverizador actualmente son:

Tabla LII. **Costos de mantenimiento actual del pulverizador**

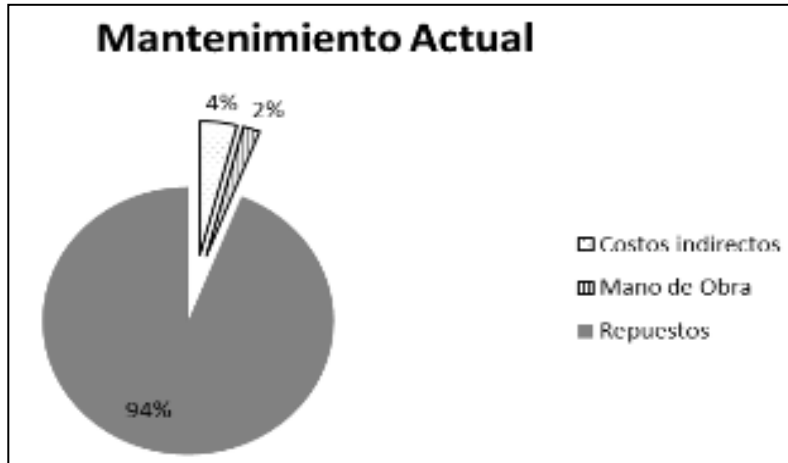
| Recursos | Tipo de mantenimiento | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------|-------------|------------|-----------|-------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Mano obra | Q 767 | Q 4 693 | Q 16 733 | Q 14 373 | Q 20 080 | Q 33 467 |
| Repuestos | Q 48 588 | Q 136 053 | Q 743 201 | Q 787 090 | Q908 275 | Q 2 018 705 |
| Sub-total | Q 49 355 | Q 140 746 | Q 759 934 | Q 801 463 | Q928 355 | Q 2 052 172 |
| Número de mantenimientos | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Totales | Q 197 420 | Q 281 492 | Q 1 519 868 | Q1 602 926 | Q 928 355 | Q 2 052 172 |

Fuente: elaboración propia.

Los costos directos en mantenimiento en un período de cuatro años asciende a un monto de Q 6 582 233 y los costos indirectos por año ascienden a Q 70 515 y en cuatro años totalizan Q 282 060.

A continuación gráfico de los costos totales de mantenimiento del pulverizador de carbón.

Figura 33. **Gráfica costos mantenimiento actual**



Fuente: elaboración propia.

4.5.1.2. **Costos totales programa de mantenimiento propuesto**

Los costos de mantenimiento a generarse en el mantenimiento propuesto al pulverizador son:

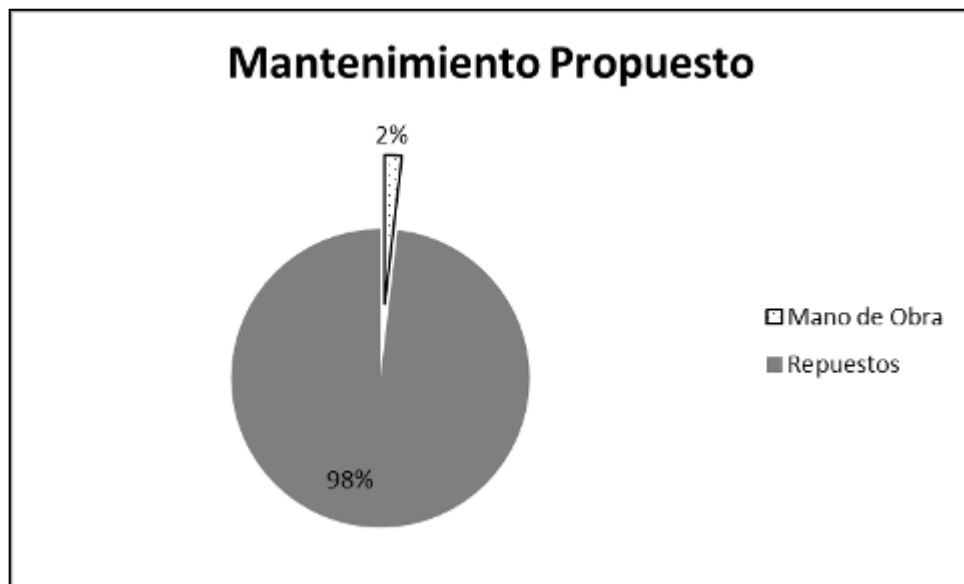
Tabla LIII. **Costos de mantenimiento optimizado del pulverizador**

| Recursos | Tipo de mantenimiento | | | | | |
|--------------------------|-----------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| | A | B | C | D | E | F |
| Mano obra | Q 733 | Q 2 280 | Q 16 067 | Q 14 373 | Q 19 280 | Q 32 133 |
| Repuestos | Q 48 588 | Q 64 558 | Q 743 198 | Q 858 588 | Q 836 780 | Q2 018 706 |
| Sub-total | Q 49 321 | Q 66 838 | Q 59 265 | Q 872 961 | Q 856 060 | Q2 050 839 |
| Número de mantenimientos | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| Totales | Q197 284 | Q 133 676 | Q1 518 530 | Q1 745 922 | Q1 712 120 | Q4 101 678 |

Fuente: elaboración propia.

Los costos directos en mantenimiento en un período de cuatro años asciende a un monto de Q 6 502 233 y los costos indirectos por año, se espera se eliminen por completo al término del 2011 debido a que se tendrá el mantenimiento tipo E el cual requiere hacer uso de repuestos que están en inventario que no deben estar. La implementación de los nuevos mínimos y máximos ayudara a tener una mejor gestión en el departamento de bodega y el seguimiento a los mismos hará bajar al mínimo los costos indirectos. A continuación gráfico de los costos totales de mantenimiento optimizado del pulverizador de carbón.

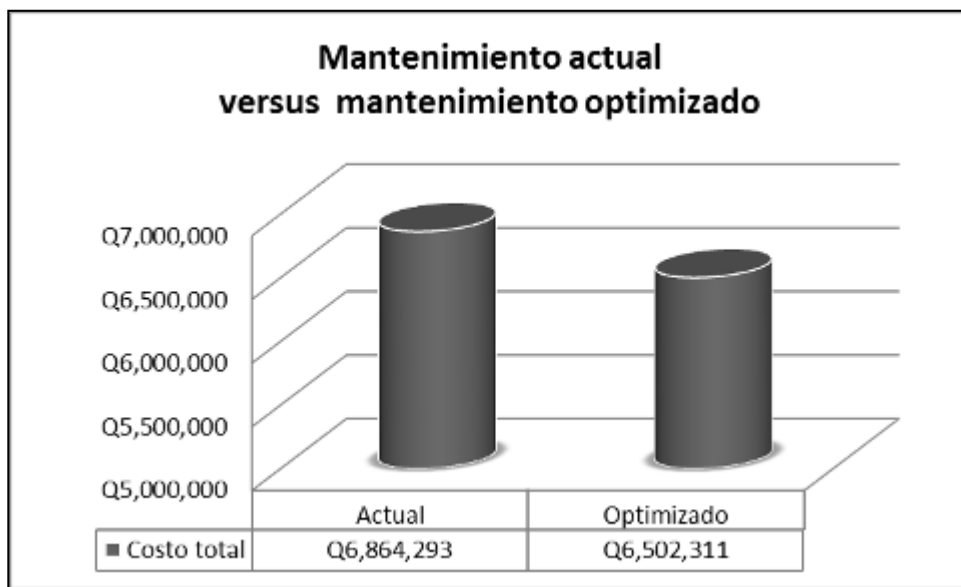
Figura 34. **Gráfica costos mantenimiento propuesto**



Fuente: elaboración propia.

Establecidos los costos totales del mantenimiento actual y el mantenimiento optimizado se presenta a continuación gráfico comparando ambos mantenimientos.

Figura 35. **Comparativo costos mantenimiento actual contra mantenimiento optimizado**



Fuente: elaboración propia.

Implementándose el programa de mantenimiento propuesto se logrará un ahorro del 5,27% en los costos totales de mantenimiento lo que se traduce en Q 361 932.

5. INSPECCIÓN Y CONTROL DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

5.1. Control de mantenimiento

Los controles utilizados para mejorar la gestión de mantenimiento son: gráficos de control y diagrama de Pareto.

5.1.1. Control del pulverizado

En los meses de noviembre y diciembre del 2010 se efectuaron dos actividades de calibración del bloque de molienda y muestreos de fineza de carbón, las actividades se hicieron en el orden que se mencionan. Para el control de la calibración del bloque de molienda se hicieron dos actividades y los resultados son:

Tabla LIV. **Calibración del bloque de molienda**

| Pulverizador de carbón | | | | 1 A | | | |
|---|-------------|-----------------------------|-----|---------------------------|-----|----------------------|-------------------------------------|
| Valor mínimo de ajuste de profundidad del bloque de molienda: | | | | 82 milímetros | | | |
| Fecha | Tipo Carbón | Lado izquierdo Pulverizador | | Lado derecho pulverizador | | Responsable: | Totalizador alimentador de carbón A |
| 03/11/2010 | CMC | 110 | 110 | 110 | 110 | Mecánico cuadrilla A | 414 287 |
| 01/12/2010 | CMC | 101 | 101 | 105 | 105 | Mecánico cuadrilla E | 432 287 |

Fuente: elaboración propia.

Posterior a la realización de las calibraciones del bloque de molienda del pulverizador de carbón 1A se realizaron los muestreos de carbón pulverizador para determinar la fineza del carbón enviado a caldera.

Tabla LV. **Resultados fineza de carbón evaluación 1**

| Pulverizador en evaluación | | 1 A | Fecha análisis | 04/11/2010 |
|----------------------------|--------|--------|----------------|------------|
| Tamaño del Tamiz | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Tubo 4 |
| Tamiz <50 | 1 | 0,8 | 0,6 | 0,4 |
| Tamiz >200 | 67,2 | 75,6 | 70 | 75,2 |
| Total muestra (gr) | 842 | 693,1 | 711,7 | 673,6 |
| % flujo de carbón por Tubo | 28,83 | 23,73 | 24,37 | 23,07 |
| Distribución carbón lado | | 52,56 | | 47,44 |

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos del tamiz 200 indican un buen desempeño del pulverizador debido a que los tubos 2, 3 y 4 alcanzan a cumplir el criterio del fabricante el cual indica que de la muestra analizada por tubo el 75 % de la muestra debe haber quedado en el tamiz 200. El tubo 1 no cumple el criterio sin embargo no es posible efectuar otro ajuste en el bloque de molienda ya que se efectuó el día 3 de noviembre.

A continuación resultados de la actividad de análisis de fineza de carbón pulverizado realizado el 2 de diciembre del 2010:

Tabla LVI. **Resultados fineza de carbón evaluación 2**

| Pulverizador en evaluación | | 1 A | | Fecha análisis | 02/12/2010 |
|----------------------------|--------|--------|--------|----------------|------------|
| Tamaño del Tamiz | Tubo 1 | Tubo 2 | Tubo 3 | Tubo 4 | |
| Tamiz <50 | 1 | 0,8 | 1 | 0,6 | |
| Tamiz >200 | 68,6 | 75,8 | 684 | 75,6 | |
| Total muestra (gr) | 808,1 | 672,7 | 727,9 | 576,2 | |
| % flujo de carbón por tubo | 29,02 | 24,16 | 26,14 | 20,69 | |
| Distribución carbón lado | | 56,17 | | 46,83 | |

Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos del tamiz 200 indican un buen desempeño del pulverizador 1A, debido a que los tubos 2 y 4 alcanzan a cumplir el criterio del fabricante el cual indica que de la muestra analizada por tubo el 75 % de la muestra debe haber quedado en el tamiz 200. Los tubos 1 y 3 no cumplen el criterio, sin embargo, no es posible efectuar otro ajuste en el bloque de molienda ya que se efectuó el día 1 de diciembre.

5.1.1.1. **Gráficos de control**

Resulta necesario tener gráficos de control de las variables que se están midiendo como lo son: desgaste del bloque de molienda y fineza del carbón pulverizado. Las dos variables anteriores tienen variaciones estables en el tiempo, lo cual servirá para identificar inestabilidad de la operación del pulverizador e identificar las circunstancias que lo causan. La finalidad de implementar el gráfico de control es reducir la variación pudiendo identificar variaciones del proceso y con ello buscar las causas y tomar medidas correctivas.

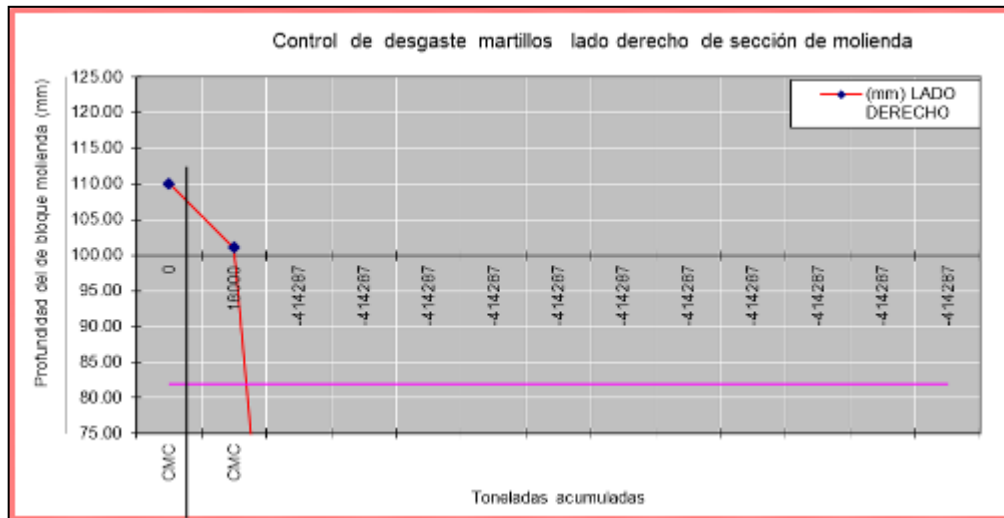
El gráfico de control del desgaste de bloque de molienda tiene como línea central o límite de control los 82 milímetros que es el mínimo ajuste de

profundidad que puede alcanzar el bloque de molienda. El alcanzar el nivel mínimo en el bloque de molienda es un indicativo que se necesitan remplazar los martillos del pulverizador de carbón por lo que el gráfico se nombrar como control de desgaste de martillos. Dentro del gráfico de control se agregó una línea central indicando las toneladas molidas según el período en que se efectuó la graduación del bloque de molienda.

El gráfico de control del análisis de fineza de carbón pulverizado tiene como límite central o límite de control el valor porcentual de 75, debido a que el fabricante indica que de la muestra recolectada en el tubo muestreado es ese porcentaje el que debe quedarse en el tamiz 200, para calificar como eficiente el pulverizador de carbón.

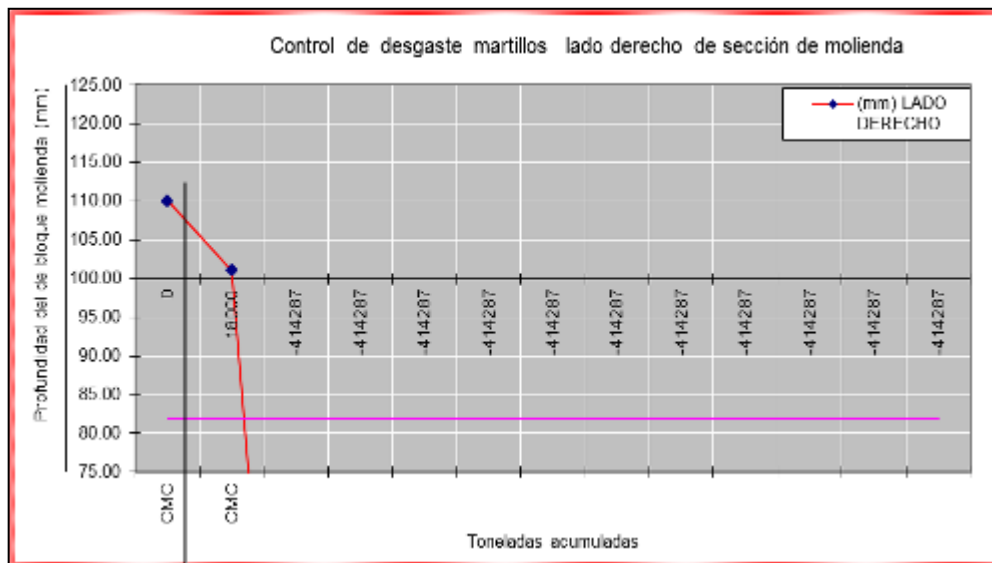
Se muestran a continuación como quedan los gráficos de control de las calibraciones del bloque de molienda de acuerdo a las dos corridas efectuadas en noviembre y diciembre del 2010. Como el pulverizador de carbón posee dos bloques de molienda es necesario tener dos gráficos de control.

Figura 36. **Control de desgaste martillos lado izquierdo**



Fuente: elaboración propia.

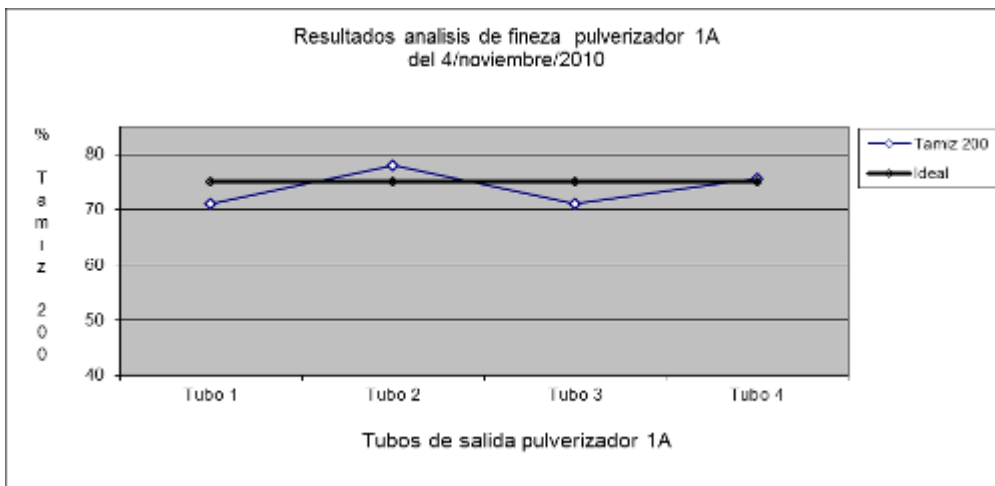
Figura 37. **Control de desgaste martillos lado derecho**



Fuente: elaboración propia.

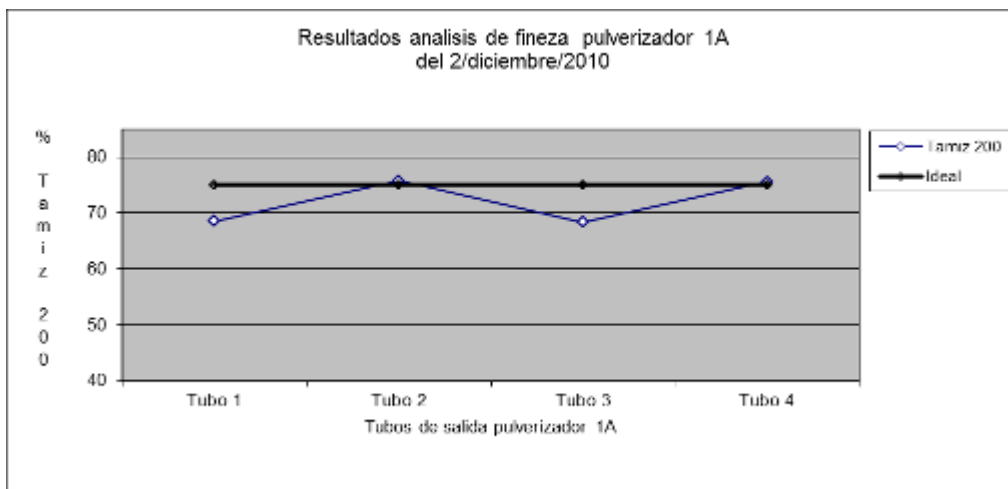
A continuación los gráficos de control de los análisis de fineza de carbón pulverizado efectuados el 4 de noviembre y 2 de diciembre del 2010.

Figura 38. **Análisis de fineza pulverizador 1A del 04-11-2010**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Análisis de fineza pulverizador 1A del 02-12-2010**



Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Diagrama de Pareto

Como herramienta para identificar causas vitales que incidan en la indisponibilidad del pulverizador se sugiere aplicar el diagrama Pareto el cual es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema, es útil para identificar cuáles son los aspectos a priorizar y darles una solución. El fundamento del diagrama Pareto parte de considerar que un pequeño porcentaje de las causas, el 20 %, producen la mayoría de los efectos, el 80 %.

Es entonces útil identificar ese pequeño porcentaje de causas vitales para actuar en orden de prioridad.

Para aplicar el diagrama Pareto a problemas que incidan en la disponibilidad del pulverizador es necesario seguir los nueve pasos listados a continuación:

- Determinar el problema o efecto a estudiar.
- Problema a estudiar: Indisponibilidad del pulverizador.
- Investigar los factores o causas que provocan el problema y como recoger los datos referentes a ellos.

Ejemplo: alta vibración, temperatura, fugas de carbón, etc.

- Anotar la magnitud de cada factor.
Ejemplo: número de horas de indisponibilidad causadas.
- Ordenar los factores de mayor a menor en función de la magnitud de cada uno de ellos.

Ejemplo: para el pulverizador el factor mayor es el que cause más horas de indisponibilidad.

- Calcular la magnitud total del conjunto de factores.
Ejemplo: determinar la cantidad total de horas que estuvo indisponible el pulverizador.
- Calcular el porcentaje total que representa cada factor, así como el porcentaje acumulado.
El porcentaje total se calcula: $(\text{magnitud del factor} / \text{magnitud total de los factores}) \times 100$
El porcentaje acumulado para cada uno de los factores se obtiene sumando los porcentajes de los factores anteriores de la lista más el porcentaje del propio factor del que se trate.
- Dibujar dos ejes verticales y un eje horizontal. Situar en el eje vertical izquierdo la magnitud de cada factor. La escala del eje debe estar comprendida entre cero y la magnitud total de los factores. En el eje derecho se representan el porcentaje acumulado de factores, por tanto, la escala es de cero a 100. El eje horizontal muestra los factores empezando por el de mayor importancia.
- Se deben trazar las barras correspondientes de cada factor. La altura de la barra representa su magnitud por medio del eje vertical izquierdo.
- Se debe presentar un gráfico lineal que representa el porcentaje acumulado anteriormente. El gráfico lineal lo rige el eje vertical derecho.

5.1.2. Control de paros

Para que la ejecución del mantenimiento al pulverizador de carbón sea eficiente, se debe hacer el mantenimiento en el menor costo y tiempo posible sin desperdiciar recursos materiales ni humanos.

Se hace necesario proyectar los mantenimientos a realizarse en el periodo 2011-2013 lo cual alcanzara el mantenimiento de las 600 000 toneladas

Tabla LVII. **Control de paros o reparaciones período 2011-2013**

| Tipo de Mantenimiento | Toneladas molidas (miles) | Revisar inventario con 6 meses de anticipación del mantenimiento | Mes y año de la Reparación | Presupuesto necesario | Tiempo para su ejecución (días de 10 horas) |
|-----------------------|---------------------------|--|----------------------------|-----------------------|---|
| A | 250 | No aplica | Abril / 2011 | Q 49 355 | 1 |
| E | 300 | SI aplica | Agosto / 2011 | Q 928 355 | 12 |
| A | 350 | No aplica | Diciembre / 2011 | Q 49 355 | 1 |
| D | 400 | No aplica | Abril / 2012 | Q 801 463 | 11 |
| B | 450 | Si aplica | Agosto / 2012 | Q 140 746 | 3 |
| C | 500 | No aplica | Diciembre / 2012 | Q 759 934 | 10 |
| A | 550 | No aplica | Abril / 2013 | Q 49 355 | 1 |
| F | 600 | SI | Agosto / 2013 | Q 2 052 172 | 20 |

Fuente: elaboración propia.

Con la información anterior el gerente de mantenimiento tendrá información para poder gestionar y proyectar el presupuesto del pulverizador de carbón del 2011 hasta el 2013.

5.1.3. Control de órdenes de trabajo

Las órdenes de trabajo a efectuar deben ayudar a definir, asignar, controlar y monitorear las actividades de mantenimiento que se realicen al pulverizador de carbón, también deben brindar información para establecer un historial/registros de los trabajos específicos desarrollados.

Se define que las órdenes de trabajo pueden originarse por solicitudes de mantenimiento para reparar fallas o por mantenimientos programados según el tipo.

Para las órdenes de trabajo a plantear es necesario considerar la siguiente información: el detalle del activo y fechas involucrados, la clase de la orden de trabajo, el equipo de trabajo responsable, la prioridad y descripción del trabajo, las actividades específicas a realizar, el personal involucrado, los servicios y trabajos externos, los procedimientos utilizados, los tiempos y los costos totales, entre otros.

Para completar la información requerida en las órdenes de trabajo debe conocerse que es exactamente lo que se requiere y la información se define a continuación:

- El estatus de la orden de trabajo define el momento de la creación, planificación o ejecución en el que se encuentra. Es muy importante para su seguimiento.
- El tipo de orden de trabajo ayudará a conocer la cantidad de emergencias, correctivos y preventivos realizados y a direccionar los costos en cada caso.

Se define el formato de la información necesaria que deben llevar los ordenes de trabajo a definir para los seis tipos de mantenimiento del pulverizador de carbón y para los ordenes de trabajo correctivos de fallas.

Figura 41. **Formato de registro orden de trabajo**

| ORDEN DE TRABAJO | | | | | Página 1 de 2 | |
|---|--------------------------|--------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|--|
| Planta: | | Area/Departamento: | | | | |
| Fecha programada: | | | Clase OT: | | # OT: | |
| Descripción Equipo: | | | | | Criticidad de equipo: | |
| # Solic. Mantto/ Rep. Falla: | | | | Prioridad Solic. Mantto/ OT: | | |
| Descripción Solic. Mantto / Re. Falla: | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Status OT: | General: | | | | | |
| Tareas a realizar / Realizadas: | | | Hora inicio | Hora Final | | |
| 1 | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| 2 | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| 3 | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| 4 | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| 5 | <input type="checkbox"/> | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Tarea final: Dejar el área de trabajo ordenada y limpia | | | | | | |
| MANO DE OBRA | | | | | | |
| Correlativo | Nombre: | Hrs. Estimadas | Horas reales | | Fecha: | |
| | | | Hrs. Ordinarias | Hrs. Extras | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| REPUESTOS / MATERIALES | | | | | | |
| Item fabricante | Descripción | Cantidad Requerida | Unidad de medida | Costo (Q) | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Continuación de la figura 41.

| Página 2 de 2 | | | | |
|---|---------------------|---------------------------|------------------|-----------------|
| HERRAMIENTAS / EQUIPOS ESPECIALES | | | | |
| Código | Descripción | Cantidad requerida: | | |
| | | | | |
| | | | | |
| HERRAMIENTAS / EQUIPOS ESPECIALES | | | | |
| Código | Descripción | Cantidad requerida: | | |
| | | | | |
| | | | | |
| MISCELANEOS: Servicios, Trabajos y Asesorías Externas / Otros Gastos | | | | |
| Descripción | Proveedor / Empresa | Costo Real (Q) | | |
| | | | | |
| | | | | |
| PROCEDIMIENTOS OPERATIVOS Y DE SEGURIDAD, DIBUJOS Y DIAGRAMAS | | | | |
| | | | | |
| COMENTARIOS / OBSERVACIONES | | | | |
| | | | | |
| TIEMPOS | | | | |
| Tiempo muerto (Min/Hrs.): | Razón (es) | Hr. Inicio Mantto: | Hr. Fin Mantto.: | |
| | | | | |
| | | | | |
| COSTOS TOTALES (Q) | | | | |
| Repuestos y materiales | Mano de obra: | Miscelaneos: | Otros: | Gran total (Q): |
| | | | | |
| Supervisa el trabajo: | | Recibe el trabajo: | | Fecha: |
| Nombre: | Firma: | Nombre: | Firma: | |

Fuente: elaboración propia.

El completar la información del formato de reportes de falla y del formato de orden de trabajo definitivamente aportara información valiosa respectos a los mantenimientos a realizar al pulverizador de carbón.

Para cada una de las ejecuciones de órdenes de trabajo se deben considerar efectuarlas considerando los riesgos que conlleva realizarlas, para ello es necesario listar cada uno de los riesgos e implementar una equipo de protección personal. Los riesgos al realizar el mantenimiento al pulverizador de carbón son listados a continuación, junto el equipo de protección personal para minimizar el riesgo:

Tabla LVIII. Equipo de protección personal requerido

| Riesgos potenciales | Equipo de protección personal |
|---|---|
| Salpicadura de partículas en los ojos | Lentes de seguridad |
| Cortes en las manos. | Guantes de cuero. |
| Caída de objetos en los pies y cabeza. | Zapatos punta de acero y casco. |
| Polvo de carbón en el ambiente. | Mascarilla para partículas |
| Ruido generado por herramienta Neumática a utilizar. | Tapones auditivos |
| Caídas de andamio a utilizar. | Arnés de seguridad |
| Quemaduras por chispas de soldadura según se utilice. | Lentes para soldadura, mangas y careta facial |

Fuente: elaboración propia.

5.2. Inspección del mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo estará basado en rutinas diarias que incluyen directrices para la verificación o chequeo de equipo en los puntos críticos del pulverizador de carbón. Cada una de las directrices está definida en la rutina sugerida.

5.2.1. Rutinas diarias

Se deben realizar diariamente inspecciones de la operación del pulverizador de carbón debido a la periodicidad de tiempo de trabajo la cual es de 24 horas al día. Las inspecciones se sugiere hacerlas por el mecánico en turno. Dentro de las comprobaciones diarias más importantes que se tienen que realizar están:

- Comprobar si existen fugas de carbón en la periferia del pulverizador.
- En el rotor del pulverizador comprobar la presencia de ruidos extraños o vibraciones.
- Inspeccionar el sistema de lubricación del pulverizador y asegurar su funcionamiento.
- Verificar si existe calor excesivo en alguna de las cubiertas del pulverizador.
- Verificar el funcionamiento de los cojinetes del alimentador de carbón del pulverizador identificando ruidos extraños o vibraciones de los mismos.
- Revisar en las cuatro mirillas del alimentador de carbón el estado de la banda del alimentador.
- Verificar el estado de los cuatro tubos de salida del pulverizador en búsqueda de fugas. Se debe hacer una inspección desde la salida del pulverizador hacia los quemadores de caldera.

5.2.1.1. Fichas de chequeo de equipo

El establecimiento de una rutina diaria de inspección al pulverizador de carbón para asegurar el buen funcionamiento del mismo hace necesaria la implementación de una ficha de chequeo de equipo que permita al ingeniero de mantenimiento llevar un control de la actividad implementada. Las Inspecciones a realizar por los mecánicos de planta deben ser registradas en el formato de control de rutina diaria.

Tabla LIX. **Formato rutina de inspección diaria al pulverizador de carbón**

| Planta Generadora | | RUTINA DIARIA DEPARTAMENTO DE MANTENIMIENTO | | |
|--|-------|--|----------------------------|----------------|
| Instrucciones: | | | | |
| El mecanico en turno debe realizar una inspección diaria al pulverizador de carbón revisando los puntos listados en la parte inferior. Debe llenar el formato de control de la inspeccion diaria ubicado en oficina de mecánicos llenando toda la información allí requerida. | | | | |
| 1. Comprobar si existen fugas de carbón en la periferia del pulverizador. 2. En el rotor del pulverizador comprobar la presencia de ruidos extraños o vibraciones. 3. Inspeccionar el sistema de lubricación del pulverizador y asegurar su funcionamiento. 4. Verificar si existe calor excesivo en alguna de las cubiertas del pulverizador. 5. Verificar el funcionamiento de los cojinetes del alimentador de carbón del pulverizador identificando ruidos extraños o vibraciones de los mismos. 6. Revisar en las cuatro mirillas del alimentador de carbón el estado de la banda del alimentador. 7. Verificar el estado de los cuatro tubos de salida del pulverizador en búsqueda de fugas. Se debe hacer una inspección desde la salida del pulverizador hacia los quemadores de caldera. | | | | |
| Fecha Inspección | Turno | Nombre del mecánico | Condición del pulverizador | Observaciones: |
| 1/1/2011 | Día | | | |
| 1/1/2011 | Noche | | | |
| 2/1/2011 | Día | | | |
| 2/1/2011 | Noche | | | |

Fuente: elaboración propia.

El formato de control final debe llevar el correlativo de los días del mes en curso para tener registros centralizados lo cual permite un mejor mantenimiento.

5.2.2. Inspecciones programadas

Los mantenimientos a efectuar al pulverizador de carbón brindarán la oportunidad de poder inspeccionar la integridad de las piezas que no serán remplazadas según el programa de mantenimiento. Las inspecciones al pulverizador de carbón deben ejecutarse en conjunto con los mantenimientos a desarrollar y de ser necesario efectuar las reparaciones necesarias aplicando la técnica de soldadura al arco o materiales cerámicos con adhesivo epóxico en aquellas piezas que han sufrido alta abrasión.

A continuación se lista el programa de las inspecciones a efectuar en el período de abril 2011 a agosto del 2013.

Tabla LX. **Inspecciones programadas por tipo mantenimiento**

| Tipo de Mantenimiento | Toneladas molidas (miles) | Sección del pulverizador a Inspeccionar | Programación de la inspección por mes y año de la reparación |
|-----------------------|---------------------------|---|--|
| A | 250 | Molienda | Abril / 2011 |
| E | 300 | Molienda, pulverizado y ventilador | Agosto / 2011 |
| A | 350 | Molienda | Diciembre / 2011 |
| D | 400 | Molienda, pulverizado y ventilador | Abril / 2012 |
| B | 450 | Molienda, pulverizado y ventilador | Agosto / 2012 |
| C | 500 | Molienda, pulverizado y ventilador | Diciembre / 2012 |
| A | 550 | Molienda | Abril / 2013 |
| F | 600 | Molienda, pulverizado y ventilador | Agosto / 2013 |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. La disponibilidad del pulverizador fue posible incrementarla mediante la modificación efectuada al mantenimiento tipo B, la cual consistió en la rotación de los cuatro repuestos de la sección del ventilador identificados como: aspas curvas y aspas rectas del ventilador como las barras protectoras de los tornillos que sujetan a ambas aspas. Con la optimización realizada fue posible disminuir de 4 días de trabajo a 2 días de trabajo para el mantenimiento tipo B, lo cual representa una mayor disponibilidad para el pulverizador traducido en mayor tiempo efectivo de operación.
2. El mejorar la gestión de mantenimiento llevada a cabo en la central generadora de energía eléctrica se traducirá en un ahorro del 5,27 % del costo total del mantenimiento en el período del 2011 al 2013, lo cual es equivalente a Q 361 932. El ahorro descrito fue posible mediante la implementación de mejoras en las áreas de: control de inventarios, alcance del mantenimiento, estandarización de instructivos de trabajo, registros de mantenimiento y una mejora en la planificación en general del mantenimiento.

3. La implementación de soldadura al arco y el uso de materiales cerámicos contribuyó a la prolongación de la vida útil de algunas piezas clave del pulverizador de carbón durante el mantenimiento efectuado en julio del 2010. Específicamente el uso de soldadura al arco contribuyo a la restauración de la carcasa superior del pulverizador, la cual es una pieza que no es de inventario en planta y que el fabricante no contempla su deterioro por lo que tampoco tiene en venta la misma.
4. Con la inclusión de las rutinas diarias establecidas para el pulverizador de carbón se espera brindar una herramienta de control al Departamento de Mantenimiento, que permita detectar a tiempo anomalías en el funcionamiento del equipo lo cual traerá consigo que no se hagan mantenimientos correctivos inesperados. En complemento a las rutinas diarias se estableció un programa de inspecciones para el período 2011 al 2013, con el que se espera generar información valiosa que permita adelantarse a fallas inesperadas.
5. La implementación de los gráficos de control en la tarea de ajuste del bloque de molienda trajo consigo la reducción de variación del proceso, permitiendo generar tendencias que son fáciles de interpretar y facilitan la toma de una acción correctiva de la tarea.
6. Tras haber realizado una comparación económica del mantenimiento actual con el mantenimiento propuesto se determina que los costos de mantenimiento del pulverizador de carbón del periodo 2011 al 2013 serán menores en un 5,27 % al mantenimiento actual; lo cual hace factible económicamente la implementación de las mejoras planteadas.

7. Una vez se identificaron los riesgos de las tareas que deben ejecutarse para la realización de los trabajos de mantenimiento del pulverizador fue fácil definir el equipo de protección personal para trabajar en un marco de seguridad. El equipo de protección personal básico se definió por los riesgos potenciales los cuales pueden ser: cortes en las manos, caída de objetos pesados, partículas en suspensión en el aire, caídas de andamios y quemaduras.

RECOMENDACIONES

1. Se identificó con el fabricante una nueva metalurgia para repuestos tales como martillos y guardas, indicando que esta nueva metalurgia es más resistente a la abrasión del carbón. La vida útil de los repuestos en mención tendrán una vida útil 3 veces mayor a la actual indica el fabricante. Por lo anterior se sugiere evaluar la compra de los repuestos de la nueva metalurgia que tendrá beneficios en: mayores tiempos de operación del pulverizador, mayor producción de energía eléctrica y ahorros en mano de obra por menor cantidad de mantenimientos del tipo A.
2. Extender la evaluación de control de inventarios de bodega ya que se identifica un gasto en repuestos por encima de los niveles máximos establecidos que está generando un costo a la empresa anualmente.
3. Realizar un seguimiento periódico a las piezas del pulverizador de carbón que han sido reparadas con la técnica de soldadura al arco para generar las acciones correctivas que correspondan y evitar fallas inesperadas.
4. Elaborar un presupuesto de mantenimiento del pulverizador de carbón considerando el programa de mantenimiento propuesto para el período 2011 al 2013 y así maximizar los recursos económicos en el tiempo.

5. Dar a conocer a las personas involucradas en el desarrollo de las tareas de calibración del bloque de molienda, los controles estadísticos de la tarea para que identifiquen el valor que genera la tarea que hacen; y con esto obtener el compromiso de todos los involucrados.
6. Elaborar un plan de seguimiento a las mejoras planteadas en este trabajo para asegurar la disminución de uso de recursos que traen consigo el beneficio económico.
7. Considerar en cada una de las órdenes de trabajo que se generen para mantenimiento de los equipos en planta, la inclusión de la sección de seguridad que tome en cuenta el equipo de protección personal que debe utilizarse y los procedimientos de seguridad para la puesta fuera de servicio de los equipos que ameriten y así lograr tener un marco de trabajo seguro el cual es el valor número uno de la compañía.

BIBLIOGRAFÍA

1. DOUNCE VILLANUEVA, Enrique. *La administración en el mantenimiento*. 2a ed. México: Continental, 1997. 880 p.
2. GRIMALDI, John V.; ROLLIN H. Simonds. *La seguridad industrial, su administración*. 2a ed. México: Alfaomega, 1996. 720 p.
3. Industrial Management & Consulting. *Seminario gestión estratégica del mantenimiento de clase mundial*. Guatemala: 2007. 150 p.
4. *Manual de entrenamiento pulverizador Atrita 558 Dúplex*. Estados Unidos de Norteamérica: DB Riley, 1998. 120 p.
5. *Manual de partes pulverizadores Atrita*. Estados Unidos de Norteamérica: DB Riley, 1977. 225 p.
6. Riley Power, *Seminario usuarios atrita*. Estados Unidos de Norteamérica, 2006. 198 p.
7. Storm Technologies, *Seminario de combustión*. Estados Unidos de Norteamérica, 2006. 334 p.

APÉNDICES

Apéndice 1 Procedimiento muestro de carbón pulverizado

Propósito

Al realizar este procedimiento podemos obtener los siguientes datos:

- Conocer el flujo de carbón de los tubos del pulverizador
- Conocer la relación aire/combustible que posee el sistema de combustión:
- Relación existente en un tubo particular
- Relación existente en un pulverizador
- Relación existente en un quemador específico
- Conocer la velocidad de aire primario para la combustión.
- Conocer el balance de aire primario y carbón entre tubos de un pulverizador.
- Conocer la temperatura y la presión estática de cada tubo de carbón.
- Obtener una muestra representativa de carbón para el análisis de fineza del carbón pulverizado.

Alcance

Este procedimiento se aplica únicamente para muestrear el carbón pulverizado, específicamente en los tubos de carbón pulverizado de los pulverizadores.

Tiempo estimado procedimiento: 5 horas.

Definiciones

- Prueba de aire de mezcla: prueba que está formada por la prueba de aire limpio y prueba de aire sucio.
- Prueba de aire limpio: prueba para determinar la temperatura y presión estática del flujo de aire primario en cada tubo del pulverizador.
- Prueba de aire sucio: prueba para determinar la tasa de muestreo isocinético.
- Isocinético: a igual velocidad.

Descripción del equipo a utilizar en el procedimiento

Sonda de aire limpio:

Esta sonda está provista de dos conectores, en los cuales se conecta el termómetro y el manómetro digital. Esta sonda se utiliza para la prueba de aire limpio.

Sonda de prueba de aire sucio y sonda de muestreo de carbón:

La sonda de prueba de aire sucio tiene dos entradas para el lado de alta y baja presión, esta sonda se utiliza para realizar la prueba de aire sucio. La sonda para muestreo de carbón es la que se utiliza para recolectar la muestra de carbón pulverizado de cada tubo del pulverizador.

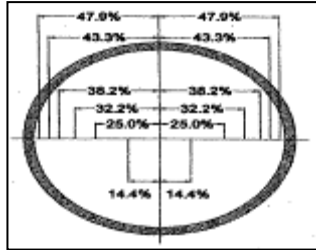
Las sondas para el aire sucio y para muestreo de carbón tienen unas marcas distribuidas equitativamente a lo largo de cada sonda, estas longitudes van de acuerdo al código ASME para el desarrollo de pruebas en ductos circulares a continuación se ejemplifica un caso:

| Diámetro a | 4" & 5" | 6" & 7" | 8" & 9" | 10" & 11" | 12" & > |
|------------|---------|---------|---------|-----------|---------|
| 1 | 0.25 | 0.204 | 0.176 | 0.157 | 0.144 |
| 2 | 0.432 | 0.352 | 0.305 | 0.273 | 0.25 |
| 3 | | 0.456 | 0.395 | 0.352 | 0.322 |
| 4 | | | 0.467 | 0.417 | 0.382 |
| 5 | | | | 0.474 | 0.433 |
| 6 | | | | | 0.479 |

Ejemplo: Se desea analizar el flujo de aire en el tubo del pulverizador la cual posee un diámetro interno de 14", se deberá insertar la sonda completamente en la tubería hasta donde tope la sonda y marcar este punto en la sonda como punto 1. Luego se mide la longitud del conector, el niple, el espesor del tubo del pulverizador y la válvula de bola, este será el punto 2 el cual es medido desde la punta de la sonda y debe ser marcado. La distancia entre las dos marcas tendrá que ser muy cercana al diámetro del tubo del pulverizador. Luego debemos encontrar el centro de dicha distancia (entre los dos puntos antes marcados) y marcar la sonda de la siguiente manera:

- 14" diámetro interno del tubo del pulverizador.
- Según tabla el primer punto es, $14 \times 0,144 = 2,016$, esta distancia será marcada del centro de la sonda hacia sus dos extremos.
- Luego el segundo punto es, $14 \times 0,25 = 3,5$, esta es la distancia a la cual estará el segundo punto, y así sucesivamente los seis puntos que tenemos que marcar en la sonda de prueba.

Marcas para muestreo en tubo que lleva el flujo de carbón.



Conectores:

Se instalan en los 2 Puertos del tubo del pulverizador a muestrear.

Manómetro inclinado:

Instrumento de medición que se utiliza para medir diferencial de presión y obtener la velocidad del flujo de aire. Este instrumento se utiliza tanto para la prueba de aire sucio como para el muestreo de carbón pulverizado.

Termómetro digital:

Se utiliza para obtener la lectura de temperatura del flujo de aire en el tubo del pulverizador. Este termómetro digital se debe de conectar a la sonda de prueba de aire limpio.

Manómetro digital:

Se utiliza para obtener la lectura de presión estática del flujo de aire en el tubo del pulverizador. Este manómetro digital se debe de conectar a la sonda de prueba de aire limpio.

Mangueras de conexión de alta y baja presión:

Mangueras flexibles que son utilizadas para ser conectadas en el lado de alta y baja presión del manómetro inclinado, así como también en la sonda de prueba de aire sucio o el niple.

Recipiente de recolección de muestra:

Recipiente de vidrio roscado, el cual va conectado al montaje de recolección de muestra de carbón pulverizado.

Bolsas de plástico:

Se utilizan para guardar la muestra de carbón pulverizado, recolectada.

Filtro de fibra de vidrio:

Se utiliza para filtrar el aire que es expulsado por el eyector.

Pistola para soplear:

Esta se utiliza para soplar aire comprimido para la limpieza de las mangueras de conexión de alta y baja presión.

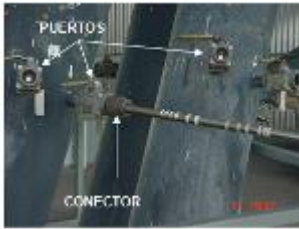
Mazo de hule, desarmador plano y Philips, y cronómetro: Equipo utilizado para auxiliarnos al momento de realizar el procedimiento.

A continuación fotografías de los equipos listados anteriormente:

Sondas a utilizar



Puertos en tubería y conector a usar



Termómetro digital



Manómetro digital



Mangueras de alta y baja presión



Filtro de fibra de Vidrio



Frasco de recolección muestra



Manómetro Inclinado



Pistola para soplear



Mazo de hule



Resumen del procedimiento

El procedimiento para el muestreo de carbón método isocinético consiste en dos procedimientos: el procedimiento de aire de mezcla y el muestro del carbón pulverizado. Primero se realiza el procedimiento de aire de mezcla, el cual se subdivide en dos pruebas, la prueba aire limpio y la prueba de aire sucio. En la prueba de aire limpio encontramos la temperatura y presión estática de cada tubo del pulverizador. En la prueba de aire sucio encontramos la presión en distintos puntos del tubo del pulverizador. Por medio de los datos obtenidos de la prueba del aire limpio y la prueba de aire sucio, obtenemos un diferencial de presión en cada tubo, el cual nos va a permitir aproximar la velocidad de recolección de muestra en la punta de la sonda de muestreo de carbón con la velocidad que se maneja en el tubo del pulverizado, es por esto que esta prueba se le llama método isocinético.

Procedimientos

- ✓ Procedimiento de aire de mezcla
- ✓ Procedimiento de prueba aire limpio

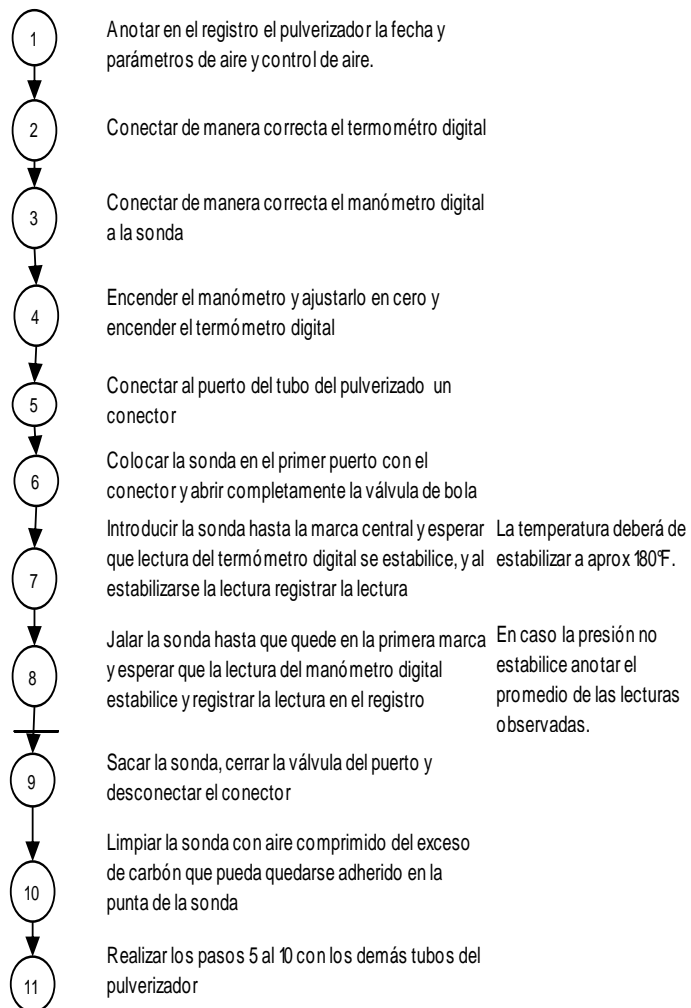
Procedimiento de aire limpio:

Equipo a utilizar

- La sonda para la prueba de aire limpio
- Termómetro y manómetro digital
- 2 conectores
- Pistola y manguera para aire comprimido

DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO

| | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Descripción: | Procedimiento de aire limpio | Fecha: | 10/11/2010 |
| Método: | Actual | Inicia: | Área muestreo pulverizadores |
| Equipo: | Tubos de muestra | Finaliza: | Tubo número 12 de muestreo carbón |
| Elaborado: | Kristopher Paredes | No. hoja: | 1/1 |



Resumen del diagrama de operaciones procedimiento de aire limpio

| RESUMEN | | |
|------------------|----------------|-----------------|
| ACTIVIDAD | SIMBOLO | CANTIDAD |
| Operaciones | ○ | 11 |
| Total: | | 11 |

Procedimiento de aire sucio

Equipo a utilizar

- Manómetro inclinado
- Mangueras para conexión de alta y baja presión
- Sonda para prueba aire sucio
- Pistola para sopletear

DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO

| | | | |
|---------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Descripción: | Procedimiento de aire sucio | Fecha: | 10/11/2010 |
| Método: | Actual | Inicia: | Área muestreo pulverizadores |
| Equipo: | Tubos de muestra | Finaliza: | Tubo número 12 de muestreo carbón |
| Elaborado: | Kristopher Paredes | No. hoja: | 1/2 |

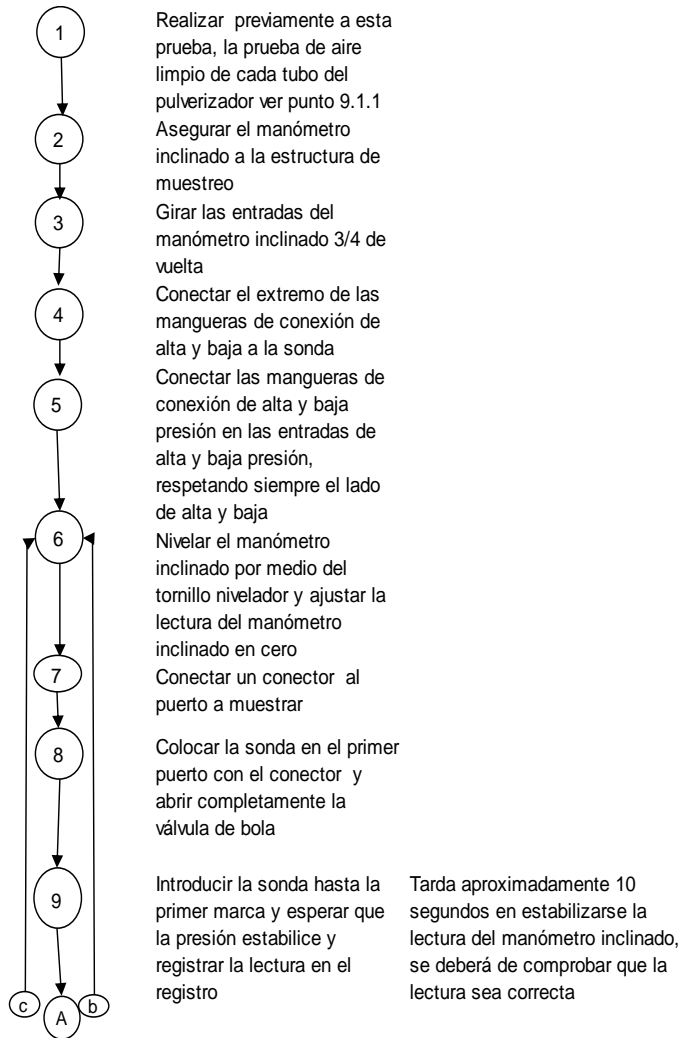
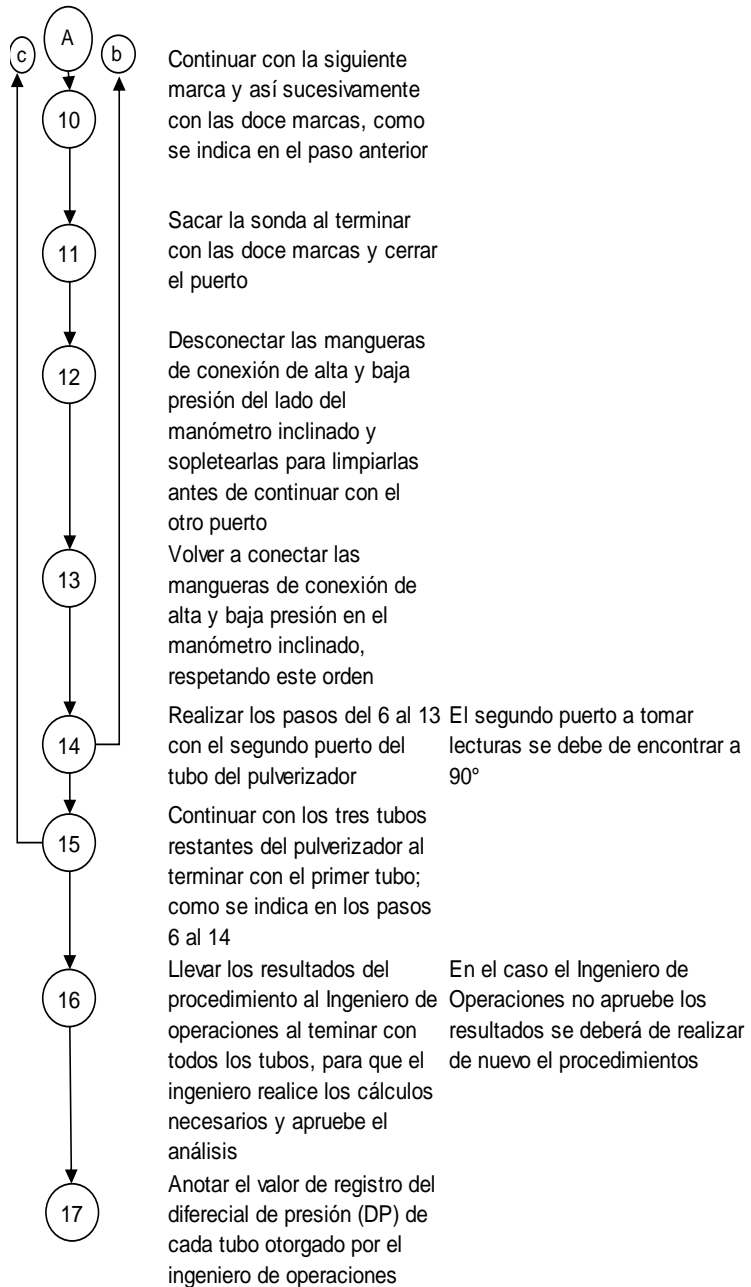


DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO

| | |
|---|--|
| Descripción: Procedimiento de aire sucio | Fecha: 10/11/2010 |
| Método: Actual | Inicia: Área muestreo pulverizadores |
| Equipo: Tubos de muestra | Finaliza: Tubo número 12 de muestreo carbón |
| Elaborado: Kristopher Paredes | No. hoja: 2/2 |



**Resumen del diagrama de operaciones procedimiento de aire
sucio**

| RESUMEN | | |
|------------------|----------------|-----------------|
| ACTIVIDAD | SIMBOLO | CANTIDAD |
| Operaciones | ○ | 17 |
| Total: | | 17 |

Procedimiento de muestreo de carbón pulverizado

Equipo a utilizar

- Sonda para muestreo
- Mangueras de conexión de alta y baja presión
- Manguera para aire con acople rápido
- Estructura para muestreo de carbón
- Manómetro inclinado
- Recipiente colector con su respectivo filtro de fibra de vidrio
- Bolsas plásticas y cronómetro

| DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO | | | |
|--|---|------------------|-----------------------------------|
| Descripción: | Procedimiento de Muestreo Carbón pulverizado | Fecha: | 10/11/2010 |
| Método: | Actual | Inicia: | Área muestreo pulverizadores |
| Equipo: | Tubos de muestra | Finaliza: | Tubo número 12 de muestreo carbón |
| Elaborado: | Kristopher Paredes | No. hoja: | 1/3 |

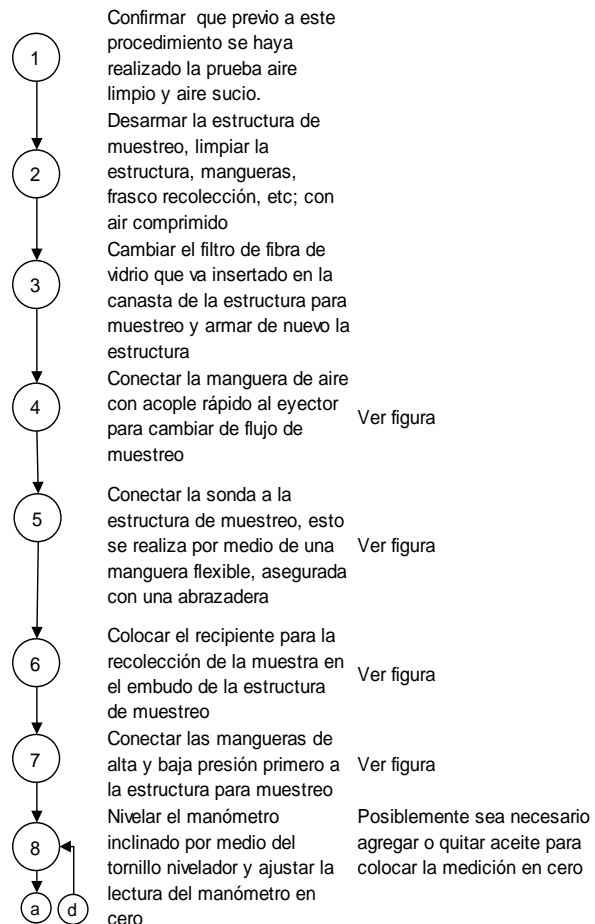


DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO

| | |
|---|--|
| Descripción: Procedimiento de Muestreo | Fecha: 10/11/2010 |
| | Carbón pulverizado |
| Método: Actual | Inicia: Área muestreo pulverizadores |
| Equipo: Tubos de muestra | Finaliza: Tubo número 12 de muestreo carbón |
| Elaborado: Kristopher Paredes | No. hoja: 2/3 |

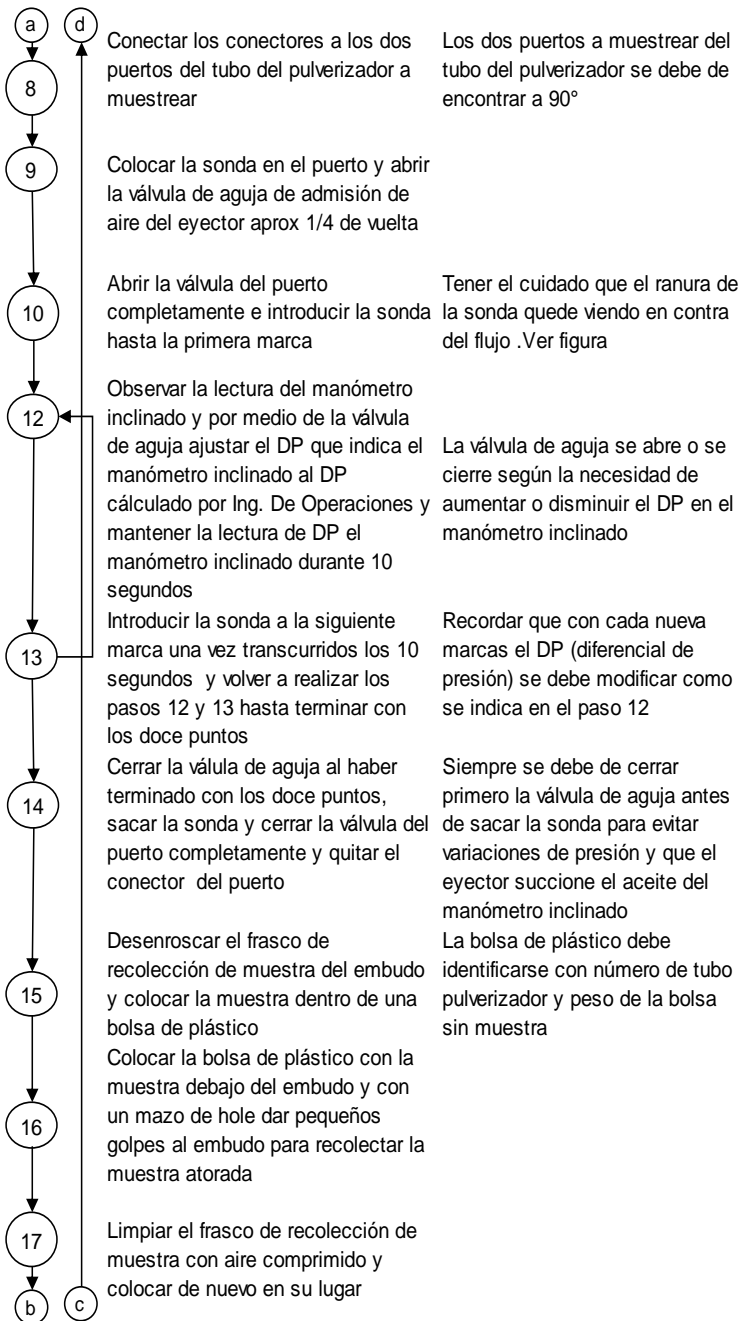
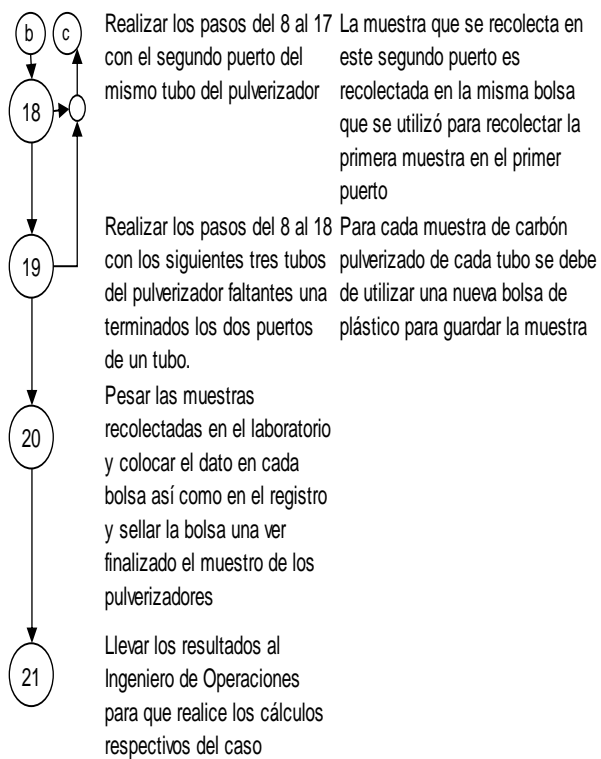


DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO

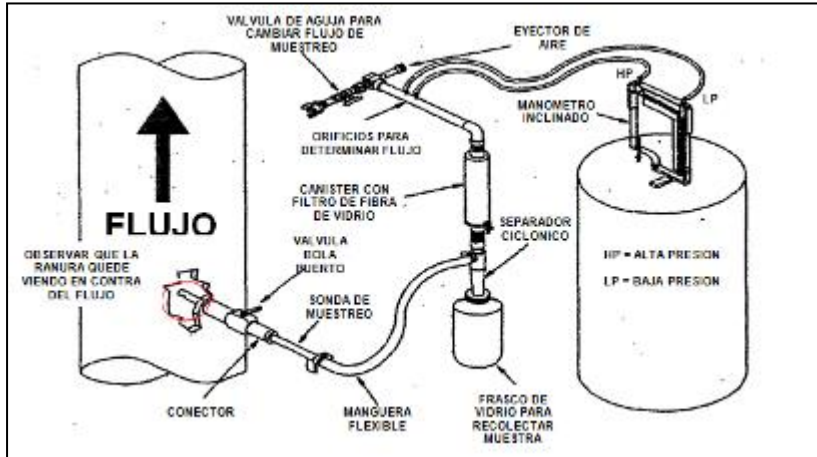
| | | | |
|---------------------|---------------------------|------------------|-----------------------------------|
| Descripción: | Procedimiento de Muestreo | Fecha: | 10/11/2010 |
| | Carbón pulverizado | | |
| Método: | Actual | Inicia: | Área muestreo pulverizadores |
| Equipo: | Tubos de muestra | Finaliza: | Tubo número 12 de muestreo carbón |
| Elaborado: | Kristopher Paredes | No. hoja: | 3/3 |



Resumen del diagrama de operaciones procedimiento muestreo carbón pulverizado

| RESUMEN | | |
|-------------|---------|----------|
| ACTIVIDAD | SIMBOLO | CANTIDAD |
| Operaciones | ○ | 21 |
| Total: | | 21 |

Equipo a utilizar instalado en campo



Cálculos

Abreviaturas

SP_p= Presión estática de la tubería ("wc)

BP = Presión barométrica ("Hg)

K = Factor "k" de la sonda

V_h = Velocidad de cabeza

Área = Área de la tubería (ft²)

T = Temperatura en la tubería (°F)

0.75 = Presión atmosférica estándar

Fórmulas

$$Avg\sqrt{Vh} = \frac{\sqrt{Vh_1} + \sqrt{Vh_2} + \sqrt{Vh_3} + \dots + \sqrt{Vh_N}}{N}$$

$$\Delta P = (Avg\sqrt{Vh})^2 \cdot (\text{factor } k \text{ de la sonda})^2 \cdot (1.573)$$

$$Densidad = \frac{0.075 \times (70 + 460)}{(T + 460)} \times \frac{\frac{SPp}{13.6} + BP}{29.92} = \frac{libras}{pie^3}$$

$$Velocidad = 1096 \times \frac{Avg\sqrt{Vh}}{\sqrt{densidad}} \times K = \frac{pie}{minuto}$$

$$Flujo másico = velocidad \times densidad \times area \times 60 = \frac{libras}{hora}$$

$$\%Desviación = \frac{(velocidad - Avg.velocidad)}{Avg.Velocidad} \times 100 = \%$$

$$Flujo combustible = \frac{peso de la muestra}{453.6} \times \frac{60}{4} \times \frac{área ducto}{0.0021} = \frac{libras}{hora}$$

Parámetros de control

Los valores que debemos de obtener al realizar este procedimiento son los siguientes:

- ✓ Balancear el flujo de carbón entre tubos dentro de un $\pm 10 \%$
- ✓ Relación aire/combustible de 1,8 libras de aire por libra de carbón
- ✓ Balance entre pulverizadores, masa de aire y carbón dentro de $\pm 5 \%$
- ✓ Temperatura de salida de pulverizadores $\geq 155 \text{ }^\circ\text{F}$

Apéndice 2

Propuesta control de inventario

Las tablas que se presentan en esta sección detallan cinco columnas que contienen la siguiente información:

- ✓ En inventario: define el tipo de inventario para cada repuestos, encontrándose la referencia de sí que tiene connotación que el repuesto debe estar en bodega. Las descripciones de 150k y 600 k indican que esos repuestos deben estar en bodega cuando los pulverizadores de carbón hayan procesada esa cantidad de toneladas.
- ✓ Mín. y Máx.: tendrán los nuevos valores de mínimos y máximos para cada repuesto.
- ✓ Costo unitario: el precio de cada repuesto.
- ✓ Sobre inventario: el valor expresado representa la cantidad de repuestos que sobrepasan los máximos definidos por la compañía.

Repuestos sección molienda (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En inventario | Mín. | Máx. | Costo Unitario | Sobre Inventario |
|------|--|---------------|------|------|----------------|------------------|
| 1.01 | Martillo | Si | 60 | 120 | Q 625 | 0 |
| 1.02 | Guarda del martillo | Si | 60 | 120 | Q 132 | 0 |
| 1.03 | Perno con agujero | Si | 20 | 40 | Q 156 | 0 |
| 1.04 | Chaveta de 1/4" x 3" | Si | 20 | 40 | Q 8 | 0 |
| 2.01 | Bloque espaciador de la rejilla frontal | 300 k | 1 | 2 | Q 372 | 6 |
| 2.02 | Bloque espaciador de la rejilla trasera | 300 k | 1 | 2 | Q 302 | 3 |
| 2.03 | Segmento de rejilla 45 grados | Si | 34 | 40 | Q 329 | 0 |
| 2.04 | Segmento de rejilla solido 45 grados | Si | 36 | 40 | Q 311 | 0 |
| 2.05 | Espaciador de parrilla | Si | 4 | 6 | Q 293 | 0 |
| 3.01 | Plato delantero posterior a la entrada de alimentación | 600 k | 1 | 2 | Q 3 062 | 0 |
| 3.02 | Blindaje y soporte de parrilla | 600 k | 1 | 6 | Q 1 151 | 15 |
| 3.03 | Tornillo de ajuste del bloque de molienda | 600 k | 1 | 4 | Q 3 666 | 1 |
| 3.04 | Blindaje interno lado izquierdo | 300 k | 1 | 2 | Q 1 908 | 18 |
| 3.05 | Blindaje interno lado derecho | 300 k | 1 | 2 | Q 2 214 | 6 |
| 3.06 | Blindaje de la carcasa | 300 k | 1 | 24 | Q 1 068 | 68 |
| 3.07 | Blindaje inferior | 300 k | 1 | 8 | Q 782 | 24 |
| 3.08 | Blindaje izquierdo de la carcasa en el plato de molienda | 300 k | 1 | 2 | Q 2 835 | 6 |
| 3.09 | Blindaje derecho de la carcasa en el plato de molienda | 300 k | 1 | 2 | Q 2 934 | 6 |
| 3.10 | Blindaje frontal de alimentación de molienda | 300 k | 1 | 2 | Q 1 397 | 6 |
| 3.11 | Plato de molienda | 300 k | 1 | 4 | Q 3 842 | 9 |
| 3.12 | Placa de atrapa metales | 300 k | 1 | 2 | Q 3 210 | 6 |
| 3.13 | Guía de placa de atrapa metales | 150 k | 1 | 2 | Q 2 110 | 4 |
| 3.14 | Rotor de molienda | 600 K | 1 | 2 | Q 14 986 | 0 |
| 3.15 | Bloque de molienda | Si | 1 | 2 | Q 2 281 | 0 |
| 3.16 | Guía derecha del bloque de molienda | Si | 1 | 2 | Q 390 | 0 |
| 3.17 | Guía izquierda del bloque de molienda | Si | 1 | 2 | Q 384 | 2 |
| 3.18 | Tornillo hexagonal de 3/4" x 2" | Si | 54 | 64 | Q 15 | 0 |
| 3.19 | Tornillo hexagonal 3/4" - 10 x 2-1/2" | Si | 6 | 10 | Q 19 | 301 |
| 3.20 | Tuerca hexagonal de 3/4" - 10 | Si | 60 | 70 | Q 8 | 280 |
| 3.21 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 60 | 70 | Q 2 | 0 |

Fuente: elaboración propia.

Repuestos sección de pulverizado (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En | Mín. | Máx. | Costo | Sobre |
|------|--|-------|------|------|----------|-------|
| 4.01 | Plato de desgaste lado izquierdo primer efecto | Si | 42 | 50 | Q 650 | 0 |
| 4.02 | Plato de desgaste lado izquierdo segundo efecto | Si | 42 | 46 | Q 977 | 0 |
| 4.03 | Quijadas de primer efecto de pulverizado | Si | 42 | 46 | Q 538 | 38 |
| 4.04 | Quijadas de segundo efecto de pulverizado | Si | 84 | 90 | Q 556 | 78 |
| 4.05 | Disco cámara pulverizo y ventilador | Si | 1 | 2 | Q 12 185 | 6 |
| 4.06 | Tornillo de 3/4"-10 x 3 1/4" | Si | 84 | 100 | Q 31 | 0 |
| 4.07 | Tuerca hexagonal de 3/4"-10 | Si | 84 | 100 | Q 8 | 270 |
| 4.08 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 84 | 100 | Q 2 | 0 |
| 5.01 | Plato de desgaste lado derecho primer efecto | Si | 42 | 46 | Q 598 | 0 |
| 5.02 | Plato de desgaste lado derecho segundo efecto | Si | 42 | 46 | Q 956 | 0 |
| 5.03 | Quijadas de primer efecto de pulverizado | Si | 42 | 46 | Q 538 | 38 |
| 5.04 | Quijadas de segundo efecto de pulverizado | Si | 84 | 90 | Q 556 | 78 |
| 5.05 | Tornillo de 3/4"-10 x 3 1/4" | Si | 84 | 100 | Q 31 | 0 |
| 5.06 | Tuerca hexagonal de 3/4"-10 | Si | 84 | 100 | Q 8 | 270 |
| 5.07 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 84 | 100 | Q 2 | 0 |
| 6.01 | Disco cámara de pulverizado lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 76 430 | 0 |
| 6.02 | Disco cámara de pulverizado lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 76 430 | 0 |
| 6.03 | Blindaje de primer efecto de la cámara de pulverizado lado derecho | 600 k | 1 | 2 | Q 2 261 | 5 |
| 6.04 | Blindaje de primer efecto de la cámara de pulverizado lado izquierdo | 600 k | 1 | 2 | Q 2 379 | 4 |
| 6.05 | Plato de desgaste interno de primer efecto | Si | 42 | 46 | Q 528 | 123 |
| 6.06 | Plato de desgaste interno de segundo efecto | Si | 42 | 46 | Q 810 | 124 |
| 6.07 | Blindaje de seguridad del plato inferior | Si | 1 | 2 | Q 969 | 0 |
| 6.08 | Blindaje de cierre lado derecho | Si | 1 | 1 | Q 49 204 | 0 |
| 6.09 | Blindaje de cierre lado izquierdo | Si | 1 | 1 | Q 44 205 | 1 |
| 6.10 | Tornillo de 3/4"-10 x 3 1/2" | Si | 126 | 150 | Q 42 | 228 |
| 6.11 | Tuerca hexagonal de 3/4"-10 | Si | 126 | 150 | Q 8 | 220 |
| 6.12 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 126 | 150 | Q 2 | 0 |
| 7.01 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 27 | Q 1 155 | 2 |
| 7.02 | Espaciador de blindaje periférico | 600 k | 1 | 7 | Q 146 | 0 |
| 7.03 | Blindaje de cierre periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 736 | 1 |
| 7.04 | Segmento para blindaje periférico | 600 k | 16 | 100 | Q 375 | 285 |

Fuente: elaboración propia.

Repuestos sección de pulverizado (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En | Mín. | Máx. | Costo | Sobre |
|-------|--|-------|------|------|----------|-------|
| 7.05 | Segmento de cierre para blindaje periférico | 600 k | 1 | 1 | Q 1 022 | 1 |
| 7.06 | Tornillo 3/4"-10 x 3" | Si | 1 | 1 | Q 15 | 0 |
| 7.07 | Tornillo 1/2" x 1 1/4" | Si | 87 | 100 | Q 12 | 0 |
| 7.08 | Arandela de seguridad de 1/2" | Si | 87 | 100 | Q 2 | 0 |
| 7.09 | Tornillo 1/2" x 1 3/4" | Si | 1 | 1 | Q 80 | 29 |
| 7.10 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 1 | 1 | Q 2 | 62 |
| 8.01 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 27 | 30 | Q 1 175 | 0 |
| 8.02 | Espaciador de blindaje periférico | 600 k | 1 | 7 | Q 146 | 0 |
| 8.03 | Blindaje de cierre periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 805 | 0 |
| 8.04 | Segmento para blindaje periférico | 600 k | 84 | 90 | Q 375 | 295 |
| 8.05 | Segmento de cierre para blindaje periférico | 600 k | 1 | 1 | Q 1 022 | 1 |
| 8.06 | Tornillo 3/4"-10 x 3" | Si | 1 | 4 | Q 15 | 0 |
| 8.07 | Tornillo 1/2" x 1 1/4" | Si | 83 | 100 | Q 12 | 0 |
| 8.08 | Arandela de seguridad de 1/2" | Si | 83 | 100 | Q 2 | 0 |
| 8.09 | Tornillo 1/2" x 1 3/4" | Si | 1 | 4 | Q 80 | 26 |
| 8.10 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 1 | 4 | Q 2 | 59 |
| 9.01 | Blindaje Interior lado derecho cámara de Pulverizado | 600 k | 1 | 24 | Q 1 516 | 57 |
| 9.02 | Blindaje superior de primer efecto | 600 k | 1 | 12 | Q 3 016 | 30 |
| 9.03 | Blindaje de primer efecto | 600 k | 1 | 8 | Q 2 346 | 16 |
| 9.04 | Tornillo de 3/4" x 2" | Si | 24 | 30 | Q 15 | 0 |
| 9.05 | Tornillo 3/4"-10 x 2 1/2" | Si | 48 | 60 | Q 19 | 263 |
| 9.06 | Esparrago de 3/4" x 4" | Si | 16 | 24 | Q 68 | 144 |
| 9.07 | Tuerca de 3/4"-10 | Si | 16 | 24 | Q 8 | 346 |
| 9.08 | Arandela de seguridad 3/4" | Si | 64 | 80 | Q 2 | 0 |
| 9.09 | Arandela de 3/4" x 4" | Si | 24 | 36 | Q 2 | 888 |
| 10.01 | Quijada fija | Si | 192 | 288 | Q 780 | 0 |
| 11.01 | Anillo rechazador | 600 k | 1 | 12 | Q 1 399 | 35 |
| 11.02 | Brazo rechazador | 150 k | 1 | 12 | Q 979 | 14 |
| 11.03 | Guarda del brazo rechazador | Si | 1 | 12 | Q 268 | 31 |
| 11.04 | Guía del brazo rechazador | Si | 1 | 2 | Q 12 137 | 0 |
| 11.05 | Tornillo 1/2" x 1 1/4" | Si | 12 | 24 | Q 12 | 0 |
| 11.06 | Tornillo 1/2" x 1 3/4" | Si | 12 | 24 | Q 10 | 13 |
| 11.07 | Tornillo 3/4" x 2 1/4" | Si | 6 | 12 | Q 72 | 76 |
| 11.08 | Tuerca de 1/2"-13 | Si | 12 | 24 | Q 6 | 6 |
| 11.09 | Tuerca de 3/4"-10 | Si | 6 | 12 | Q 8 | 358 |
| 11.10 | Arandela de seguridad de 1/2" | Si | 18 | 36 | Q 2 | 0 |
| 11.11 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 6 | 12 | Q 2 | 51 |

Fuente: elaboración propia.

Repuestos sección del ventilador (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En inventario | Mín. | Máx. | Costo Unitario | Sobre Inventario |
|-------|---|---------------|------|------|----------------|------------------|
| 12.01 | Blindaje de la carcasa superior derecha | 600 k | 1 | 1 | Q 2 772 | 7 |
| 12.02 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | 600 k | 1 | 1 | Q 3 002 | 7 |
| 12.03 | Blindaje de la carcasa superior derecha | 600 k | 1 | 1 | Q 1 928 | 14 |
| 12.04 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | 600 k | 1 | 1 | Q 1 889 | 7 |
| 12.05 | Blindaje de la carcasa superior derecha | 600 k | 1 | 1 | Q 1 523 | 7 |
| 12.06 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | 600 k | 1 | 1 | Q 1 871 | 6 |
| 12.07 | Blindaje de la carcasa superior derecha | 600 k | 1 | 1 | Q 1 978 | 7 |
| 12.08 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | 600 k | 1 | 1 | Q 1 939 | 7 |
| 12.09 | Blindaje de la carcasa superior derecha | 600 k | 1 | 1 | Q 1 517 | 8 |
| 12.10 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | 600 k | 1 | 1 | Q 1 258 | 7 |
| 12.11 | Blindaje de la carcasa superior derecha | 600 k | 1 | 1 | Q 1 235 | 0 |
| 12.12 | Blindaje de la carcasa superior izquierda | 600 k | 1 | 1 | Q 1 287 | 1 |
| 12.13 | Blindaje interior | 600 k | 1 | 12 | Q 1 457 | 84 |
| 12.14 | Blindaje interior del plato posterior | 600 k | 1 | 6 | Q 1 087 | 36 |
| 12.15 | Blindaje inferior intermedio | 600 k | 1 | 5 | Q 1 203 | 34 |
| 12.16 | Blindaje interior del plato posterior | 600 k | 1 | 5 | Q 3 144 | 35 |
| 12.17 | Blindaje a la salida lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 2 462 | 0 |
| 12.18 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 3 962 | 1 |
| 12.19 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 163 | 7 |
| 12.20 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 115 | 7 |
| 12.21 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 272 | 7 |
| 12.22 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 008 | 0 |
| 12.23 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 337 | 7 |
| 12.24 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 2 300 | 1 |
| 12.25 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 405 | 7 |

Fuente: elaboración propia.

Repuestos sección del ventilador (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En inventario | Mín. | Máx. | Costo Unitario | Sobre Inventario |
|-------|--|---------------|------|------|----------------|------------------|
| 12.26 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 285 | 0 |
| 12.27 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 392 | 7 |
| 12.28 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 416 | 1 |
| 12.29 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 389 | 7 |
| 12.30 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 477 | 1 |
| 12.31 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 584 | 7 |
| 12.32 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 2 416 | 1 |
| 12.33 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 418 | 7 |
| 12.34 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 008 | 1 |
| 12.35 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-1/4" | Si | 18 | 36 | Q 17 | 491 |
| 12.36 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-3/4" | Si | 24 | 48 | Q 15 | 0 |
| 12.37 | Tornillo hexagonal de 3/4" X 2", | Si | 52 | 104 | Q 15 | 0 |
| 12.38 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 2-1/2" | Si | 22 | 44 | Q 19 | 279 |
| 12.39 | Tuerca hexagonal de 3/4" – 10 | Si | 52 | 104 | Q 8 | 266 |
| 12.40 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 116 | 232 | Q 2 | 0 |
| 12.41 | Arandela plana de 3/4" | Si | 52 | 104 | Q 2 | 820 |
| 13.01 | Blindaje de la carcasa lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 2 772 | 7 |
| 13.02 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 3 002 | 7 |
| 13.03 | Blindaje de la carcasa lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 928 | 14 |
| 13.04 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 889 | 7 |
| 13.05 | Blindaje de la carcasa lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 523 | 7 |
| 13.06 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 871 | 6 |
| 13.07 | Blindaje de la carcasa lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 978 | 7 |
| 13.08 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 939 | 7 |
| 13.09 | Blindaje de la carcasa lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 517 | 8 |
| 13.10 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 258 | 7 |
| 13.11 | Blindaje de la carcasa lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 235 | 0 |
| 13.12 | Blindaje de la carcasa lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 287 | 1 |
| 13.13 | Blindaje interior de la carcasa | 600 k | 1 | 12 | Q 1 457 | 84 |
| 13.14 | Blindaje interior parte interna de carcasa | 600 k | 1 | 6 | Q 1 087 | 36 |

Fuente: elaboración propia.

Repuestos sección del ventilador (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En | Mín. | Máx. | Costo | Sobre |
|-------|--|-------|------|------|---------|-------|
| 13.15 | Blindaje inferior intermedio | 600 k | 1 | 5 | Q 1 203 | 34 |
| 13.16 | Blindaje de la carcasa | 600 k | 1 | 5 | Q 3 144 | 35 |
| 13.17 | Blindaje a la salida lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 2 443 | 0 |
| 13.18 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 3 820 | 1 |
| 13.19 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 163 | 7 |
| 13.20 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 115 | 7 |
| 13.21 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 272 | 7 |
| 13.22 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 008 | 0 |
| 13.23 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 337 | 7 |
| 13.24 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 2 300 | 1 |
| 13.25 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 405 | 7 |
| 13.26 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 285 | 0 |
| 13.27 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 392 | 7 |
| 13.28 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 416 | 1 |
| 13.29 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 389 | 7 |
| 13.30 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 477 | 1 |
| 13.31 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 584 | 7 |
| 13.32 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 2 416 | 1 |
| 13.33 | Blindaje periférico lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 1 418 | 7 |
| 13.34 | Blindaje periférico lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 1 008 | 1 |
| 13.35 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-1/4" | Si | 18 | 27 | Q 17 | 500 |
| 13.36 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 1-3/4" | Si | 24 | 36 | Q 15 | 153 |
| 13.37 | Tornillo hexagonal de 3/4" X 2", | Si | 52 | 78 | Q 15 | 0 |
| 13.38 | Tornillo hexagonal de 3/4" - 10 X 2-1/2" | Si | 22 | 33 | Q 19 | 290 |
| 13.39 | Tuerca hexagonal de 3/4" - 10 | Si | 52 | 78 | Q 8 | 292 |
| 13.40 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 116 | 174 | Q 2 | 0 |
| 13.41 | Arandela plana de 3/4" | Si | 52 | 78 | Q 2 | 846 |
| 14.01 | Aspas curvas | 600 k | 1 | 16 | Q 1 372 | 16 |
| 14.02 | Barra para aspas rectas | 150 k | 1 | 32 | Q 217 | 236 |
| 14.03 | Barra para aspas curvas | 150 k | 1 | 32 | Q 292 | 94 |
| 14.04 | Aspas rectas | 150 k | 1 | 16 | Q 1 224 | 16 |
| 14.05 | Tornillo de 5/8"-11 X 2 1/4" | Si | 192 | 288 | Q 17 | 4409 |
| 14.06 | Tornillo de 5/8" X 2 1/4" | Si | 32 | 48 | Q 31 | 447 |
| 14.07 | Tuerca hexagonal de 5/8"-11 | Si | 224 | 336 | Q 8 | 5423 |

Fuente: elaboración propia.

Repuestos sección del ventilador (Apéndice 2)

| No. | Descripción español | En Inventario | Mín. | Máx. | Costo Unitario | Sobre Inventario |
|-------|---|---------------|------|------|----------------|------------------|
| 14.08 | Arandela de seguridad de 5/8" | Si | 224 | 336 | Q 2 | 2698 |
| 15.01 | Aspas curvas | 200 k | 1 | 16 | Q ,372 | 16 |
| 15.02 | Barra para aspas rectas | 150 k | 1 | 32 | Q 217 | 236 |
| 15.03 | Barra para aspas curvas | 150 k | 1 | 32 | Q 292 | 94 |
| 15.04 | Aspas rectas | 150 k | 1 | 16 | Q 1 205 | 14 |
| 15.05 | Tornillo de 5/8"-11 X 2 1/4" | Si | 192 | 288 | Q 17 | 4409 |
| 15.06 | Tornillo de 5/8" X 2 1/4" | Si | 32 | 48 | Q 31 | 447 |
| 15.07 | Tuerca hexagonal de 5/8"-11 | Si | 224 | 336 | Q 8 | 5423 |
| 15.08 | Arandela de seguridad de 5/8" | Si | 224 | 336 | Q 2 | 2698 |
| 16.01 | Blindaje periférico de la carcasa | 600 k | 1 | 56 | Q 2 843 | 105 |
| 16.02 | Blindaje periférico de la carcasa | 600 k | 1 | 2 | Q 2 719 | 6 |
| 16.03 | Blindaje periférico de la carcasa | 600 k | 1 | 2 | Q 3 095 | 6 |
| 16.04 | Blindaje de la carcasa en la sección de corte | 600 k | 1 | 2 | Q 2 258 | 1 |
| 16.05 | Blindaje a la salida de la carcasa | 600 k | 1 | 2 | Q 3 397 | 6 |
| 16.06 | Espaciadores de los blindajes de la carcasa | 600 k | 1 | 48 | Q 181 | 144 |
| 16.07 | Blindaje del eje | 600 k | 1 | 16 | Q 2 659 | 24 |
| 16.08 | Disco del ventilador | 600 k | 1 | 2 | Q 49 235 | 0 |
| 16.09 | Cubierta lado izquierdo | 600 k | 1 | 1 | Q 38 627 | 0 |
| 16.10 | Cubierta lado derecho | 600 k | 1 | 1 | Q 38 627 | 0 |
| 16.11 | Espaciadores de cubierta del ventilador | 600 k | 1 | 2 | Q 746 | 0 |
| 16.12 | Espaciadores de cubierta del ventilador | Si | 2 | 2 | Q 578 | 6 |
| 16.13 | Tornillo hexagonal de 3/4"-10 x 1-3/4" | Si | 2 | 2 | Q 15 | 187 |
| 16.14 | Arandela de seguridad de 3/4" | Si | 1 | 2 | Q 2 | 61 |

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3

Ficha técnica de Belzona 1811/1812

La Belzona 1811/1812 son recubrimientos reparadores y protectores de dos componentes, diseñados para la protección de superficies sometidas a ataques por abrasión. La Belzona está formada por compuestos altamente especializados que combinan un relleno sumamente duro y resistente a la abrasión en una matriz polimérica. Puede aplicarse sin necesidad de herramientas especiales ya que es una pasta que se adhiere a una gran variedad de sustratos y brindan revestimiento continuo a la abrasión.

Características de Belzona 1811 / 1812:

- Elevada resistencia mecánica
- No se corroen
- Resistentes a una amplia variedad de sustancias químicas
- Funcionan a una gran variedad de temperaturas
- Alta resistencia a la abrasión comparable a la del basalto
- Material continuo sin juntas
- No contiene solventes
- Fácil de mezclar y aplicar
- Se pueden aplicar capas de distinto espesor en una sola operación.
- Se adhieren a todos los sustratos rígidos, como acero y hierro fundido
- No se contraen, se dilatan ni se deforman.

Beneficio al aplicar Belzona 1811/1812:

1. Simplifican los procedimientos de mantenimiento
2. Reducen la necesidad de piezas de repuesto

3. Protegen contra la abrasión
4. Extienden la vida útil de los equipos
5. Mejoran la seguridad al reducir el trabajo con soldadura

Aplicaciones:

- Placas de desgaste
- Tolvas
- Deflectores
- Rotores/Impulsores
- Pulverizadores
- Tornillos sin fin

Apéndice 4

Ficha técnica del electrodo E-7018

Descripción:

Electrodos con revestimiento de bajo hidrógeno con polvo de hierro, es indicado para la soldadura de aceros de alta resistencia a la tracción, así como para aceros de construcción. Su arco es sumamente estable con muy poco chisporroteo; para mejores resultados úsese arco corto.

Aplicación:

Es un electrodo que produce soldaduras de óptima calidad, libre de poros y rajaduras.

Características sobresalientes:

Acero de bajo y mediano carbón y baja aleación, debido a la alta conductibilidad y resistencia del material depositado con el E-7018 es posible realizar uniones en aceros que se consideraban no soldables.