



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

**GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES
DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL,
UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA**

Luis Alberto Suquén Hernández

Asesorado por el Ing. Martin Manuel Herrera Muralles

Guatemala, abril de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES
DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL,
UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS ALBERTO SUQUÉN HERNÁNDEZ

ASESORADO POR EL ING. MARTIN MANUEL HERRERA MURALLES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, ABRIL DE 2012

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 | Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón |
| VOCAL IV | Br. Juan Carlos Molina Jiménez |
| VOCAL V | Br. Mario Maldonado Muralles |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

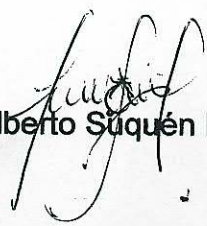
| | |
|------------|------------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Eduardo Sarceño Zepeda |
| EXAMINADOR | Ing. Julio César Campos Paiz |
| SECRETARIO | Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez |

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:

**GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES
DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL,
UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 19 de agosto de 2009.


Luis Alberto Súquén Hernández

Guatemala 27 de julio de 2011

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

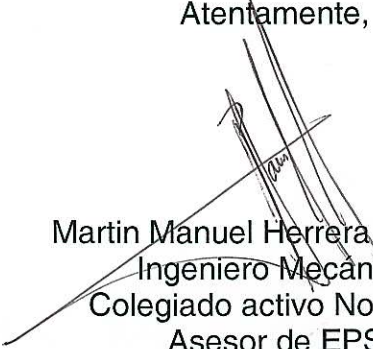
Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña

Por este medio atentamente le informo que como asesor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario Luis Alberto Suquén Hernández de la carrera de Ingeniería Mecánica, identificado con el número de carné 2004-13146, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL, UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,



Martin Manuel Herrera Muralles
Ingeniero Mecánico
Colegiado activo No. 6709
Asesor de EPS

Martin Manuel Herrera Muralles
Ingeniero Mecánico
Colegiado 6709



Guatemala, 29 de agosto de 2011

REF.EPS.DOC.1073.08.11.

Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

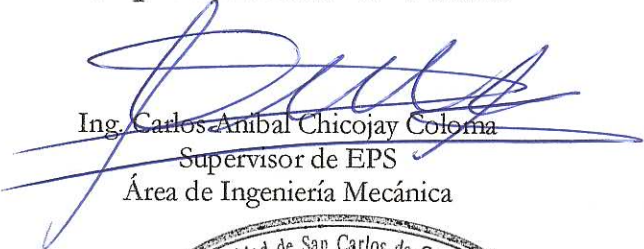
Por este medio atentamente le informo que como Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Luis Alberto Suquén Hernández** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200413146**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL, UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA"**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma
Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
CACC/ra





Guatemala, 29 de agosto de 2011
REF.EPS.D.747.08.11

Ing. Julio César Campos Paiz
Director Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Presente


Estimado Ingeniero Campos Paiz:

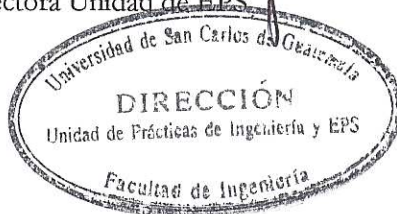
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL, UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Luis Alberto Suquén Hernández** quien fue debidamente asesorado por el Ing. Martín Manuel Herrera Murallas y supervisado por el Ingeniero Carlos Anibal Chicojay Coloma.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor y del Supervisor de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"


Inga. Norma Ileana Sarmiento Zeceña de Serrano
Directora Unidad de EPS



NISZ/ra

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al Trabajo de Graduación titulado GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL, UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA, del estudiante **Luis Alberto Suquén Hernández**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR




Guatemala, abril de 2012

JCCP/behdei



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, al trabajo de graduación titulado: **GUÍA PARA EL MANTENIMIENTO MECÁNICO DE MOLINOS VERTICALES DE RODILLOS PARA PULVERIZAR PET COKE O CARBÓN MINERAL, UTILIZADO COMO COMBUSTIBLE ALTERNO EN INDUSTRIA CEMENTERA,** presentado por el estudiante universitario **Luis Alberto Suquén Hernández,** autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 19 de abril de 2012.



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

| | |
|--------------------------------|--|
| Dios | Por ser la fuente de sabiduría, por iluminar el sendero de mi vida y por manifestarse a través de las personas que aquí menciono. |
| Mis padres | Emiliana Hernández y Emilio Suquén, infinitas gracias por darme la vida, cuidarme siempre y enseñarme a llevar una vida correcta y digna. Gracias por su apoyo incondicional y esfuerzos que han realizado para lograr mis metas pero sobre todo, su amor. |
| Mis hermanos | Delia, María y en especial a Marcos, quien Dios nos lo ha dado en bendición para mi familia y ser parte de mi fortaleza para lograr esta meta. |
| Mi familia | Por su apoyo incondicional y cariño. |
| Amigos y compañeros | Por todo el apoyo y amistad, durante la carrera y en mi vida. |

AGRADECIMIENTOS A:

**Vicente Adrián
Hernández Yos**

Mi tío, por su apoyo y confianza en mí, desde el inicio de un sueño que hoy se convierte en realidad.

**Licda. Anselma
Jáuregui de Molina**

Por su cariño, consejos, apoyo incondicional y ser parte vital en el desarrollo de mi vida estudiantil y profesional.

**Sección Socioeconómica
de Bienestar Estudiantil
Universitario, USAC**

Por realizar todos los esfuerzos para apoyar a la juventud guatemalteca a través de sus programas.

**Agencia de los Estados
Unidos para el Desarrollo
Internacional, USAID**

Por el apoyo y los medios para poder alcanzar los sueños y el desarrollo de muchos pueblos.

**Residencia universitaria
Casa del estudiante**

Por alojarme durante mi carrera y ser mi segundo hogar.

Mis abuelos

Juan Suquén, Francisca Sincal, María Yos (q.e.p.d.), en especial a Julio Hernández por su cariño y apoyo incondicional.

Mis primos

Por su aprecio, cariño, amistad y apoyo.

Los ingenieros

Especialmente a: Martin Herrera Muralles, Enrique López y Ossman Marroquín quienes me asesoraron en mi trabajo de graduación.

Amigos y compañeros del Grupo Juvenil San Bernardino

Con mucho cariño y aprecio, ya que forman parte importante de mi vida, los recordaré siempre.

Amigos y compañeros de la Casa del estudiante

Especialmente a: Ing. Edgar Ricardo Juárez Coronado, Ing. Jorge Espino y Arq. Byron Manuel Tucux.

Cementos Progreso S.A., Planta San Miguel

Especialmente al departamento de mantenimiento mecánico y planificación, ya que sin ellos este trabajo de graduación no existiría.

Amigos y compañeros de trabajo

Por ser parte de mi familia.

La Tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala

Por ser la casa de estudios para mi formación.

La Facultad de Ingeniería

En especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | XI |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XIII |
| GLOSARIO | XV |
| RESUMEN..... | XIX |
| OBJETIVOS | XXI |
| INTRODUCCIÓN..... | XXIII |
| | |
| 1. DESCRIPCIÓN GENERAL..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes de la empresa | 1 |
| 1.2. Visión y misión..... | 2 |
| 1.3. Estructura organizacional | 3 |
| 1.4. Procesos para la fabricación de cemento..... | 4 |
| 1.4.1. Extracción de materia prima | 5 |
| 1.4.2. Trituración y prehomogenización | 5 |
| 1.4.3. Molienda de harina cruda | 6 |
| 1.4.4. Clinkerización | 6 |
| 1.4.5. Molienda de cemento | 7 |
| 1.4.6. Empaque y despacho | 7 |
| 1.5. Tipos de cemento | 9 |
| 1.5.1. Cemento UGC | 9 |
| 1.5.2. Cemento blanco..... | 9 |
| 1.5.3. Cemento para fabricar blocks | 9 |
| 1.5.4. Cemento estructural | 9 |
| 1.5.5. Cemento Pegablock | 10 |
| 1.5.6. Cemento ARI | 10 |

| | | |
|---------|--|----|
| 1.5.7. | Cemento BLK..... | 10 |
| 1.5.8. | Cemento CPR | 10 |
| 1.5.9. | Cemento para Pavimentos | 10 |
| 1.5.10. | Cemento Tipo V para obras marinas..... | 11 |
| 1.5.11. | Cemento Pozos Petroleros..... | 11 |
| 1.5.12. | Cemento Escorpión | 11 |
| 1.5.13. | Cemento La Cantera | 11 |
| 1.5.14. | Cemento Tropical | 11 |
| 1.5.15. | Cemento La Montaña | 12 |
| 1.6. | Departamento de mantenimiento mecánico..... | 12 |
| 1.6.1. | Visión y misión | 12 |
| 1.6.2. | Función..... | 13 |
| 1.6.3. | Estructura | 13 |
| 2. | FASE DE INVESTIGACIÓN / ANÁLISIS DE RIESGO | 15 |
| 2.1. | Conceptos generales básicos | 15 |
| 2.1.1. | Condiciones de trabajo..... | 15 |
| 2.1.2. | Salud y seguridad en el trabajo | 15 |
| 2.1.3. | Incidente..... | 16 |
| 2.1.4. | Prevención | 16 |
| 2.1.5. | Peligro | 16 |
| 2.1.6. | Riesgo laboral | 16 |
| 2.1.7. | Emergencia | 16 |
| 2.1.8. | Control de emergencias | 17 |
| 2.1.9. | Gestión de riesgos | 17 |
| 2.2. | Riesgo..... | 17 |
| 2.3. | Tipos de riesgo desde el punto de vista general..... | 17 |
| 2.3.1. | Riesgo de categoría A..... | 17 |
| 2.3.2. | Riesgo de categoría B..... | 18 |

| | | |
|------------|---|----|
| 2.3.3. | Riesgo de categoría C | 18 |
| 2.4. | Tipos de riesgo desde el punto de vista de las actividades industriales | 18 |
| 2.4.1. | Riesgos convencionales | 18 |
| 2.4.2. | Riesgos específicos..... | 18 |
| 2.4.3. | Riesgos mayores..... | 19 |
| 2.5. | Tolerabilidad del riesgo..... | 19 |
| 2.6. | Proceso del análisis de riesgo..... | 21 |
| 2.6.1. | Identificación de peligros | 21 |
| 2.6.1.1. | Peligros mecánicos | 21 |
| 2.6.1.2. | Peligros físicos..... | 22 |
| 2.6.1.3. | Peligros de incendios | 23 |
| 2.6.1.4. | Peligros eléctricos..... | 24 |
| 2.6.1.5. | Peligros ergonómicos..... | 24 |
| 2.6.2. | Evaluación del riesgo y asignación de prioridades a los mismos..... | 24 |
| 2.6.2.1. | Probabilidad del daño..... | 26 |
| 2.6.2.2. | Determinación del riesgo..... | 26 |
| 2.6.2.3. | Niveles de riesgo | 27 |
| 2.6.2.4. | Estimación del riesgo..... | 28 |
| 2.6.2.5. | Rombo NFPA | 28 |
| 2.6.2.5.1. | Riesgo por inflamabilidad..... | 29 |
| 2.6.2.5.2. | Riesgo para la salud..... | 30 |
| 2.6.2.5.3. | Riesgo por reactividad..... | 31 |
| 2.6.2.5.4. | Riesgo especial | 31 |
| 2.6.3. | Planificación de las medidas necesarias..... | 32 |
| 2.6.3.1. | Política de salud y seguridad..... | 32 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.6.3.2. | Reglas cardinales de salud y seguridad ocupacional | 33 |
| 2.6.3.3. | Normas OHSAS 18 001 | 33 |
| 2.6.4. | Control de riesgo..... | 35 |
| 2.6.4.1. | Señalización industrial | 36 |
| 2.6.4.2. | Inspecciones de seguridad..... | 36 |
| 2.6.4.3. | Orden y limpieza | 37 |
| 2.6.4.4. | Protección auditiva..... | 37 |
| 2.6.4.5. | Protección respiratoria | 37 |
| 2.6.4.6. | En el manejo manual de cargas..... | 37 |
| 2.6.4.7. | Condiciones ambientales | 38 |
| 2.6.4.8. | Guardas de seguridad..... | 38 |
| 2.6.4.9. | En alzamientos de cargas | 38 |
| 2.6.4.10. | Uso correcto de equipo y herramienta de mano. | 39 |
| 2.6.4.11. | En equipos móviles y grúas..... | 40 |
| 2.6.4.12. | Protección contra incendios..... | 41 |
| 2.6.4.13. | En trabajos en altura | 42 |
| 2.6.4.14. | En espacios confinados..... | 42 |
| 2.6.4.15. | En soldaduras eléctricas, autógenas y corte de metales | 43 |
| 2.6.4.16. | Uso de extintores de fuego..... | 45 |
| 2.6.5. | Seguimiento y revisión. | 45 |
| 2.7. | Consideraciones de seguridad industrial en la operación de los molinos de carbón | 46 |
| 2.7.1. | Medidas precautorias necesarias..... | 46 |
| 2.7.2. | Medidas de seguridad personal. | 46 |
| 2.7.3. | Condiciones en la fábrica | 48 |
| 2.7.4. | Inspección y reparación. | 50 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.7.5. | Interrupción eléctrica de emergencia..... | 51 |
| 2.7.6. | Maquinaria, equipo y generalidades..... | 51 |
| 2.7.7. | Almacenes de carbón..... | 52 |
| 2.7.8. | Silos de carbón..... | 52 |
| 3. | GUÍA DE MANTENIMIENTO MECÁNICO..... | 53 |
| 3.1. | Generalidades..... | 53 |
| 3.1.1. | Introducción..... | 53 |
| 3.1.2. | Principio de operación..... | 54 |
| 3.1.3. | Descripción de los elementos mecánicos del molino..... | 55 |
| 3.2. | Mantenimiento mecánico..... | 59 |
| 3.2.1. | Mantenimiento general..... | 59 |
| 3.2.2. | Ajustes de interferencia (holgura)..... | 64 |
| 3.2.3. | Desmontaje general..... | 65 |
| 3.2.3.1. | Aislamiento del molino..... | 65 |
| 3.2.3.2. | Abrir una puerta de acceso..... | 66 |
| 3.2.3.3. | Retiro de las compuertas principales..... | 67 |
| 3.2.3.4. | Inclinación del rodo hacia afuera del molino..... | 69 |
| 3.2.3.5. | Retirado del ensamble del rodo..... | 72 |
| 3.2.3.6. | Retiro del eje del rodo..... | 74 |
| 3.2.3.7. | Retiro de la base del rodo..... | 76 |
| 3.2.3.8. | Levantado del soporte y la mesa de molienda..... | 78 |
| 3.2.3.9. | Retiro del ensamble de la caja de engranes (reductor)..... | 81 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 3.2.4. | Montaje general..... | 84 |
| 3.2.4.1. | Colocación del ensamble de la caja de engranes (reductor) | 84 |
| 3.2.4.2. | Instalación del ensamble del rodo... | 87 |
| 3.2.4.3. | Instalación del ensamble de la base del rodo | 91 |
| 3.2.4.4. | Instalación del ensamble del rodo y el eje del rodo | 92 |
| 3.2.4.5. | Inclinación del rodo hacia adentro del molino | 96 |
| 3.2.4.6. | Instalación de las compuertas principales | 99 |
| 3.2.5. | Mantenimiento predictivo. | 100 |
| 3.2.5.1. | Análisis de vibraciones..... | 101 |
| 3.2.5.2. | Análisis de aceite. | 102 |
| 3.2.6. | Mantenimiento preventivo. | 103 |
| 3.2.6.1. | Criterios de inspección..... | 103 |
| 3.2.6.2. | Tareas de inspección..... | 104 |
| 3.2.6.3. | Bases para mantenimiento preventivo..... | 106 |
| 3.2.6.4. | Mantenimiento regular y programado del molino. | 106 |
| 3.2.6.5. | Mantenimiento de acuerdo a las condiciones. | 109 |
| 3.2.6.5.1. | Inspección durante la producción | 110 |
| 3.2.6.5.2. | Inspección durante la parada del molino | 114 |

| | | |
|------------|--|-----|
| 3.2.6.6. | Planificación. | 118 |
| 3.2.6.7. | Actividades durante una parada por mantenimiento. | 119 |
| 3.2.7. | Servicios de los componentes del molino..... | 120 |
| 3.2.7.1. | Cambio de segmentos de la mesa de molienda. | 120 |
| 3.2.7.1.1. | Procedimiento de instalación de los segmentos de la mesa..... | 121 |
| 3.2.7.2. | Cambio de segmentos de la rueda de paletas..... | 125 |
| 3.2.7.3. | Cambio de la coraza del rodo..... | 127 |
| 3.2.7.4. | Revisión del juego axial del rodamiento del rodo (calibración del rodamiento)..... | 131 |
| 3.2.7.4.1. | Desmontaje del eje del rodo | 135 |
| 3.2.7.4.2. | Procedimiento del montaje del eje del rodo | 137 |
| 3.2.7.5. | Cambio del sello de aceite del rodo | 144 |
| 3.2.7.6. | Procedimientos de revisión de aceite del rodo | 146 |
| 3.2.7.7. | Servicios del resorte en las compuertas principales..... | 147 |
| 3.2.7.7.1. | Desmontaje del resorte | 147 |

| | | | |
|---------|-------------|--|-----|
| | 3.2.7.7.2. | Montaje del resorte | 152 |
| | 3.2.7.8. | Cambio de hojas del separador | 155 |
| 3.2.8. | | Ajustes mayores..... | 156 |
| | 3.2.8.1. | Holgura entre el rodo y la mesa de molienda..... | 156 |
| 3.2.9. | | Procedimientos de lubricación | 158 |
| | 3.2.9.1. | Sistema de lubricación de los rodos | 158 |
| | 3.2.9.2. | Sistema de lubricación de la caja de engranes. | 159 |
| | 3.2.9.2.1. | Patín de aceite lubricante | 160 |
| 3.2.10. | | Puesta en servicio | 167 |
| | 3.2.10.1. | Revisiones mecánicas y de holgura | 167 |
| | 3.2.10.2. | Revisiones en los sistemas de lubricación..... | 171 |
| | 3.2.10.3. | Ajuste final del molino | 174 |
| | 3.2.10.4. | Interbloqueadores de seguridad del molino..... | 175 |
| | 3.2.10.5. | Operación inicial del molino | 176 |
| | 3.2.10.5.1. | Arranque | 176 |
| 3.3. | | Localización y solución de problemas del molino..... | 179 |
| 4. | | FASE ENSEÑANZA / APRENDIZAJE | 183 |
| | 4.1. | El ABC de la seguridad | 183 |
| | 4.2. | Higiene industrial..... | 185 |
| | 4.3. | Identificación de peligros y evaluación de riesgos | 186 |
| | 4.4. | Uso del equipo de protección personal | 189 |

| | |
|---|-----|
| 4.5. Principio de funcionamiento de los separadores del molino | 191 |
| CONCLUSIONES | 193 |
| RECOMENDACIONES | 195 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 197 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Estructura organizacional a nivel gerencial..... | 3 |
| 2. | Proceso de fabricación del cemento | 8 |
| 3. | Estructura del departamento de mantenimiento mecánico | 13 |
| 4. | Factores que afectan a la percepción del riesgo | 20 |
| 5. | Niveles de riesgo | 27 |
| 6. | Rombo NFPA 704..... | 29 |
| 7. | Molino con clasificador de turbina y triple compuerta de alimentación..... | 57 |
| 8. | Molino con doble cono clasificador | 58 |
| 9. | Compuerta principal..... | 68 |
| 10. | Forma de sacar un rodo del molino | 71 |
| 11. | Retiro/levantamiento eje del rodo | 75 |
| 12. | Base del rodo A/B..... | 77 |
| 13. | Levantado de soporte y mesa..... | 80 |
| 14. | Caja de engranes (reductor) | 83 |
| 15. | Retiro de la caja de engranes | 83 |
| 16. | Ensamble del rodo | 94 |
| 17. | Secuencia para torque de tornillo | 95 |
| 18. | Inclinación del rodo hacia adentro del molino | 98 |
| 19. | Puntos de medición en un reductor de ángulo recto..... | 111 |
| 20. | Espectrogramas..... | 112 |
| 21. | Huellas de los contactos de los dientes | 115 |
| 22. | Perfil mesa de molienda | 123 |

| | | |
|-----|--|-----|
| 23. | Planta de la mesa de molienda | 124 |
| 24. | Detalle segmento de la mesa | 124 |
| 25. | Forma de sacar la coraza del rodo | 130 |
| 26. | Calibración de los rodamientos | 134 |
| 27. | Ensamble del eje del rodo | 142 |
| 28. | Precarga del resorte | 151 |
| 29. | Holgura entre el brazo del rodo y el tope del resorte..... | 154 |
| 30. | Pirámide para gestión del riesgo | 189 |

TABLAS

| | | |
|------|--|-----|
| I. | Estimación del riesgo | 28 |
| II. | Datos de la holgura del rodamiento..... | 135 |
| III. | Partes del ensamble del eje | 143 |
| IV. | Lista de partes de precarga del resorte..... | 152 |
| V. | Localización y solución de problemas del molino..... | 179 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| Símbolo | Significado |
|-----------------------|---------------------|
| cm | Centímetro |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| kg | Kilogramos |
| lb | Libra |
| CO | Monóxido de carbono |
| M | Metro |
| mm | Milímetro |
| N₂ | Nitrógeno gaseoso |
| O₂ | Oxígeno gaseoso |
| pulg | Pulgada |

lb-pie

Torque, expresado en libras por pie

°C

Temperatura en grados Celsius

°F

Temperatura en grados Fahrenheit

GLOSARIO

| | |
|--------------------------------|--|
| Bastidor de inclinación | Estructura conformada por dos poleas, que se utiliza para bajar o sacar el rodo dentro del molino. |
| Birlo | Tornillo |
| Brida | Elemento que une dos componentes, permitiendo ser desmontados con facilidad, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión. |
| Buje | Elemento de una máquina donde se apoya y gira un eje. |
| Chaveta | Es una pieza de sección rectangular o cuadrada que se inserta entre dos elementos que deben ser solidarios entre sí, para evitar que se produzcan deslizamientos de una pieza sobre la otra. |

| | |
|-----------------|--|
| Clapeta | Compuerta del alimentador del molino. Regula la cantidad de Pet Coke que ingresa al molino. |
| Coraza | Elemento de desgaste, que forma parte del rodo. Éste hace contacto con la mesa de molienda. |
| Eslinga | Una eslinga es un tramo de un material flexible y resistente, ya sea textil, fabricada a partir de fibras químicas o de cables de acero. |
| Estrobo | Es un tramo relativamente corto de un material flexible y resistente (típicamente cable de acero), con sus extremos en forma de ojales debidamente preparados para sujetar una carga y vincularla con el equipo de izaje que ha de levantarla. |
| Grillete | Es un arco semicircular de hierro, cuyos extremos se aseguran con un perno y se utiliza para enganchar o levantar cargas. |

| | |
|------------------------|---|
| Interbloqueador | Interruptor de seguridad |
| NFPA | National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego). |
| OHSAS | Occupational Health & Safety Management Systems (Sistemas de Gestión de Salud y Seguridad Ocupacional). |
| Perno de anillo | Son tornillos de acero para propósitos especiales, para ser usados donde cargas de tensión son aplicadas y tienen un anillo en un extremo. |
| Pet coke | El Pet coke o coke de petróleo es una forma sólida de carbón, producido a partir de la descomposición térmica y polimerización de los residuos que derivan de la destilación del petróleo crudo. Es de color negro o gris oscuro y que puede ser utilizado como combustible. |

RESUMEN

Para la fabricación de cemento se necesita una gama de equipos para todo el proceso, el cual debe permanecer siempre con alta disponibilidad y buen funcionamiento para no afectar la producción, pero para que esto se cumpla, el departamento de mantenimiento mecánico es el encargado de velar para que todos los equipos estén en óptimas condiciones, para ello, hace uso de herramientas y diversos tipos de mantenimiento.

Tomando aspectos como la reducción de costos para la producción de Clinker (material base para la producción de cemento) a través de combustibles alternativos, la planta cuenta con molinos verticales, los cuales son utilizados para pulverizar Pet coke o carbón mineral, que posteriormente se usará como combustible en los hornos. Debido a la importancia que tienen estos molinos deben realizarse buenas prácticas en el mantenimiento para que tengan buen funcionamiento y así poder suministrar constantemente este combustible.

Pero para tener un mantenimiento exitoso no solo basta con que el equipo funcione correctamente sino que también se realice sin que el personal involucrado sufra algún incidente, por lo que se aborda el tema de análisis de riesgos, el cual ayudará a poder identificarlos y establecer medidas de control para generar un ambiente y una cultura de trabajo seguro.

OBJETIVOS

General

Elaborar material de apoyo para el mantenimiento de los molinos, asistiendo al personal involucrado con la identificación y solución de problemas, como también ayudar a la mejora continua de los trabajos de mantenimiento a través del trabajo seguro.

Específicos

1. Realizar una guía básica y de fácil interpretación.
2. Recopilar información específica del molino, el cual facilitará la búsqueda de partes críticas.
3. Identificación de prácticas de mantenimiento mecánico en molinos de Pet coke.
4. Realizar un análisis de riesgos, en la práctica del mantenimiento del molino.

INTRODUCCIÓN

En el primer capítulo se describe información general de la empresa donde se realizó el trabajo, misión y visión, estructura organizacional, el proceso para la fabricación y tipos de cemento. También una breve descripción del departamento mecánico.

Seguidamente, en el segundo capítulo, se hace un enfoque a la seguridad ocupacional en las tareas de mantenimiento. Se realiza un análisis de riesgos, tomando en consideración, su ubicación, tipo de elementos en el proceso, equipos de protección personal a utilizar, así como el tipo de riesgo al cual están expuestos los trabajadores, promoviendo áreas de trabajo seguras, ordenadas e higiénicas por medio de la determinación de peligros y evaluación de riesgos. Teniendo como objetivo, proporcionar información al personal involucrado para realizar una tarea de forma segura, involucrándolos a vivir una cultura de seguridad.

En el tercer capítulo, se elabora la guía para el mantenimiento mecánico de los molinos de Pet coke, recopilando información específica de las partes críticas, asistiendo al personal con la identificación y solución de posibles problemas de los distintos equipos del molino a través de las buenas prácticas de mantenimiento. Dando énfasis en los procedimientos de desmontaje y montaje general, mantenimiento preventivo, instalación, ajustes y la puesta en servicio.

Finalmente, en el cuarto capítulo, se describen los temas desarrollados con el personal involucrado en el mantenimiento de los molinos con el fin de mejorar y ampliar sus conocimientos.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

1.1. Antecedentes de la empresa

Fue con mucha visión y con la idea clara de fundar una de las primeras fabricas de cemento en Latinoamérica, que un 18 de octubre de 1899, don Carlos Federico Novella Klee creó la empresa Carlos F. Novella y Cía. don Carlos se aventuró a invertir en una cementera ejerciendo desde ese momento un liderazgo transformador ya que en ese tiempo el cemento no era el material que en Guatemala se utilizaba para la construcción.

En 1901 se inició la comercialización del cemento producido en la finca La Pedrera. A raíz del terremoto de 1917 se inicio la verdadera demanda del producto ya que todas aquellas construcciones hechas con cemento soportaron las inclemencias de tal fenómeno natural.

La creciente demanda en el mercado creo la necesidad de incrementar la producción. En 1965 se adquirió la finca San Miguel Río Abajo en Sanarate, El Progreso.

En 1971 se inició la construcción de la primera línea en la planta San Miguel. Siete años después, en 1978, se construyó la segunda línea y se legalizó el nombre de Cementos Progreso, S.A. y en 1996 principió la construcción de la tercera línea que arrancó en 1998.

1.2. Visión y Misión

Visión

“Compartimos sueños, construimos realidades”

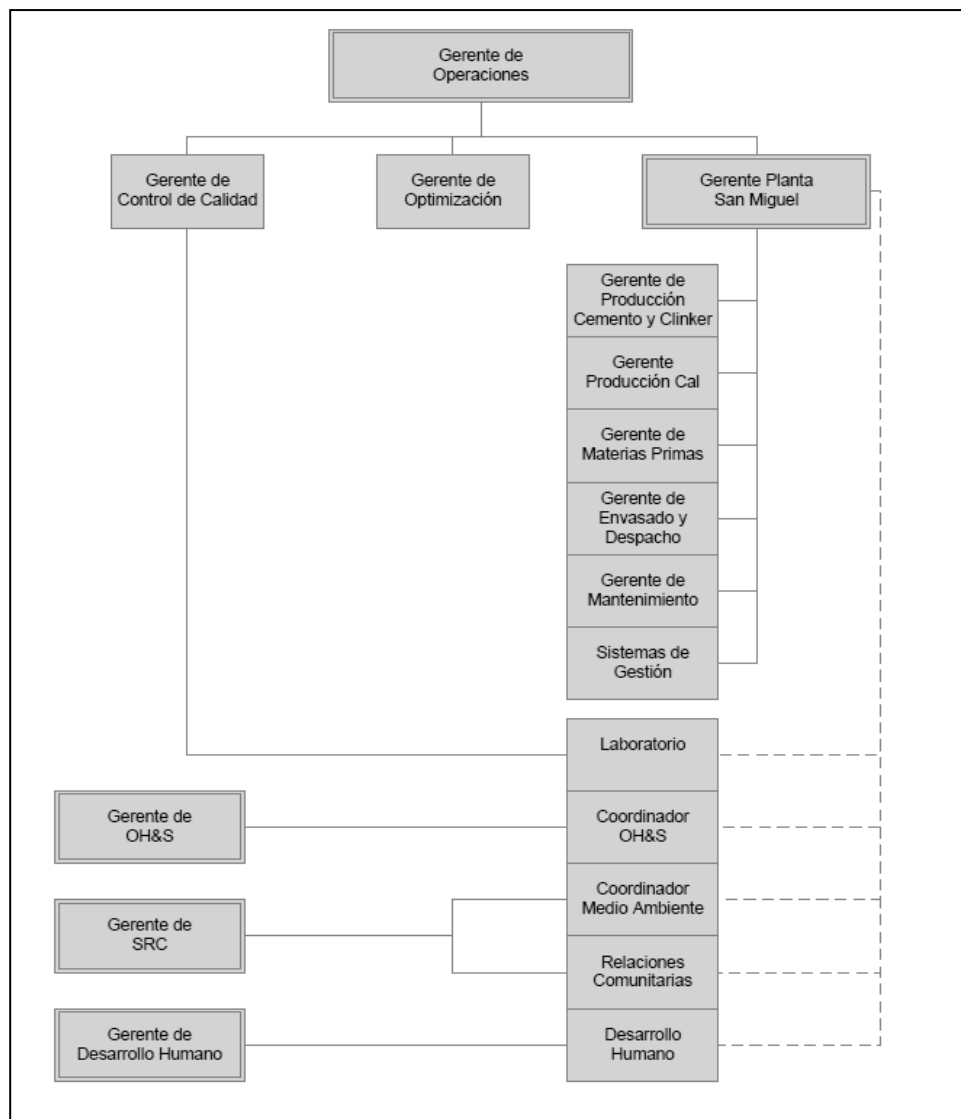
Misión

- Producir y comercializar cemento y otros materiales para la construcción acompañados de servicios de alta calidad.
- Abastecer con eficiencia el mercado y cultivar con los clientes una relación duradera para ser la mejor opción.
- Dar al personal la oportunidad de desarrollarse integralmente y reconocer su desempeño.
- Impulsar con los proveedores una relación de confianza, cooperación y beneficio mutuo.
- Contribuir al desarrollo de la comunidad, además de proteger y mejorar el ambiente.
- Garantizar a los accionistas una rentabilidad satisfactoria y sostenible.

1.3. Estructura organizacional

La estructura organizacional de cementos Progreso está conformada jerárquicamente como lo muestra en el siguiente organigrama.

Figura 1. Estructura organizacional a nivel gerencial



Fuente: Organización y desarrollo humano de la cementera.

1.4. Procesos para la fabricación de cemento

La fabricación del cemento es una actividad industrial de procesamiento de minerales que se divide en varias etapas, el cemento Portland se produce pulverizando clinker (consiste en silicatos y aluminatos de calcio) y sulfato de calcio (yeso) y en el caso de los cementos Portland adicionados, se utilizan además otros materiales (calizas, puzolanas, escorias de alto horno, etcétera).

Los materiales para la fabricación deben contener la adecuada proporción de cal, hierro, sílice y aluminio. Durante la manufactura, los materiales se analizan con frecuencia en todas las etapas del proceso para asegurar la calidad y uniformidad requeridas.

Aunque el proceso de fabricación del cemento ha ido cambiando con el avance de la tecnología, básicamente para obtenerlo son indispensables los siguientes pasos:

- Extracción de materia prima
- Trituración y prehomogenización
- Molienda de harina cruda
- Clinkerización
- Molienda de cemento
- Empaque y despacho

1.4.1. Extracción de materia prima

Las principales materias primas para la fabricación del cemento provienen directamente de las canteras. Estas consisten en piedra caliza y esquisto, que son extraídos utilizando explosivos o tractores.

Para poder controlar la calidad de los materiales, se cuenta con un modelo geoestadístico computarizado de la composición química de la cantera, lo que asegura la utilización racional de los recursos a corto, mediano y largo plazo.

1.4.2. Trituración y prehomogenización

La segunda etapa del proceso consiste en la reducción del tamaño de los minerales provenientes de las canteras por medio de trituración, los cuales pueden tener tamaños hasta de un metro de diámetro. Durante esta etapa puede efectuarse la primera mezcla entre calizas y esquistos, de acuerdo con estándares químicos según el tipo de cemento a producirse.

La composición química de la mezcla de minerales es determinada en línea, a través de un analizador de neutrones, lo que permite que durante el proceso de trituración se realicen ajustes continuos en la proporción de materiales. Finalmente, debido al proceso de almacenaje que se lleva a cabo en la galera de prehomogenización, se reducen las variaciones en la calidad del material para lotes tan grandes como 20 000 t, los que quedan listos para ser utilizados en la siguiente etapa.

1.4.3. Molienda de harina cruda

Durante este proceso continúa la reducción de tamaño y el secado de los minerales, previo a ser sometidos a altas temperaturas en los hornos. Los molinos reciben los minerales triturados y prehomogenizados y en ellos se realiza simultáneamente la mezcla y pulverización de los mismos.

El producto es un polvo muy fino, por ello llamado harina cruda, con la composición química adecuada para el tipo de cemento que se esté produciendo y con la menor variación posible para lo que se somete a una homogenización final en silos especiales. El control de calidad de la harina cruda es muy importante, por lo que en la planta se cuenta con analizadores a base de rayos X, que pueden realizar análisis químicos completos en tiempos muy cortos (1 minuto) y con gran precisión.

1.4.4. Clinkerización

La harina cruda proveniente de los silos es alimentada a hornos rotatorios en los que el material es calcinado y semifundido al someterlo a altas temperaturas (1 450 °C), aquí se llevan a cabo las reacciones químicas entre los diferentes óxidos de calcio, sílice, aluminio y hierro, que se combinan para formar compuestos nuevos que son enfriados rápidamente en la parte final del horno. Al producto enfriado de los hornos se le da el nombre de clinker y normalmente es granulado, de forma redondeada y de color gris oscuro.

En la planta se tienen tres hornos con una capacidad total de diseño de 6 200 toneladas/día de producción de clinker y pueden usar combustibles derivados del petróleo, carbón, Pet coke y otros combustibles alternativos.

1.4.5. Molienda de cemento

El siguiente paso en el proceso de producción de cemento es la molienda del clinker producido en los hornos, en forma conjunta con otros minerales que le confieren propiedades específicas al cemento. El yeso, por ejemplo, es utilizado para el tiempo de fraguado (o endurecimiento) de la mezcla de cemento y agua para permitir su manejo.

También se pueden adicionar otros materiales como las puzolanas o arenas volcánicas, las que producen concretos más duraderos, impermeables y con menor calor de hidratación que un cemento Portland ordinario compuesto solo por clinker y yeso.

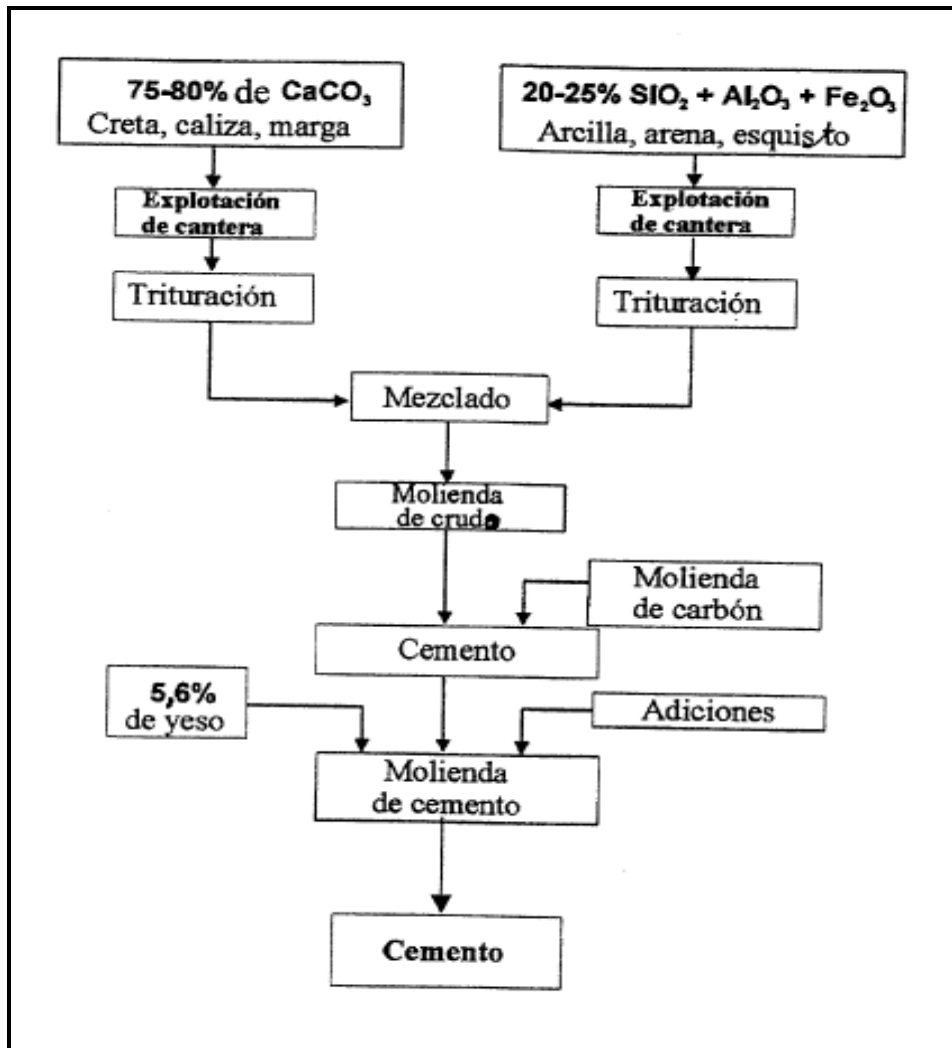
En la planta se cuenta con dos molinos tradicionales de bolas y dos molinos verticales de rodillos los primeros instalados en América, los cuales son de gran capacidad: 140 toneladas/hora y con una alta eficiencia energética.

1.4.6. Empaque y despacho

Finalmente, el cemento producido y almacenado en silos puede ser despachado en pipas a granel para los grandes consumidores o envasado en sacos.

El peso neto utilizado tradicionalmente en Centroamérica para el cemento en sacos es de 42,5 kilogramos. En la planta se cuenta con cuatro líneas de envasado, dos de ellas totalmente automatizadas y con capacidad de paletizar 3 000 sacos/hora cada una, y otras dos de 2 000 sacos/hora cada una, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2. **Proceso de fabricación de cemento**



Fuente: F. L. & Smidth. *Mantenimiento mecánico de molinos verticales*. p. 8.

1.5. Tipos de cemento

El cemento cuenta con gran variedad; y dicha clasificación depende del uso que se le dará.

1.5.1. Cemento UGC

Cemento para uso general en la construcción. Su clase de resistencia mínima es de 4 000 lb por pulgada cuadrada (28 N / mm²).

1.5.2. Cemento blanco

Es un cemento Portland blanco tipo III. Utilizado generalmente para: prefabricados de hormigón y a veces en edificios de hormigón visto. En albañilería se utiliza en lechadas para sellar las juntas de azulejos o de baldosas de suelo.

1.5.3. Cemento para fabricar blocks

Es un cemento Portland de alta resistencia inicial para fabricantes de bloques de concreto, tubos y otros elementos prefabricados de concreto.

1.5.4. Cemento estructural

Es un cemento Portland de excelente calidad para casos donde se requieren estructuras con mayores resistencias mecánicas.

1.5.5. Cemento Pegablock

Está diseñado para trabajos en donde se requieran principalmente propiedades ligantes aglutinantes.

1.5.6. Cemento ARI

Alcanza alta resistencia mecánica inicial, diseñado para desencofrado rápido en procesos industriales.

1.5.7. Cemento BLK

Está especialmente diseñado para la fabricación de block. Está formulado para alcanzar alta resistencia inicial y permite un desentablado en menor tiempo.

1.5.8. Cemento CPR

Está diseñado para la construcción de elementos pre y postensados y elementos prefabricados.

1.5.9. Cemento para pavimentos

Diseñado para soportar el tráfico pesado, ofreciendo larga vida útil en los trabajos de pavimentación.

1.5.10. Cemento tipo V para obras marinas

Es un cemento Portland fabricado para ser utilizado especialmente en casos donde se requiera un concreto con una alta resistencia al ataque de sulfatos.

1.5.11. Cemento Pozos Petroleros

Cemento con alta resistencia a sulfatos y elementos orgánicos, usados para sellar pozos de petróleo, se fabrican normalmente con clínker de cemento portland o de cementos hidráulicos adicionados.

1.5.12. Cemento Escorpión

Para clima cálido y seco. Corresponde a una categoría de resistencia de 4000 psi (28 N/mm²), expresada como medida de fuerza por unidad de área, en libras por pulgada cuadrada.

1.5.13. Cemento La Cantera

Para clima templado. Tiene la ventaja adicional de tener cualidades que el pórtland ordinario mencionado no tiene, como lo son: un menor calor de hidratación y mayor resistencia a sulfatos y agentes agresivos.

1.5.14. Cemento Tropical

Para clima cálido y húmedo. Es un cemento pórtland con adición de puzolana natural para todo tipo de uso en la construcción.

1.5.15. Cemento La Montaña

Para clima frío y húmedo. Además de ser un cemento para todo uso, tiene las cualidades de ser de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a sulfatos.

1.6. Departamento de mantenimiento mecánico

Este departamento a todo sistema o empresa que desee aumentar la confiabilidad o la vida útil de sus activos, uno de los aspectos más importantes del mantenimiento de los equipos, maquinarias e instalaciones, es aplicar un adecuado plan de mantenimiento que aumente la vida útil de éstos reduciendo la necesidad de los repuestos y minimizando el costo anual del material usado.

1.6.1. Visión y Misión

Visión

Ser el departamento mecánico modelo para plantas de cemento.

Misión

Ser un equipo que planifica, ejecuta, controla y evalúa el mantenimiento mecánico de las áreas productivas y de apoyo dentro de la planta de producción de cemento, para lograr una alta disponibilidad mecánica, acorde a los objetivos de calidad de la empresa, asegurando un óptimo funcionamiento de la maquinaria y los equipos.

Buscamos ser la primera opción de nuestros clientes basados en la confianza y credibilidad en nuestro trabajo y en la calidad del servicio prestado.

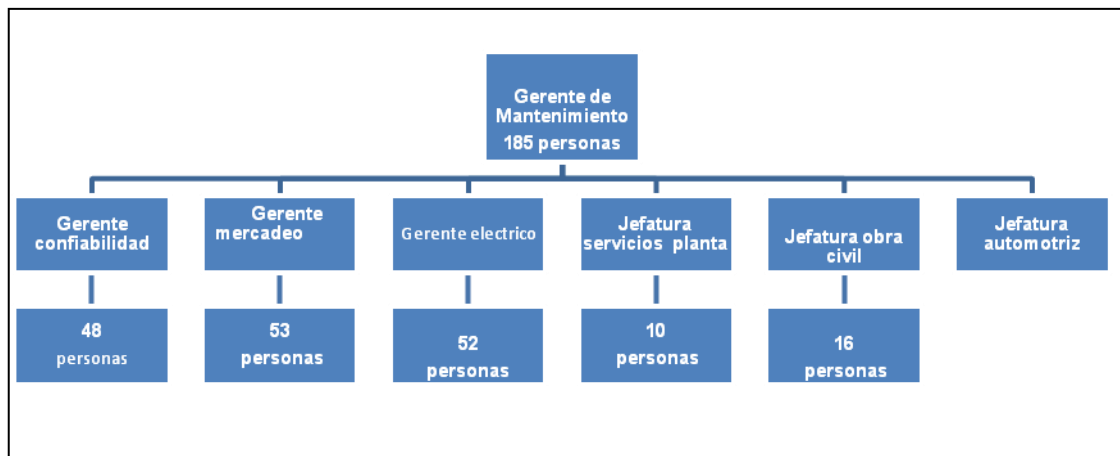
1.6.2. Función

Realizar los mantenimientos a los equipos e instalaciones para conservarlos en óptimas condiciones y puedan desempeñar sus funciones para los cuales fueron diseñados.

1.6.3. Estructura

La estructura organizacional del departamento de mantenimiento mecánico se muestra en la siguiente figura.

Figura 3. Estructura del departamento mantenimiento mecánico



Fuente: elaboración propia.

2. FASE DE INVESTIGACIÓN

2.1. Conceptos generales básicos

Esta fase conlleva muchos conceptos los cuales serán útiles para realizar una buena gestión dentro del departamento de mantenimiento de la cementera, tomando en cuenta los siguientes apartados.

2.1.1. Condiciones de trabajo

Las condiciones de trabajo son todos aquellos componentes que se encuentran en el área, cuando se realizan las actividades diarias.

Los componentes de las condiciones de trabajo son: ambiente, procesos y prácticas de trabajo.

2.1.2. Salud y seguridad en el trabajo

La salud es el más alto grado de bienestar físico, mental y social, no sólo la usencia de enfermedad (Organización Mundial de la Salud, OMS).

La seguridad en el trabajo es el conjunto de técnicas y actuaciones encaminadas a eliminar o reducir los riesgos de daños materiales y lesiones personales. Las condiciones de trabajo inadecuadas alteran la salud y la seguridad.

2.1.3. Incidente

Evento relacionado al trabajo que causa o puede causar una lesión a la salud (enfermedad) o la muerte.

2.1.4. Prevención

Es el conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de actividad de la organización con el fin de evitar o disminuir los incidentes.

2.1.5. Peligro

Acción, fuente o situación con potencial para causar una lesión o daño a la salud del ser humano.

2.1.6. Riesgo laboral

Combinación entre la probabilidad de ocurrencia o exposición a un evento peligroso y la severidad de la lesión o daño a la salud causada por dicho acontecimiento.

2.1.7. Emergencia

Es un evento repentino, que puede comprometer la vida, bienes, ambiente y que exige tomar medidas inmediatas para minimizar sus consecuencias.

2.1.8. Control de emergencias

Son todos aquellos pasos lógicos que servirán para atender, manejar y solucionar todas aquellas situaciones que comprometan el entorno laboral, el personal y los bienes de la empresa.

2.1.9. Gestión de riesgos

Es el proceso dirigido a identificar peligros, evaluar y controlar los riesgos, que pueden encontrarse dentro de las instalaciones de la planta.

2.2. Riesgo

Combinación entre la probabilidad de ocurrencia o exposición a un evento peligroso y la severidad de la lesión o daño a la salud causada por dicho acontecimiento.

2.3. Tipos de riesgo desde el punto de vista general

Existe una clasificación para los riesgos dependiendo del nivel de peligrosidad que presentan para los trabajadores; los cuales se muestran a continuación.

2.3.1. Riesgos de categoría A

Son los acontecimientos inevitables y aceptados, sin compensación (por ejemplo, morir fulminado por un rayo).

2.3.2. Riesgos de categoría B

Evitables, en principio, pero que deben considerarse inevitables si se quiere integrar plenamente en la sociedad moderna (por ejemplo, morir en un accidente aéreo o de automóvil).

2.3.3. Riesgos de categoría C

Normalmente son acontecimientos evitables, voluntarios y con compensación (por ejemplo, practicar un deporte peligroso).

2.4. Riesgo desde el punto de vista de las actividades industriales

Los riesgos se pueden y deben clasificarse según la actividad que se lleve a cabo en la empresa.

2.4.1. Riesgos convencionales

Son los acontecimientos o situaciones relacionadas con la actividad productiva y el equipo existentes en cualquier sector de la empresa, por ejemplo (electrocución, caídas).

2.4.2. Riesgos específicos

Asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos o radioactivos).

2.4.3. Riesgos mayores

Relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar en áreas considerables (escape de gases y explosiones).

2.5. Tolerabilidad del riesgo

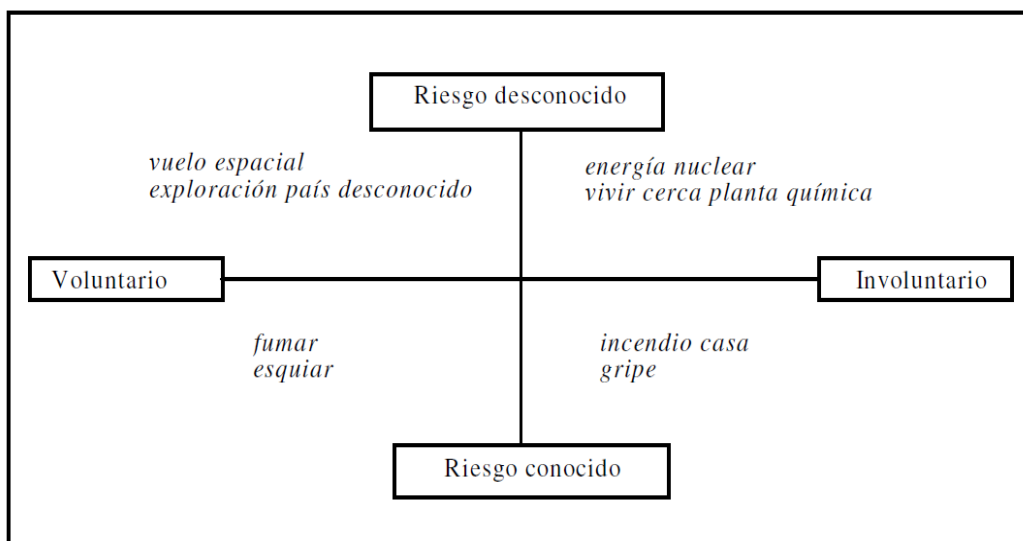
Los sentimientos de una persona o de un grupo de personas enfrentadas a un determinado riesgo dependen de muchas circunstancias y de hecho, este tema es más propio de psicólogos y sociólogos que de técnicos; por esta razón este aspecto se tratará aquí de forma muy sencilla.

Entre los factores que afectan la actitud de un individuo que se encuentra sometido a un riesgo concreto, hay dos que juegan un papel fundamental: el conocimiento/desconocimiento de las características del peligro en cuestión y el hecho de que el riesgo sea sufrido voluntariamente o no.

Muchos de los riesgos tecnológicos no son adecuadamente conocidos por la gran mayoría de la población; así, el peligro que puede conllevar la radioactividad, una industria química, un vertedero de residuos industriales o un oleoducto es a menudo mal interpretado y a veces magnificado por la ignorancia o la mala información. Por otro lado, la mayoría de estos riesgos pueden considerarse impuestos a la población, que no ha escogido voluntariamente (la elección se ha hecho sin conocimiento o bien forzada por las circunstancias) vivir o trabajar cerca de una determinada instalación.

Estos dos factores permiten clasificar los riesgos de manera un tanto esquemática en cuatro categorías, según la percepción social: los voluntarios y conocidos, los voluntarios y desconocidos, los conocidos e involuntarios y, finalmente, los desconocidos e involuntarios.

Figura 4. **Factores que afectan a la percepción del riesgo**



Fuente: CASAL, Joaquim. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. p.25.

Los riesgos pertenecientes a estas cuatro categorías son muy distintos entre sí y, por lo tanto, compararlos no tiene ningún sentido. Desgraciadamente muchos de los riesgos tecnológicos se corren involuntariamente y son desconocidos o deficientemente conocidos como se pudo ver en la figura 4.

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que la sociedad se atemoriza más por los accidentes que representan un impacto social, como la muerte simultánea de un grupo de personas, que por los que golpean individuo a individuo y afectan de forma directa solamente a un colectivo, mucho más pequeño. Y esto ocurre aunque el riesgo de este accidente individual sea relativamente mayor que el que afecta al grupo. Es decir, pese a que estadísticamente se pueda demostrar que este riesgo individual provoca, una a una, al cabo de cierto tiempo, más víctimas que el otro, ello no suele modificar el sentimiento colectivo.

2.6. Proceso del análisis del riesgo

El análisis del riesgo consiste en la identificación de peligros asociados a cada fase o etapa del trabajo y la posterior estimación de los riesgos teniendo en cuenta conjuntamente la probabilidad y las consecuencias en el caso que el peligro se materialice.

2.6.1. Identificación de peligros

Para la identificación de los peligros que pueden existir se hace uso de la siguiente clasificación para hacerlo más eficiente a la hora de buscar o identificar los mismos.

2.6.1.1. Peligros mecánicos

Son los factores físicos que pueden dar lugar a una lesión por la acción mecánica de los elementos de máquinas, herramientas, piezas a trabajar, materiales sólidos o fluidos.

El peligro mecánico generado por partes o piezas de la máquina, está condicionado fundamentalmente por:

- La presencia de lados cortantes o puntiagudos
- Las posibles zonas de atrapamiento
- Su estabilidad
- Su velocidad de funcionamiento
- Su resistencia mecánica a la rotura o deformación
- Por la acumulación de energía o depósitos de presión

Existen otros peligros asociados con la naturaleza mecánica y las máquinas, tales como patinazos o pérdidas de equilibrio y los relacionados con el mantenimiento de la máquina o sus piezas móviles.

Las principales formas de peligro mecánico son:

Aplastamiento, cizallamiento, corte, enganche, atrapamiento o arrastre, impacto, punzonamiento, fricción o abrasión, proyección de fluido a alta presión.

2.6.1.2. Peligros físicos

Se refiere a todos aquellos factores ambientales que dependen de las propiedades físicas de los cuerpos, tales como carga física, ruido, iluminación, ventilación, temperatura elevada, presión y vibración, que actúan sobre los tejidos y órganos del cuerpo del trabajador y que pueden producir efectos nocivos, de acuerdo con la intensidad y tiempo de exposición de los mismos.

2.6.1.3. Peligros de incendios

El incendio es un incidente producido por un fuego no controlado que puede abrasar algo que no está destinado a quemarse y para evitarlo es necesario considerarlo como tal. Cualquiera que sea el grado de intensidad o magnitud de un incendio, siempre van a existir daños y estos, a su vez, representan pérdidas, es decir, tienen un costo.

Lo importante es que cada empresa determine sus propias causas potenciales, para lo cual deben identificarse las zonas de mayor peligro, la potencialidad de cada peligro, etcétera. El primer paso para que una empresa pueda prevenir incendios es determinar sus propios peligros que pueden ser causas de incendios. El objetivo principal para prevenir incendios, es evitar que el fuego se produzca. En aquellas operaciones donde se utilice el fuego, este debe mantenerse bajo control. Los mayores esfuerzos deben estar orientados a evitar que el fuego se produzca. Aún cuando se cuente con muy buenos equipos de extinción y se esté bien entrenado en su uso, siempre es mejor prevenir. El sólo inicio de un incendio ya es un fracaso.

La prevención de incendio consiste en impedir que se combinen los tres elementos que dan origen al fuego (combustible, calor y el oxígeno). La mayoría de los incendios pueden ser evitados a través de buenos programas de capacitación, que tienden no tan sólo a entregar conocimientos sino que, además, a formar y cultivar el sentido de responsabilidad.

2.6.1.4. Peligros eléctricos

Se refiere a los sistemas eléctricos de las máquinas, equipos, herramientas e instalaciones en general, que conducen o generan energía y que al entrar en contacto con las personas, pueden provocar, entre otras lesiones, quemaduras, choque, fibrilación ventricular (trastorno al ritmo cardíaco), según sea la intensidad de la corriente y el tiempo de contacto. Para ello el personal deberá contar y utilizar adecuadamente su equipo de protección personal además de aislar todo el equipo al realizar alguna tarea.

2.6.1.5. Peligros ergonómicos

Involucra todos aquellos agentes o situaciones que tienen que ver con la adecuación del trabajo o los elementos de trabajo a la fisonomía humana. Representan factor de riesgo los objetos, puestos de trabajo, máquinas, equipos y herramientas cuyo peso, tamaño, forma y diseño pueden provocar sobre-esfuerzo, así como posturas y movimientos inadecuados que traen como consecuencia fatiga física y lesiones osteomusculares (músculo, hueso o articulación).

2.6.2. Evaluación del riesgo y asignación de prioridades a los mismos

La evaluación del riesgo constituye la base fundamental de partida para la acción preventiva, ya que a partir de la información obtenida con la valoración podrán adoptarse las decisiones precisas sobre la necesidad o no de cometer acciones preventivas. Estando considerada como un instrumento esencial del sistema de gestión de la prevención de riesgos laborales.

Con la evaluación de riesgos se alcanza el objetivo de facilitar a la empresa la toma de medidas adecuadas para poder cumplir con su obligación de garantizar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores y comprende estas medidas: prevención de los riesgos laborales, información a los trabajadores, formación a los trabajadores, organización y medios para poner en práctica las medidas necesarias.

Con la evaluación de riesgos se consigue

Identificar los peligros existentes en el lugar de trabajo y evaluar los riesgos asociados a ellos, con el fin de determinar las medidas que deben tomarse para proteger la seguridad y la salud de los trabajadores.

Efectuar una elección adecuada sobre los equipos de trabajo, los preparados o sustancias químicas empleadas, el acondicionamiento del lugar de trabajo y la organización de este. Comprobar si las medidas existentes son las adecuadas.

Establecer prioridades en el caso que sea preciso adoptar nuevas medidas como consecuencia de la evaluación.

Comprobar y hacer ver a la administración laboral, trabajadores y sus representantes que se han tenido en cuenta todos los factores de riesgo y que la valoración de riesgos y las medidas preventivas están bien documentadas.

Comprobar que las medidas preventivas adoptadas tras la evaluación garantizan un mayor nivel de protección de los trabajadores.

2.6.2.1. Probabilidad de daño

Valorar los riesgos existentes (su gravedad, probabilidad, etcétera) y clasificarlos por orden de prioridad. Es primordial dar prioridad al trabajo necesario para eliminar o prevenir los riesgos.

- Probabilidad alta, el daño ocurrirá siempre o casi siempre
- Probabilidad media, el daño ocurrirá en algunas ocasiones
- Probabilidad baja, el daño ocurrirá raras veces

Para ello, se considera necesaria hacer varias preguntas al respecto, ¿son adecuadas las medidas de control existentes?, ¿el trabajador es sensible a los riesgos?, ¿cuál es la frecuencia de exposición al peligro?, ¿hay protección adecuada al peligro?, ¿el operador conoce procedimientos en caso de emergencia?, ¿se conoce la operatividad de los dispositivos de protección?

2.6.2.2. Determinación del riesgo

La severidad o consecuencia se basa en:

- Ligeramente dañino: escoriaciones, cortes, rasguños, irritaciones en los ojos y dolor de cabeza.
- Dañino: laceraciones; quemaduras, torceduras, fracturas menores, trauma acústico y trastorno músculo esquelético.
- Extremadamente dañino: amputaciones, fracturas, intoxicaciones, lesiones múltiples y lesiones fatales.

2.6.2.3. Niveles de riesgo

A continuación en la figura 5 se muestran dichos niveles de acuerdo con la probabilidad de incidencia.

Figura 5. Niveles de riesgo

| | | | | |
|---------------------------------|-------|----------------------------------|-------|------|
| PROBABILIDAD DE OCURRENCIA ↑ | ALTA | M | I | IN |
| | MEDIA | TO | M | I |
| | BAJA | T | TO | M |
| | | BAJA | MEDIA | ALTA |
| | | SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS → | | |

Estimación del riesgo
T : Trivial
TO: Tolerable
M : Moderado
I : Importante
IN : Intolerable

Fuente: CORTÉS DÍAZ, José María. *Técnicas de prevención de riesgos laborales*. p. 113.

2.6.2.4. Estimación del riesgo

En este proceso existen cantidad de riesgos para ello se hace necesario clasificarlos como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla I. **Estimación del riesgo**

| Riesgos | Acción y temporización |
|--------------------|--|
| Riesgo trivial | No se requiere acción específica |
| Riesgo tolerable | No se necesita mejorar la acción preventiva, pero se deben considerar soluciones más rentables. Se requiere verificaciones. |
| Riesgo moderado | Se debe reducir el riesgo en un tiempo determinado. Cuando está asociado con consecuencias extremadamente dañinas se precisa una acción posterior. |
| Riesgo importante | No se debe comenzar el trabajo hasta que no se minimice el riesgo. Si el trabajo está en proceso debe remediarse el problema en un tiempo inferior al riesgo moderado. |
| Riesgo intolerable | No se debe iniciarse ni continuar el trabajo hasta que no se minimice el riesgo, en caso contrario debe prohibirse el trabajo. |

Fuente: CASAL, Joaquim. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. p. 35.

2.6.2.5. Rombo NFPA

El Código NFPA 704, establece un sistema de identificación de riesgos para que en un eventual incendio o emergencia, las personas afectadas puedan reconocer los riesgos de los materiales y su nivel de peligrosidad respecto del fuego, aunque estos no resulten evidentes.

Este código ha sido creado para la utilización específica de los cuerpos de bomberos. Consiste en una etiqueta que consta del nombre del material y cuatro secciones con un color asignado en cada caso.

Figura 6. **Rombo NFPA 704**



Fuente: <http://www.loa.org.ar/legNormaDetalle.aspx?id=17463>

[Consulta: marzo de 2011].

2.6.2.5.1. Riesgo por inflamabilidad

Se considera inflamabilidad a la capacidad de los materiales para quemarse. Muchos materiales que se quemarían bajo ciertas condiciones, no queman bajo otras. La forma o condición del material y las propiedades inherentes, afectan al riesgo.

2.6.2.5.2. Riesgo para la salud

Se considera la capacidad del material para producir lesiones por contacto con la piel, ingestión o inhalación. Solo se considerarán los riesgos que pongan de manifiesto alguna propiedad inherente del material. No se incluyen las lesiones causadas por el calor del incendio ni por la fuerza de explosiones.

El riesgo para la salud en la lucha contra el fuego o en otra condición de emergencia es mortal, de modo que una explosión simple puede variar desde unos pocos segundos hasta más de una hora. Además, es de esperar que el despliegue físico que demanda combatir un incendio y las condiciones de emergencia intensifiquen los efectos de cualquier exposición.

Hay dos fuentes de riesgo para la salud. Una tiene que ver con las propiedades inherentes del material y la otra con los productos de la combustión o de su descomposición. El grado de riesgo se asignará sobre la base del mayor riesgo que pueda existir bajo el fuego o en otras situaciones de emergencia. No se incluyen los riesgos comunes derivados de la combustión de los materiales combustibles comunes.

La valoración del riesgo para la salud indicará al personal de bomberos o emergencia alguna de las informaciones siguientes:

- Trabajar con seguridad con el equipo de protección especializado
- Trabajar en forma segura con el equipo de protección respiratoria adecuado.
- Trabajar con seguridad en el área con ropa ordinaria

2.6.2.5.3. Riesgo por reactividad

En esta parte se considera la capacidad de los materiales para liberar energía. Algunos materiales son capaces de liberar energía rápidamente por sí mismos, ya sea por autorreacción, por polimerización, o pueden desarrollar una violenta reacción eruptiva o explosiva cuando toman contacto con el agua, con otro agente extintor o con otros materiales.

La violencia de la reacción o de la descomposición de los materiales puede verse incrementada por el calor o por la presión, por otros materiales debido a la formación de mezclas combustible-oxidantes, o por contacto con sustancias incompatibles, contaminantes, sensibilizantes o catalíticas.

2.6.2.5.4. Riesgo especial

- Una letra W atravesada por una raya indica que el material puede tener reacción peligrosa al entrar en contacto con el agua. Esto implica que el agua puede causar ciertos riesgos, por lo que deberá utilizarse con cautela hasta que se esté debidamente informado.
- La letra OX indica si la sustancia es oxidante
- Aunque son símbolos no reconocidos por la NFPA 704, algunos usuarios utilizan las letras ALK para indicar sustancias alcalinas y ACID para ácidos.

2.6.3. Planificación de las medidas necesarias

En este proceso existen varias medidas necesarias para llevar a cabo una planificación y es por ello que se clasifican de la siguiente manera:

2.6.3.1. Política de salud y seguridad

Se deberá establecer y buscar niveles de excelencia en materias de salud y seguridad ocupacional para todos los trabajadores propios y colaboradores a través de la implementación de un sistema de gestión de mejoramiento continuo que contemple:

- Cumplir con la legislación vigente y los compromisos voluntariamente contraídos en materia de salud y seguridad ocupacional.
- Fomentar en los trabajadores una cultura preventiva en materia de salud y seguridad ocupacional mediante el liderazgo genuino y efectivo.
- Identificar, evaluar y controlar continuamente los riesgos de los proyectos así como en operaciones.
- Mantener informados a los trabajadores, autoridades y comunidad en general, acerca de la gestión de seguridad y salud ocupacional.

2.6.3.2. Reglas cardinales de salud y seguridad ocupacional

- Nunca pase por encima o interfiera con ninguna disposición de seguridad; ni permita que otras personas lo hagan, sin importar su nivel jerárquico.
- Las normas sobre el uso del equipo de protección personal correspondiente a una tarea determinada, deben cumplirse en todo momento.
- Los procedimientos de aislamiento y bloqueo deben cumplirse en todo momento.
- Está prohibido trabajar bajo la influencia de bebidas alcohólicas o drogas
- Se debe informar de todas las lesiones, daños o incidentes ocurridos, para su investigación.

2.6.3.3. Normas OHSAS 18 001

Muchas organizaciones implantan un Sistema de Gestión de la Salud y la Seguridad en el Trabajo (SGSST) como parte de su estrategia de gestión de riesgos para adaptarse a los cambios legislativos y proteger a su plantilla.

Un SGSST fomenta los entornos de trabajo seguros y saludables al ofrecer un marco que permite a la organización identificar y controlar coherentemente sus riesgos de salud y seguridad, reducir el potencial de accidentes, apoyar el cumplimiento de las leyes y mejorar el rendimiento en general.

OHSAS 18 001 es la especificación de evaluación reconocida internacionalmente para sistemas de gestión de la salud y la seguridad en el trabajo. Una selección de los organismos más importantes de comercio, organismos internacionales de normas y de certificación la han concebido para cubrir los vacíos en los que no existe ninguna norma internacional certificable por un tercero independiente.

OHSAS 18 001 se ha concebido para ser compatible con ISO 9 001 e ISO 14 001 con el fin de ayudar a las organizaciones a cumplir de forma eficaz con sus obligaciones relativas a la salud y la seguridad.

OHSAS 18 001 trata las siguientes áreas clave:

- Planificación para identificar, evaluar y controlar los riesgos
- Programa de gestión de OHSAS
- Estructura y responsabilidad
- Formación, concienciación y competencia
- Consultoría y comunicación

- Control de funcionamiento
- Preparación y respuesta ante emergencias
- Medición, supervisión y mejora del rendimiento

Cualquier organización que quiera implantar un procedimiento formal para reducir los riesgos asociados con la salud y la seguridad en el entorno de trabajo para los empleados, clientes y el público en general puede adoptar la norma OHSAS 18 001.

Implementar un sistema de gestión de seguridad y salud laboral/ ocupacional propicia las bases para minimizar los riesgos relevantes de salud, accidentes y otros por seguridad e higiene. Inclusive reducir litigación por efectos sobre personal externo a la organización. Esta gestión proporciona un mejor desempeño de las actividades y procesos, resultando en reducción de costos la cual favorece la imagen de la organización ante la comunidad y mercado a la cual la organización provee y beneficios a las utilidades y rentabilidad de la misma.

2.6.4. Control del riesgo

Este es un aspecto sumamente importante para el desarrollo de las actividades de toda empresa, es por ello que las definiciones, características y funciones se exponen a continuación.

2.6.4.1. Señalización industrial

La correcta señalización de un área puede salvar vidas. La disposición de carteles y señales indicativas en las empresas muchas veces son encomendados a especialistas que se encargan de observar los puntos visuales y optimizar la relación de espacio distribución de elementos dentro de ambientes industriales y empresariales. Las señalizaciones deben ser claras y simples, orientadas a la mayor visualización posible.

En la actualidad, la creciente importancia que se presenta en las empresas relacionada con la seguridad laboral, ha motivado que diferentes organismos estatales intervengan de una manera más comprometedora en el cumplimiento de normas de seguridad.

Las supervisiones en empresas y complejos industriales han desarrollado una mejora importante en el cumplimiento de señalizaciones de seguridad industrial. Estas son algunas de las señales más comunes dentro de la planta con la operación de los molinos:

2.6.4.2. Inspecciones de seguridad

Para ello, es necesario crear rutinas de inspección con las que se estarán evaluando el ambiente de trabajo, como el estado de las máquinas y equipos, las labores diarias de mantenimientos y que todos estos cumplan con las políticas y normas de seguridad establecidas por la empresa.

2.6.4.3. Orden y limpieza

Todos son responsables del orden y la limpieza del lugar de trabajo, las vías de acceso se deberán mantener libres de material y obstáculos, los materiales almacenables se colocarán previniendo su deslizamiento o caída, las rebanadas metálicas se depositarán en recipientes para basura y se debe evitar que el aceite lubricante o refrigerante se derrame, las colillas de los electrodos de soldadura y el desperdicio del corte de piezas, deben depositarse en recipientes especiales para ello.

2.6.4.4. Protección auditiva

El ruido puede dañar el oído y el sistema nervioso. La protección auditiva debe usarse en áreas requeridas y reemplazarlas si están en mal estado.

2.6.4.5. Protección respiratoria

En las áreas de concentración de polvo o gases, se deberá utilizar protección respiratoria adecuada y cambiar cuando esté defectuoso.

2.6.4.6. En el manejo manual de cargas

Levantar cargas de manera inadecuada puede causar serias lesiones. Piense antes de levantar una carga: no sobrestime su fuerza, si la carga es muy pesada (más de 25 kg o 50 lb), muy grande o muy difícil de maniobrar, consiga ayuda o utilice maquinaria. Caliente su cuerpo antes de hacer un esfuerzo, ponga sus pies en posición correcta y mantenga su espalda erguida. Asegúrese de escoger la ruta más segura y que el camino esté despejado.

2.6.4.7. Condiciones ambientales

En lluvia o viento se debe usar vestimenta adecuada. Si el trabajo está expuesto a altas temperaturas, deténgase periódicamente, descansa bajo la sombra y tome suficiente agua para estar hidratado.

2.6.4.8. Guardas de seguridad

Las guardas y dispositivos de seguridad no se deben remover o convertir en inoperables y estarán instalados en donde hay posibilidad de entrar en contacto directo con equipo en movimiento.

2.6.4.9. En alzamiento de cargas

El uso de equipos para levantar cargas es responsabilidad del supervisor del área o del montaje.

- Si necesitará usar grúa deberá tener permiso de trabajo.
- Se usarán cables guías cuando se necesite hacer oscilar la carga o guiarla en espacios muy restringidos.
- El equipo solo se utilizará para levantar y movilizar carga, ningún trabajador debe montarse sobre la carga o viajar junto a ella.
- Las cargas no deben balancearse sobre los trabajadores

- Todo eslingador (persona con capacidad y entrenamiento para colocar cables, eslingas, etcétera) debe resguardar la seguridad en el manejo del equipo para el levantamiento de cargas. Debe examinar los engranajes y comparar sus métodos de operación con otros programados y aceptados.
- El eslingador debe verificar que la carga quede firmemente amarrada y que la eslinga esté segura antes de dar la señal de levantamiento.
- Nunca use ganchos abiertos para subir a una persona ni cuando se pase material sobre personas. Si hay que usar ganchos, estos deben estar provistos de seguros para evitar que el alcance salga del gancho.
- Donde sea posible, los gatos hidráulicos serán usados con grúas móviles
- Usar eslingas dobles para manipular las cargas
- Donde sea posible, se usarán argollas o grilletes en lugar de ganchos

2.6.4.10. Uso correcto de equipo y herramienta de mano

El trabajador debe mantener sus herramientas en buenas condiciones.

- Está prohibido modificar las herramientas
- Las herramientas deben utilizarse solo para lo que fueron diseñadas
- No usar herramientas en mal estado, cámbielas

- Las herramientas con filos o puntas agudas estarán provistas de resguardos.
- Todo sitio de trabajo tendrá un lugar apropiado para guardar las herramientas, al transportarse, debe evitarse poner en riesgo a las personas.

2.6.4.11. En equipos móviles y grúas

- Es obligación de conductores y operadores revisar diariamente las condiciones y reportar cualquier anomalía.
- Solo el personal autorizado podrá operar equipos móviles
- Los conductores deben mantener su unidad siempre limpia, el extintor en óptimas condiciones y circular el área de trabajo.
- El operador de un equipo de izaje es responsable de la seguridad del mismo y los componentes izados.
- Está prohibido ejecutar maniobras a menos de 5 metros de las líneas de energía eléctrica.
- Es obligatorio el uso del cinturón de seguridad en todo tipo de vehículos, montacargas y grúas. Al transportar cargas suspendidas, la velocidad máxima es de 10 km/h.

2.6.4.12. Protección contra incendios

- El material inflamable se almacenará aislado de fuentes de ignición y con suficiente ventilación.
- El desperdicio inflamable (papel, basura, trapos con aceite o grasa) se debe retirar.
- Manipule líquidos inflamables, con cuidado, evite derrames, no utilice teléfonos celulares o aparatos eléctricos cerca de sustancias con bajo punto de ignición.
- Nunca utilice gasolina u otros líquidos como agentes de limpieza
- Deberá conocer la ubicación y funcionamiento de los distintos tipos de extintores.
- Siga instrucciones del plan de emergencias del área
- Nunca use agua para apagar fuegos eléctricos
- No deben utilizarse los extintores de CO₂ y polvo químico en presencia de corriente eléctrica.
- Los sistemas automáticos de CO₂ en espacios confinados pueden desplazar oxígeno en segundos y dejar a los colaboradores en riesgo de asfixia.

- Todo conato de incendio debe ser reportado y recuerde no quieren héroes.
- Siempre que utilice un extintor envíelo a recargar inmediatamente

2.6.4.13. En trabajos en altura

- A partir de 1,8 m sobre el nivel del suelo o de una estructura más baja, es obligatorio tener un permiso de trabajo en altura.
- Está prohibido subir por escaleras defectuosas o sobre material apilado
- Si alguien destinado a trabajos en alturas siente mareos u otra disposición deberá informar al supervisor antes de iniciar labores.
- Para trabajos en altura el uso del arnés de seguridad es obligatorio
- Se deberá inspeccionar el arnés y la línea de vida

2.6.4.14. En espacios confinados

- Antes de entrar a cualquier espacio confinado, debe tener el permiso respectivo y debe informar a todos los involucrados de la tarea a ejecutar.
- Tomar precauciones necesarias antes de entrar y mantenga a una persona en la entrada que monitoree su trabajo. Debe ser capacitado, tener equipo de rescate y el apoyo de personal entrenado en rescate en espacios confinados.

- Puede requerirse una prueba de atmósfera para evitar asfixia por falta del oxígeno necesario (19,5 % - 23,5 %). Si hay trabajos de soldadura, se necesitará completar el permiso de trabajo.

2.6.4.15. En soldaduras eléctrica, autógena y corte de metales

- Se deberá tener permiso para trabajo en caliente
- Los trabajos en los locales con materiales, polvos o vapores inflamables, se supervisarán por el jefe o supervisor del área respectiva.
- Si se utilizarán pinzas apropiadas para el portaelectrodo y la pinza para el cable de tierra, no se aceptarán improvisaciones.
- En soldaduras de metales con emanaciones tóxicas, los soldadores usarán equipos de protección para las vías respiratorias.
- En los locales de trabajo se evitará que las emanaciones tóxicas afecten a otras personas que deban permanecer cerca del lugar.
- La conexión y desconexión de máquinas de soldar y acondicionamiento, deberá hacerse exclusivamente por personal de mantenimiento eléctrico.
- Los soldadores que aplican procesos TIG Y MIG con utilización de argón y CO₂, tomarán precauciones extremas para soldar en espacios confinados y tener el permiso y autorización para el trabajo.

- Utilizar careta, guantes, botas de seguridad, filtros contra gases orgánicos, gafas para cortar en cualquier trabajo de soldadura. No trabajar con ropas impregnadas de combustible o aceites.
- Las paredes y pantallas permanentes y temporales estarán pintadas de negro opaco o gris oscuro, para absorber los rayos de luz dañinos y evitar reflejos.
- El área encargada de proporcionar el equipo y herramientas será responsable de revisar constantemente todas las partes para reemplazar las partes deterioradas.
- Los trabajos de soldadura y corte cerca de personas ajenas al trabajo, estarán resguardadas por pantallas fijas o portátiles de 2,15 m o más.
- Se deberá usar carretillas especiales para el transporte de cilindro de acetileno y oxígeno.
- Si se montan juntos en una carretilla, se instalará un material no combustible entre ellos y con las válvulas de descarga en sentidos opuestos.
- Se colocarán en posición vertical, sujetos con bandas, collarines o cadenas para evitar que se inclinen o caigan.
- Para encender un soplete, se usará siempre un chispero

2.6.4.16. Uso de extintores de fuego

- Deberá conocer el equipo contra incendios y su funcionamiento
- Hale el pin de seguridad, esto le permitirá descargar el extintor. Apunte a la base del fuego y dispare a la base del combustible. Si direcciona a las llamas el agente extintor las atravesará sin hacer ningún efecto.
- Presione la manecilla superior, esto suelta el agente extintor bajo presión. Barra de lado a lado, hasta que el fuego se apague.
- Comience de una distancia prudente y luego acérquese despacio
- Una vez se apague el fuego esté atento que puede reiniciar

2.6.5. Seguimiento y revisión

La evaluación debe revisarse periódicamente para comprobar que las medidas funcionan o se aplican. Así, pues debe realizarse una revisión cuando se produzcan cambios significativos en la organización o como consecuencia de la investigación de un incidente.

2.7. Consideraciones de seguridad industrial en la operación de los molinos de carbón

Para la correcta y segura operación de los molinos de carbón es indispensable tomar en cuenta las siguientes medidas:

2.7.1. Medidas precautorias necesarias

La protección diaria contra incendios de la instalación comprende la limpieza de la instalación, frecuentes inspecciones en los edificios, máquinas e instalaciones y la vigilancia de las condiciones de servicio y de la eficacia de los sistemas de combate de incendios.

2.7.2. Medidas de seguridad personal

- La vestimenta del personal debe ser apropiada y debe sentar bien en cuanto al tamaño, las camisas, batas y bufandas largas, flameando al viento, son extremadamente peligrosas ya que estas prendas de vestir pueden enrollarse en máquinas rotatorias.
- Es preciso calzar zapatos de seguridad. No debe usarse calzado de tamaño demasiado grande, ni zapatos provistos de agujeros, sandalias, etcétera. Puesto que es peligroso.
- Toda persona debe portar un casco
- Durante la ejecución de determinados trabajos es obligatorio calzar guantes y cubrirse con mascareras protectoras contra polvo.

- El personal no debe ingerir bebidas alcohólicas o drogas
- Los trabajos de inspección, reparación y mantenimiento, solo deben ejecutarse por personas experimentadas y que han sido instruidas en la instalación y servicio del equipo utilizado.
- Deben evitarse los remolinos o avalanchas de polvo ya que estos pueden ser amenaza de peligro de muerte dado que existe riesgo de que se origine una explosión.
- Al efectuar trabajos donde existe el peligro de derrumbe de material almacenado es preciso que la persona encargada del trabajo esté equipada con un cinturón de seguridad, provisto con una cuerda de seguridad sostenida en el otro extremo por un ayudante.
- Es inevitable que en los lugares de almacenaje de carbón se desarrollen gases inflamables y tóxicos. Por consiguiente, cuando haya que efectuarse inspección al interior o trabajos en la sección de molienda, es preciso vaciar el sistema eliminando el contenido pulverizado y ventilarlo con aire frío antes de abrirlo.
- Cuando se tenga que llevar a cabo una inspección o trabajos de mantenimiento dentro de un molino o en cualquiera de las otras máquinas de la sección de molienda, es imprescindible apostar un guardia inmediatamente afuera de la cubierta abierta, considerando que existe el riesgo de formación de gases que pueden ser causantes de una explosión y además, implican riesgo de intoxicación para el personal que se encuentra dentro de la maquinaria.

- Si el personal ha de trabajar dentro de la maquinaria, es preciso que porte consigo equipo transportable de análisis de gases. Dicho equipo debe emitir una alarma tanto al producirse un máximo de CO como un mínimo de O₂.
- El personal debe estar familiarizado con las señales sonoras y luminosas, por ejemplo:
 - ✓ Advertencia de arranque
 - ✓ Alarma de producción
 - ✓ Alarma de incendio
 - ✓ Señales de llamada
- Todo personal implicado en trabajos en la sección de molienda debe estar al corriente de las vías de escape.

2.7.3. Condiciones en la fábrica

- Cualquier recinto que contiene maquinaria para la pulverización de Pet coke o carbón debe mantenerse limpio para evitar el peligro de que se originen incendios.
- El recinto debe acondicionarse de forma en que el proceso de limpieza sea lo más rápido posible. Debe evitarse los arremolinamientos de polvo de Pet coke o carbón, por ejemplo, al utilizar aire comprimido.

- En la estructura del edificio deben evitarse las superficies horizontales inaccesibles. Superficies, hierros perfilados, vigas, refuerzos, etcétera. Deben ejecutarse con un ángulo de 60°, como mínimo, en el sentido horizontal, para evitar que se acumule el polvo de Pet coke o carbón en estos lugares.
- Todo el equipo pertinente a la molienda de Pet coke o carbón debe estar conectado a tierra, con el fin de evitar electricidad estática.
- Tableros para componentes eléctricos deben montarse en un recinto separado, que se mantiene exento de polvo mediante una leve sobrepresión.
- Considerando que la instalación debe funcionar las 24 horas del día, es importante que se haya establecido el alumbrado necesario y que este sea mantenido en perfectas condiciones.
- Excavaciones en el área deben estar debidamente cercadas
- Montones de tierra o de materiales deben estar señalados
- Plataformas y escaleras deben estar provistas de barandillas
- Debe haber prohibición de fumar y al uso de llama abierta, procurando que dichas prohibiciones estén visiblemente mostradas por letreros.

- Todos los componentes conductores de Pet coke o carbón pulverizado, en la sección de molienda deben trabajar con depresión. El escape de polvo de Pet coke o carbón puede originarse por ajustes incorrectos, los cuales deben estancarse de la mejor manera posible. El polvo emanado debe quitarse lo más pronto posible en consideración a los peligros de incendio y de explosión.
- Las descargas de presión deben indicarse por letreros y prohibirse la permanencia en esa zona donde puede haber una explosión.
- La permanencia delante de las descargas de presión debe solamente tener lugar cuando la instalación está parada y el equipo está vacío de Pet coke o carbón pulverizado.

2.7.4. Inspección y reparación

- Al efectuar parada en la sección de molienda es factible prevenir incendios introduciendo harina cruda o polvo de filtro en el sistema del molino. De tal manera que este material incombustible pueda depositarse sobre el Pet coke o carbón pulverizado como una capa protectora.
- La zona de trabajo debe limpiarse minuciosamente para eliminar el polvo de Pet coke o carbón. Eventualmente mediante un enjuague con chorro de agua.
- El vaciado del material pulverizado solo debe hacerse luego de que ha sido empapado con agua. El carbón pulverizado puede explotar si se mezcla con aire.

- De no haber suficiente circulación de aire y ventilación existe peligro de asfixia por monóxido de carbono al ingreso del molino. Después de aplicar el CO₂ o N₂ es de vital importancia asegurar la circulación de aire y ventilación a fondo, antes de permitir que el personal ingrese al molino.

2.7.5. Interrupción eléctrica de emergencia

- Para asegurar las máquinas contra un arranque imprevisto es preciso desconectar el seccionador de líneas en el grupo de distribución. Deberán quitarse los fusibles del contactor si los hubiera.
- Cuando la máquina ha sido parada con el interruptor de emergencia este deberá asegurarse mediante candado.
- Marcar con letreros, en el seccionador de líneas, en el contactor disyuntor y en los mandos de arranque, que se está trabajando en la máquina.

2.7.6. Maquinaria, equipos y generalidades

- Las correas, los acoplamientos, los tiros de cadenas y otras piezas rotatorias deben estar protegidas por pantallas.
- Cubiertas, trampas de inspección y tapas, deben estar colocadas en sus lugares y estar sujetas, si estuvieran previstas para tal fin.
- El equipo debe estar en perfecto estado de mantenimiento

2.7.7. Almacenes de carbón

Almacenar pilas de Pet coke o carbón, estas siempre contendrán un cierto volumen de aire (oxígeno) que, conjuntamente con materias volátiles generan gases altamente inflamables. Por consiguiente, el desarrollo de la temperatura en las pilas debe vigilarse estrictamente. Una temperatura superior a los 50 °C es de carácter crítico.

Si se comprueban incrementos de temperatura que excedan los 70 °C es preciso dispersar el Pet o carbón para enfriamiento e irrigarlos con agua. Estos deben utilizarse cuanto antes.

2.7.8. Silos de carbón

Durante el servicio los silos deben mantenerse tan llenos como sea posible, en parte para reducir la altura de caída evitando así que el Pet coke o carbón adquiera nueva superficie de rotura que puedan estimular la oxigenación y la autoinflamación y en parte, para reducir ese volumen donde los gases pueden acumularse.

Durante paradas de corta duración, los registros que eventualmente hubieran, deben cerrarse para impedir la penetración de oxígeno dentro del silo. Durante paradas de larga duración, el silo debe vaciarse.

3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL/GUÍA DE MANTENIMIENTO MECÁNICO

3.1. Generalidades

Se presenta una breve descripción de aspectos básicos, el cual ayudará a tener un panorama, antes de intervenir sobre cualquier parte del equipo.

3.1.1. Introducción

Este material se ha preparado para servir como una guía en el mantenimiento de los molinos de carbón. Este no cubre todas las variaciones posibles en el equipo ni ofrece soluciones a problemas especiales que puedan surgir.

Debe reconocerse que ninguna cantidad de instrucciones por escrito pueden reemplazar al razonamiento y pensamientos inteligentes del personal de mantenimiento y operadores; especialmente bajo condiciones impredecibles.

Para la mayoría de los procedimientos de mantenimiento no se requiere un desmontaje completo del molino. El acceso a todas las piezas de desgaste puede lograrse a través de las tres compuertas principales hacia los rodos o las puertas de acceso al separador y las puertas de la parte inferior del molino.

Para facilitar el mantenimiento de los componentes de impulso, el ensamble de la caja de engranes es removible.

Esto se logra desconectando el ensamble de la mesa de molienda de la caja de engranes, levantando la mesa dentro del cuerpo del separador y permitiendo que la caja de engranes se deslice hacia afuera y debajo del molino.

Una vez que la caja de engranes sea retirada debajo del molino, el acceso a los componentes de impulso será a través de la cubierta de acceso de la caja de engranes.

3.1.2. Principio de operación

El material (máximo 1,5 pulgadas) a ser molido es alimentado a la mesa giratoria, cerca del centro. La fuerza centrífuga hace que el material se desplace hasta el perímetro exterior de la mesa, donde tiene que pasar entre la mesa de molienda y los rodos. Los rodos, que se encuentran tensionados mediante un resorte, proveen la presión necesaria. El aire caliente entra al interior del molino desde el fondo de la mesa, elevándose entre el lado del molino y la mesa de donde pasa directamente al clasificador ubicado sobre el cono de entrada y entonces sale del molino.

Este aire caliente sirve para secar y transportar el material pulverizado. El aire de elevación rodea la mesa pasando a través de la rueda de paletas, que se encuentra junto a la mesa. Estas paletas están inclinadas a una dirección que ayuda a la corriente de aire a transportar el material pulverizado. Algo del material será aún muy grande para abandonar el área de molienda y deberá ser molida nuevamente hasta que esté lista para ser transportada hacia arriba. El material que deja la mesa es enviado en dirección al centro por los deflectores del lado del molino.

Este material es dividido en partículas pesadas, las cuales son regresadas a la mesa y partículas ligeras que son elevadas por la corriente de aire al clasificador. Cualquier material extremadamente grande es regresado del clasificador al centro de la mesa para una molienda adicional. La combinación del material finamente pulverizado y aire sale del molino a través del anillo deflector.

Cualquier elemento metálico o materia extraña que sea difícil de moler es movida sobre el extremo superior de la mesa donde cae a través de la corriente de aire a la parte inferior del molino. Rascadores móviles unidos al soporte de la mesa barren estos materiales hasta llevarlos a la compuerta de descarga.

3.1.3. Descripción de los elementos mecánicos del molino

Reductor, el cual se encuentra movido por un motor eléctrico, está directamente conectado al soporte de la mesa. Un arreglo de engranajes planetarios da la apropiada reducción entre el motor y el soporte de la mesa para obtener la velocidad de la mesa deseada.

El lado de molienda; que lo conforman las corazas y las ventanillas de ingreso de aire alrededor de la mesa, el soporte de la mesa y el soporte del cuerpo del separador. El aire para transporte y secado del carbón entra directamente a través de las ventanillas de entrada de aire y es directamente elevado alrededor del molino.

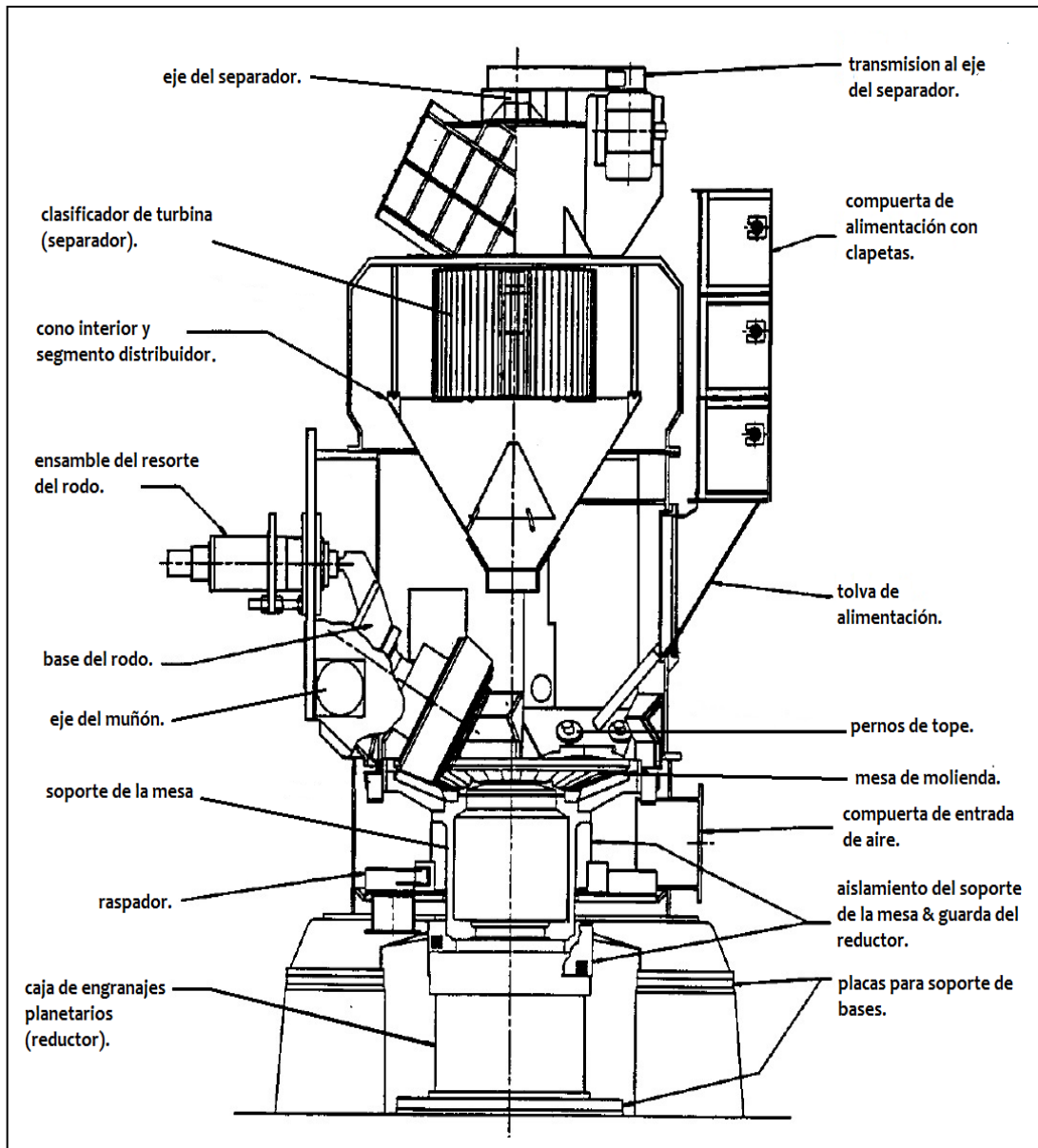
La mesa, lugar en el que el Pet coke o carbón es molido. El material que será molido es admitido en el molino y depositado cerca del centro de rotación de la mesa.

El ensamble de rueda dentada; que se encuentra junto a la mesa, maneja la mezcla aire/Pet coke que entra en la zona de molienda del molino mediante una distribución uniforme del aire de transporte a través de la mesa y la entrada del cuerpo cono/separador.

Tres independientes rodos moledores; son suspendidos de la carcasa del molino. Estos rodos rotan libremente y lo hacen, cuando el carbón está siendo molido y llenando el espacio entre ellos y la mesa.

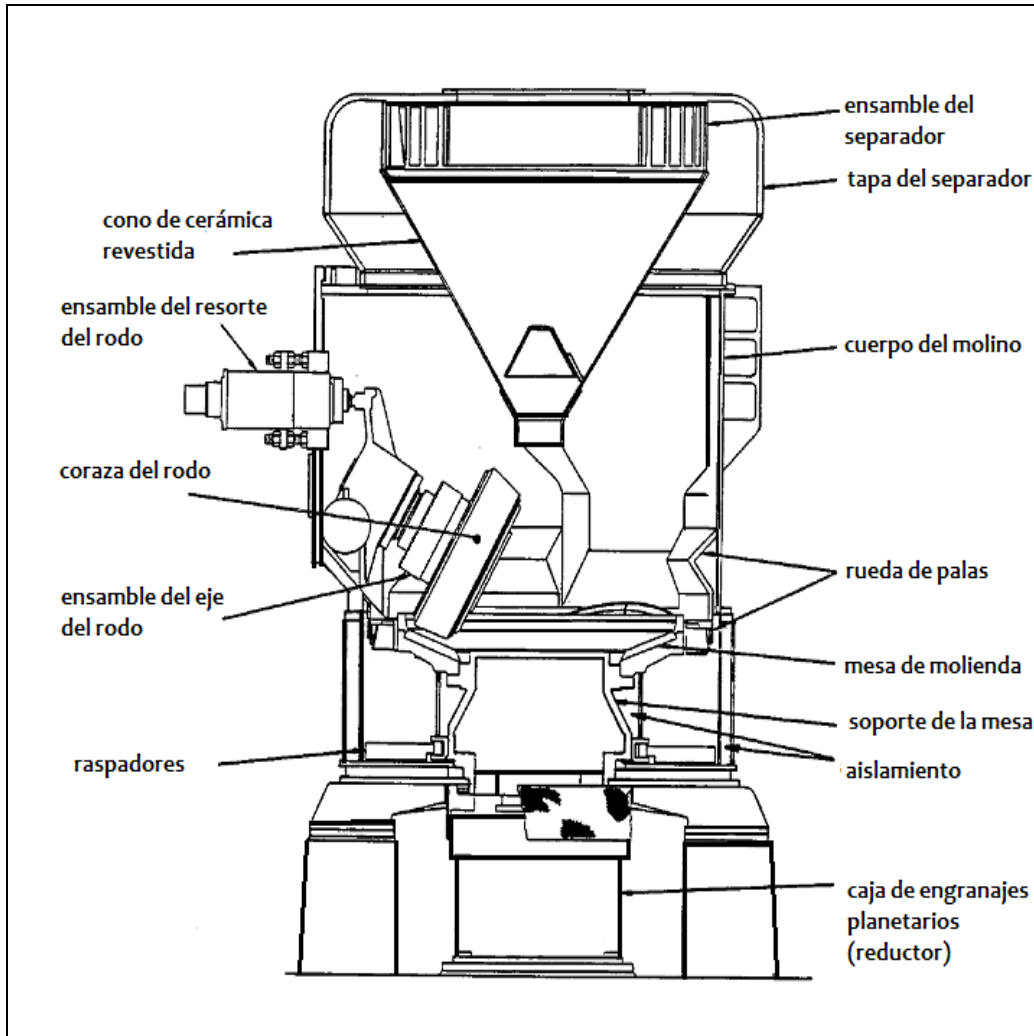
El separador; formado por las corazas deflectoras y el clasificador toma el material después que este ha sido molido. Las corazas deflectoras envían el material y el aire de transporte directamente hacia arriba, donde el clasificador separa las partículas más grandes del transporte de aire y las regresa a la mesa donde serán molidas otra vez.

Figura 7. **Molino con clasificador de turbina y triple compuerta de alimentación**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Figura 1-2.

Figura 8. **Molino con doble cono clasificador**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Figura 1-1.

3.2. Mantenimiento mecánico

Conjunto de acciones oportunas, continuas y permanentes dirigidas a prever y asegurar el funcionamiento normal, la eficiencia y la buena apariencia de sistemas, equipos y accesorios.

3.2.1. Mantenimiento general

El molino es una máquina resistente, diseñada y construida para una operación continua durante un período extendido de tiempo, con un desgaste mínimo en sus piezas móviles. Sin embargo, las piritas de hierro y otras sustancias abrasivas del Pet coke o carbón acortarán la vida de las piezas; tales como los rodos, los segmentos de la mesa de molienda, el revestimiento del deflector, el revestimiento intermedio, el revestimiento de la rueda de paletas, el revestimiento del lado del molino, el revestimiento del cono interno y raspadores.

Ya que el desgaste del molino depende de muchos factores que varían de una instalación a otra, es difícil recomendar una rutina específica de programa de inspección y mantenimiento. Las características del Pet coke o carbón, las horas de operación de los molinos individuales, la disponibilidad de los molinos debido a las demandas de carga de la unidad y la disponibilidad de personal de mantenimiento, son todos factores que determinan la frecuencia y programación de las inspecciones y el mantenimiento del molino. Solo se puede establecer un programa efectivo de mantenimiento con base en una bitácora rigurosa de la experiencia de operación real de la planta.

Por consiguiente, es imperativo que se lleve una rigurosa bitácora de cada molino, desde el momento de su instalación inicial, para relacionar el tiempo de funcionamiento de cada molino individual con el desempeño del molino, carga de la unidad, salidas de funcionamiento, reportes de inspección y otros datos asociados.

El desgaste del molino es una función del número de horas al cual está moliendo Pet coke o carbón, no necesariamente de la cantidad, en toneladas de lo pulverizado. Mientras el molino funcione a capacidad reducida puede durar algún tiempo más, pero molerá mucho menos tonelaje de carbón antes de que sea necesario el reemplazo de piezas.

Los criterios de reemplazo de piezas del molino no siempre se pueden definir por adelantado. Estos deben establecerse con base en la experiencia y el juicio de parte del personal familiarizado con la historia y desempeño del molino. El grado, la localización y el patrón del desgaste pronto se harán evidentes y podrán ser encarados adecuadamente. En algunos casos, se pueden reconstruir las superficies de desgaste; en otros casos es más práctico el reemplazo de las piezas.

La siguiente lista describe las piezas del molino que normalmente están sujetas a desgaste:

- Mesa de molienda y rodos

La reducción de la capacidad del molino y el aumento de derrames son indicaciones de desgaste excesivo. Las plantillas de contorno, hechas cuando el equipo es nuevo, pueden ayudar a verificar el grado y la localización del desgaste, así como se vaya desarrollando.

- Revestimiento del deflector, revestimiento interno y de paletas

Algunos molinos vienen con revestimiento interno de cerámica u otros tipos, su grado de desgaste variará considerablemente de una instalación a otra y a veces, de un molino a otro de la misma planta. Los revestimientos individuales deben ser reemplazados cuando el adelgazamiento o las perforaciones indiquen un desgaste excesivo.

- Rueda de paletas

Mantenga el claro apropiado entre la parte superior de la envoltura ajustable de la rueda de paletas y el fondo de los revestimientos intermedios y del deflector. Reemplace la envoltura cuando ya no se puedan hacer ajustes. Reemplace los revestimientos de las paletas si están excesivamente desgastados.

- Anillo de extensión de la mesa de molienda

El anillo debe reemplazarse cuando esté excesivamente desgastado

- Revestimiento del lado del molino y compuertas de admisión de aire

Los rechazos excesivos causarán desgaste en el revestimiento y los bordes de las paletas. Reemplácelos o reconstrúyalos si están excesivamente desgastados.

- Raspadores

Los bordes del fondo son los más susceptibles al desgaste y el material de soldadura puede acumularse. Mantener el soporte apropiado (de pernos y superficies de fricción) ayuda a minimizar el desgaste.

- Clasificador de turbina (separador)

El diámetro exterior del rotor experimenta el mayor desgaste. Inspeccione y renueve el recubrimiento según se requiera.

La mayoría de los trabajos de inspección y reparación dentro del molino, sobre la mesa, deben realizarse retirando las compuertas principales y un rodo. El trabajo debajo de la mesa de molienda, normalmente puede hacerse a través de las puertas de acceso que están en la parte inferior del molino.

Advertencia

Cuando se requiera mantenimiento en un molino mientras la planta está en operación, asegúrese de que el molino esté completamente aislado o bloqueado, (compuertas, sistema de supresión de fuego y válvulas cerradas, interruptores de circuito de motores bloqueados en abierto y los medios para operar este equipo adecuadamente etiquetados) antes de entrar al molino.

Precaución

Al soldar en la mesa, rodo o cualquier pieza del molino, la máquina de soldar debe conectarse a tierra con el componente que se esté soldando para prevenir arcos eléctricos entre rodamientos de la caja de engranes o los cojinetes.

- Rodamientos

Los ruidos inusuales y las temperaturas consistentemente superiores a lo normal, son indicadores de una falla inminente de rodamientos. Los rodamientos deben ser inspeccionados en la primera oportunidad.

- Caja de engranes

Estos componentes normalmente dan un servicio largo y libre de problemas. Sin embargo, la falla de otros componentes puede acelerar su desgaste.

3.2.2. Ajustes de interferencia (holgura)

Cuando los componentes han sido diseñados con ajustes de interferencia, con frecuencia es necesario calentar o enfriar las piezas que se corresponden para facilitar su ensamblado.

Calentamiento

El calor debe aplicarse uniformemente a la pieza entera. No se recomiendan los sopletes de acetileno con punta de roseta, ya que el calentamiento por este método no es lo suficientemente uniforme. Se puede proporcionar mejor el calor por medio de un horno tipo comercial o con baño de aceite. No obstante, también es posible envolver la pieza en una cubierta aislante y aumentar la temperatura de la pieza con calefactores de espacio o cobertores antitensión. Se recomienda un mínimo de 2 horas de calentamiento.

Enfriamiento

Los componentes pueden enfriarse en un congelador comercial. También pueden enfriarse en un baño de hielo seco y aceite (-40 °F, -40 °C) o empacados con hielo seco. Antes de sumergir la pieza en el baño de enfriamiento, esta debe ser recubierta con una capa delgada de grasa. Los componentes deben enfriarse por un mínimo de 3 horas.

3.2.3. Desmontaje general

La siguiente guía proporciona procedimientos para el retiro e instalación de los componentes individuales del molino, necesarios para permitir la inspección y el mantenimiento de las piezas de desgaste y los componentes de impulso del molino.

Revise la sección transversal del molino para orientarse y localizar los componentes principales (figuras 7 y 8).

3.2.3.1. Aislamiento del molino

Use los procedimientos adoptados por la planta, seguros, etiquetas, notas de bitácora, etcétera, para asegurar que las compuertas, válvulas, bombas, motores y los sistemas de supresión de fuego asociados con el molino aislado no sean operados inadvertidamente mientras el molino se abra para la inspección o mantenimiento.

Antes de entrar al molino, asegúrese de que el eje de impulso de la caja de engranes esté bloqueada, para evitar la rotación de la mesa de molienda, especialmente si el molino contiene Pet coke o carbón.

- Para aislar el molino, cierre la compuerta de cierre del aire caliente, la válvula de salida del molino, las compuertas de la línea de Pet coke o carbón (si se proporcionan), las compuertas de aislamiento del colector de polvo (si es aplicable), las válvulas de cierre de aire de ventilación y sello de aire (molinos presurizados) y la válvula de descarga del alimentador (si se proporciona);

- Abra los interruptores de circuito del molino, del alimentador, y del clasificador de turbina (si se suministra) y todos los otros interruptores de circuito de los motores asociados con el sistema del molino;
- Desconecte el acople del motor del molino en la caja de engranes y bloquéelo para que no gire; y
- Asegúrese de que el molino esté despresurizado abriendo una puerta de acceso del lado del molino o puerta de acceso del cuerpo del separador.

3.2.3.2. Abrir una puerta de acceso

Use su equipo de protección personal antes de realizar los siguientes pasos. Puede descargarse de la puerta algo de polvo de carbón, Pet coke o partículas, por lo que se requiere protección para los ojos.

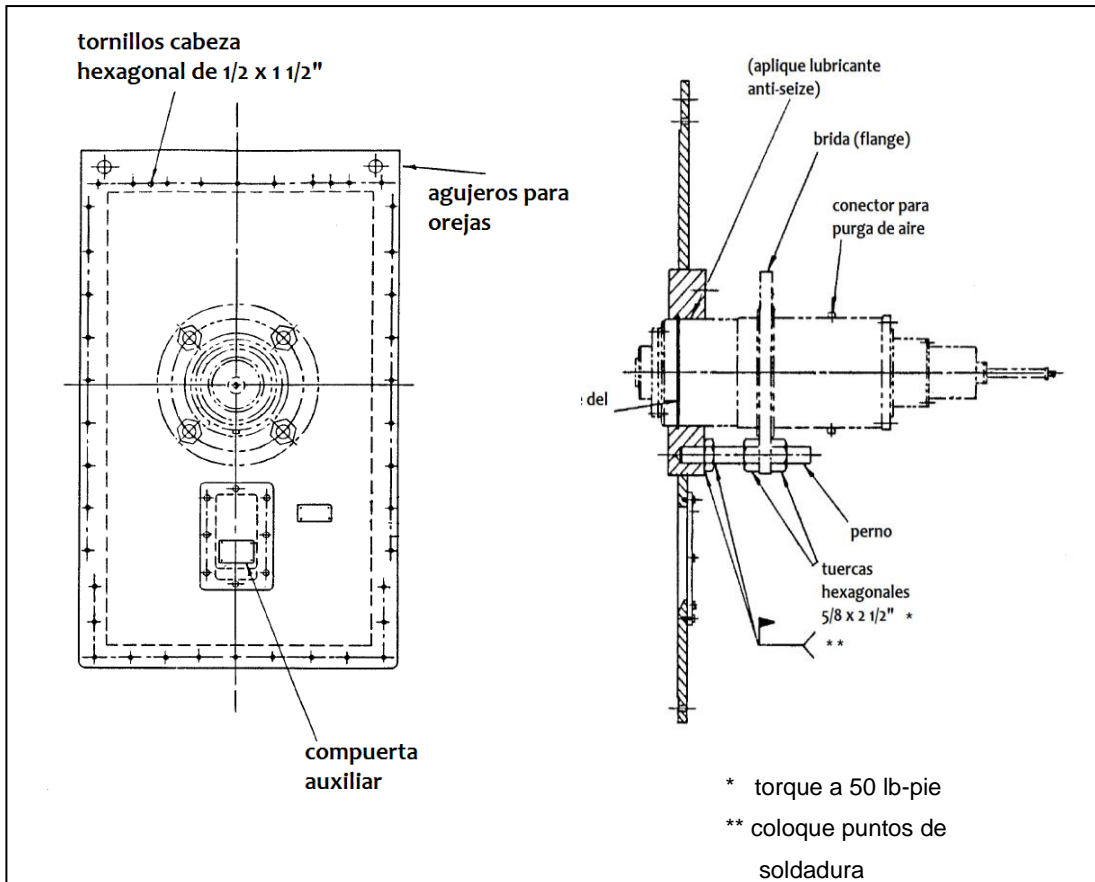
- Cuidadosamente entreabra la puerta, entonces ábrala completamente;
- Retire los tornillos menos los cuatro de las esquinas;
- Afloje los tornillos de las esquinas tres o cuatro vueltas y golpee la brida para romper el sello; y
- Retire los tornillos y abra la puerta.

3.2.3.3. Retiro de las compuertas principales

Las compuertas principales y el ensamble del resorte normalmente se retiran como una unidad.

- Retire los tornillos de cabeza hexagonal de los pernos de tope, retire la barra bloqueadora y los birlos retenedores. Separe los pernos de tope hasta que el rodo descansa sobre la mesa;
- Afloje uniformemente las cuatro tuercas hexagonales que retienen el ensamble del resorte en los birlos. Si hay alguna presión en el ensamble del resorte, esta se separará de la cubierta del rodo. Deje aflojar las tuercas cuando no haya movimiento evidente;
- Desconecte el cableado del indicador de posición del rodo (si se suministra). Retírelo y almacénelo en un lugar seguro;
- Centre la grúa directamente encima de la compuerta de los rodos. Enganche la compuerta para ser retirada, usando los dos orificios incluidos en la parte superior. Levante un poco con la grúa de maniobra;
- Retire los tornillos de cabeza hexagonal que aseguran las compuertas al cuerpo del molino; y
- Retire las compuertas y el ensamble del resorte. Llévela a un área de almacenamiento conveniente.

Figura 9. Compuerta principal



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1176.

3.2.3.4. Inclinación del rodo hacia afuera del molino

Si se le dará mantenimiento al ensamble del eje del rodo, entonces debe considerarse el bombeo del aceite fuera de la caja del rodamiento.

Precaución

Asegúrese que la grúa este en la posición correcta para una elevación vertical.

Advertencia

Aléjese del rodo durante el procedimiento de inclinación. Al ser levantado el bloque de agarre, el cable se aflojará y se tensará cuando el rodo caiga hacia afuera al pasarse el centro de gravedad al tope del eje del muñón (punto de equilibrio) la elevación debe detenerse cuando el cable se afloje.

- Retire las compuertas principales;
- Instale el bastidor de inclinación acoplándolo al cuerpo del separador utilizando para ello, tornillos de cabeza hexagonal y sus arandelas;
- Instale los soportes de seguridad;
- Gire los ejes de los muñones en posición excéntrica 1 en ambos extremos como se muestra en la figura;

- Use los pernos de tope, levante el rodo de la superficie de la mesa y gírelo hasta 1 3/8" y los agujeros roscados deberán estar en posición de las doce horas de las manecillas del reloj;
- Quite todos los tornillos de fijación e instale una oreja usando para ello tornillos de cabeza hexagonal; y
- Quite la cubierta de la base de soporte del eje del rodo.

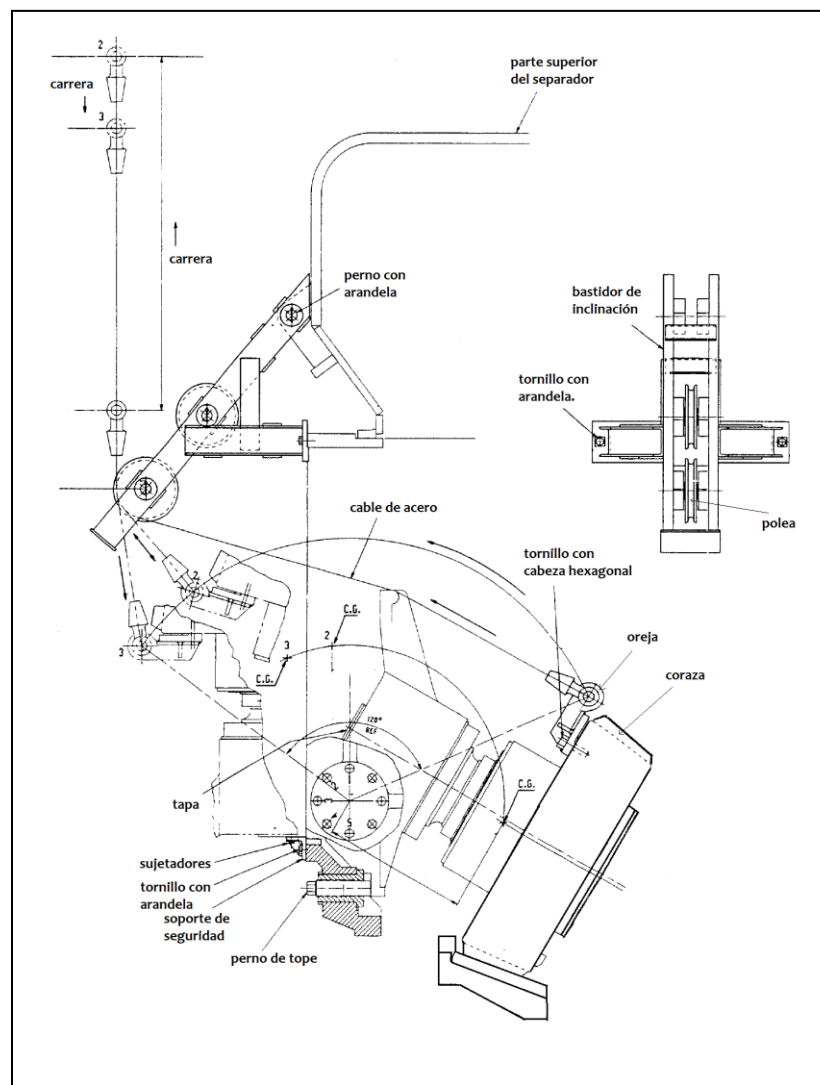
Inclinado hacia afuera

- Coloque el cable de acero en la oreja y verifique que la grúa esté posicionada verticalmente para que el cable pase en una de las poleas del bastidor de inclinación.
- Accione la grúa lentamente para que hale el cable y el rodo salga del molino y llegue a asentarse a su posición.
- Debe tomarse precaución cuando el rodo se acerque al punto en donde tenderá a caer para asentarse en su base, puesto que su centro de gravedad estará pasando por la parte superior de su rotación.
 - ✓ No exceder de 10 000 lb_f cuando se jale
 - ✓ Manténgase alejado del rodo durante el proceso de inclinación hacia fuera.
- La base del rodo se apoyará en los soportes de seguridad

- Asegurar la base del rodo a los soportes de seguridad con los sujetadores.

Retire el bastidor de inclinación después de completado el procedimiento.

Figura 10. Forma de sacar un rodo del molino



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer. Parte 80-1080.*

3.2.3.5. Retirado del ensamble del rodo

Si las reparaciones del molino serán extensas, puede ser conveniente retirar completamente el ensamble del rodo. Si el acceso al molino es solamente con el propósito de inspección o mantenimiento menor, entonces puede ser suficiente con inclinarlo hacia afuera.

- Retire las compuertas principales;
- Incline hacia afuera el rodo;
- Retire dos pernos retenedores de la coraza, separados 1 800 e instale dos pernos de anillo (ojos de pescado). Asegúrese de que el anillo del perno tope con la placa del rodo;

La grúa deberá tener la capacidad para soportar el peso del ensamble del rodo en todo momento.

- Instale un grillete en cada perno de anillo y sujételo con un cable o eslinga. El cable o eslinga debe estar paralelo a la compuerta principal del molino;
- Sujete la eslinga o cable a una grúa situada encima paralela al centro de la compuerta principal y proceda a levantarla lentamente;

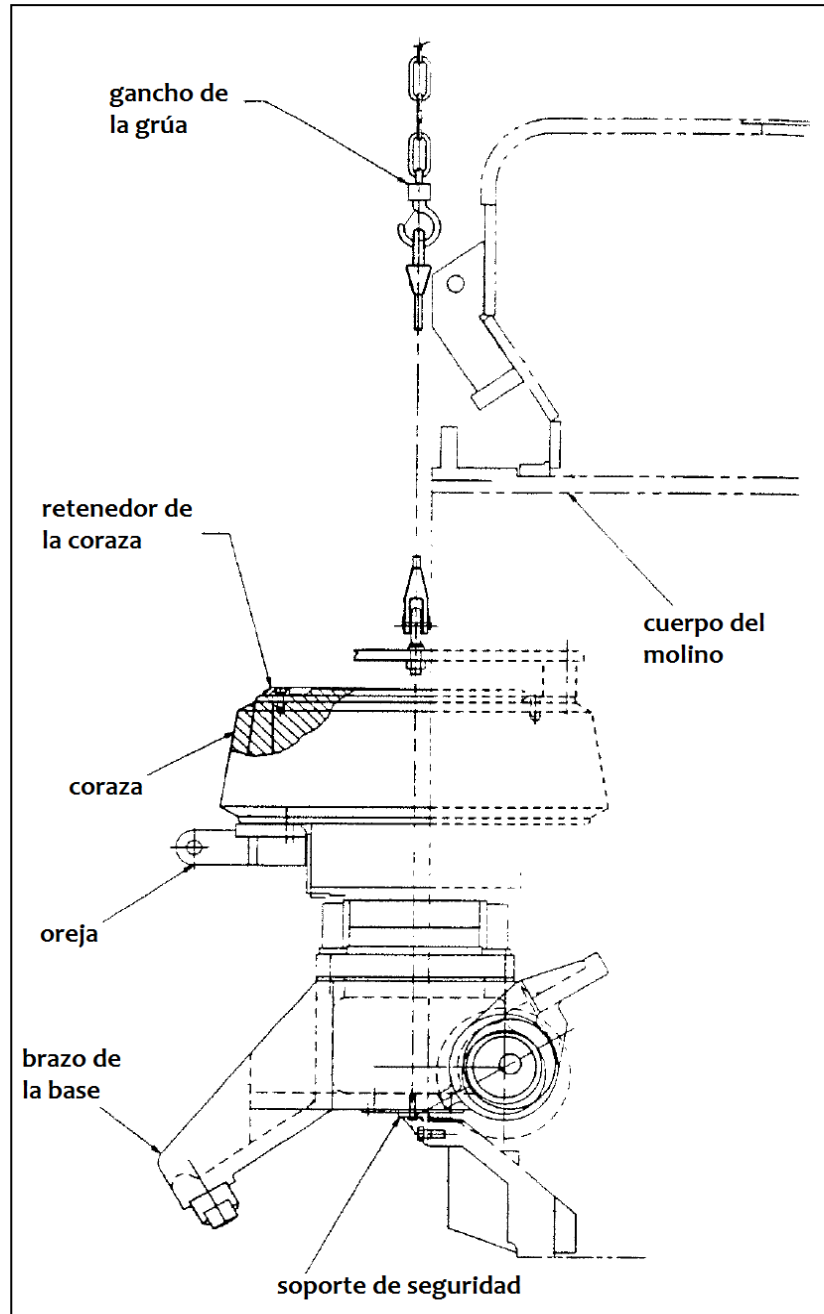
La eslinga o cable de la grúa no deberán tocar el cuerpo del molino cuando se esté levantando el rodo.

- Retire los pernos de seguridad de la base del rodo;
- Retire los tornillos de las tapaderas de los extremos de los ejes del muñón;
- Use pernos de empuje en los orificios roscados para retirar los ejes del muñón de la base del rodo;
- Al librar la base del rodo y los ejes del muñón, retire las placas de empuje y balancee el ensamble del rodo fuera del molino;
- Inspeccione los bujes (*bushings*) del eje del muñón;
- Retire el ensamble del rodo a un área de trabajo conveniente; y
- Almacene los ejes del muñón y las placas de empuje hasta que sean requeridas para el reensamblado.

3.2.3.6. Retiro del eje del rodo

- Siga el procedimiento de inclinación del rodo hacia afuera del molino. Verifique que los soportes de seguridad estén instalados adecuadamente para asegurar que el rodo se mantenga en su lugar;
- Quite los tornillos y la placa de retención de la coraza de la cabeza del rodo (*housing*), proceda a colocar la placa de extracción con su respectivo perno de anillo (ojo de pescado) en el centro;
- Dé torque a los tornillos que sujetarán la placa de extracción a la cabeza del rodo (*housing*) a 50 lb-pie;
- Sujete el cable o eslinga al perno de anillo con una grúa que tenga una capacidad de 10 toneladas, ya que esta deberá soportar el peso del rodo durante todo el procedimiento;
- Quite el recubrimiento y el faldón de la base del rodo;
- Quite los tornillos que sujetan el eje a la base del rodo; y
- Levante lentamente el ensamble del rodo y sáquelo del molino.

Figura 11. Retiro/levantamiento eje del rodo

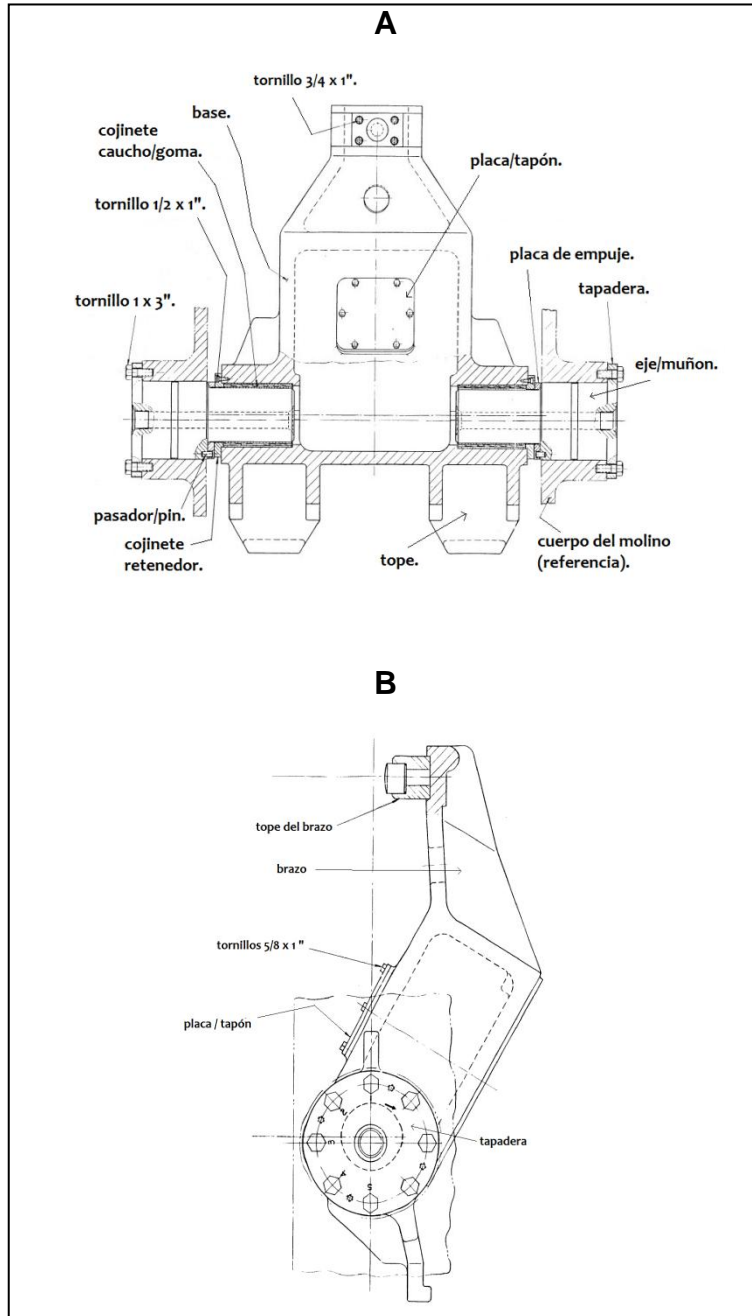


Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer. Parte E-GP-7376.*

3.2.3.7. Retiro de la base del rodo

- Retire los pernos de seguridad de la base del rodo;
- Retire los tornillos de las tapaderas de los extremos de los ejes del muñón;
- Use pernos de empuje en los orificios roscados para retirar los ejes del muñón de la base del rodo;
- Cuando los ejes del muñón libren la base del rodo, retire las placas de empuje y balancee la base fuera del molino;
- Inspeccione los bujes del eje del muñón;
- Lleve la base a un área de trabajo seguro; y
- Almacene los ejes del muñón y las placas de impulso hasta que se requieran para su reensamblado.

Figura 12. Base del rodo



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte D-101-02376.

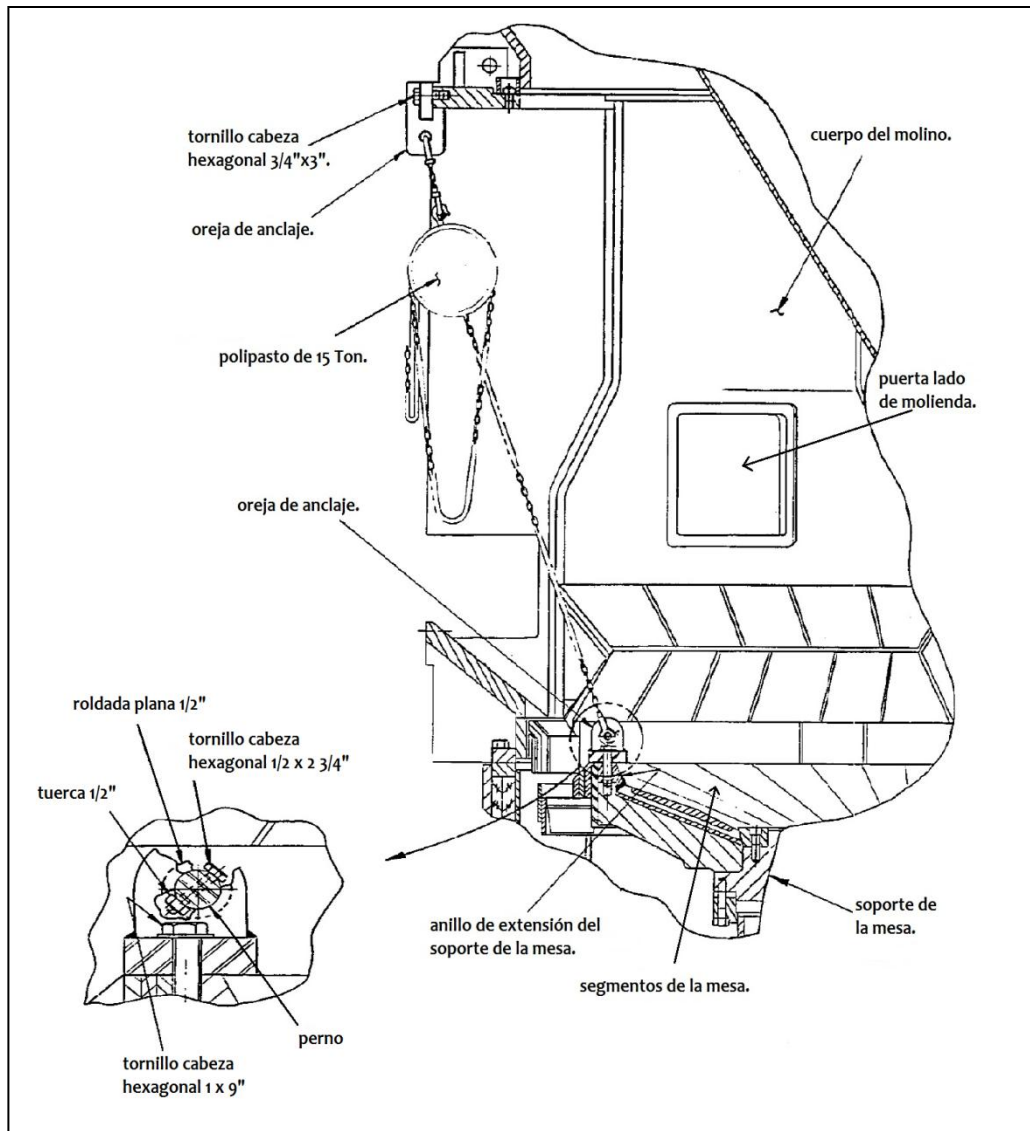
3.2.3.8. Levantado del soporte y la mesa de molienda

Para poder llegar a la caja de engranes para un mantenimiento mayor, esta debe ser retirada debajo del molino. El ensamble de la mesa y el soporte deben elevarse fuera de la caja de engranes para hacerlo.

- Retire las compuertas principales;
- Incline hacia afuera todos los rodos;
- Retire todos los rodos;
- Abra las puertas de acceso del lado de molienda;
- Antes de desarmar, verifique que cada pieza sea identificada y marcada en su posición;
- Retire los raspadores y muévelos al borde exterior del lado del molino;
- Marcar el orden de las piezas antes de retirarlas ayudará significativamente a su reinstalación y ajuste;
- Retire el sello de aire;
- Retire la guarda;

- Arranque el sistema de lubricación y gire la mesa con la mano hasta que uno de los tornillos Allen, localizado en el anillo de extensión de la mesa se sitúe en la línea central de cada compuerta principal;
- Retire ese tornillo y los tornillos adyacentes de cada lado, para un total de tres por cada compuerta;
- Instale orejas de anclaje sobre la mesa con pernos y los grilletes;
- Afloje los pernos que sujetan la envoltura ajustable de la rueda de paletas a los segmentos de la rueda. Baje los segmentos ajustables de la envoltura tanto como sea posible para dejar un claro apropiado para levantar la mesa;
- Afloje las tuercas y retírelas;
- Sujete tres polipastos a las orejas respectivas que se encuentran en la parte superior de los marcos de las compuertas principales y con los grilletes instalados a la mesa;
- Levante el soporte de la mesa, la mesa y el ensamble de la rueda de palas hasta que la envoltura de la rueda de palas apenas toque los recubrimientos intermedio y del deflector (aproximadamente 2" (5 0mm)). Estabilice el ensamble del soporte de la mesa con puntas de desarmador o cuñas; y
- Retire la caja de engranes.

Figura 13. Levantado de soporte y mesa



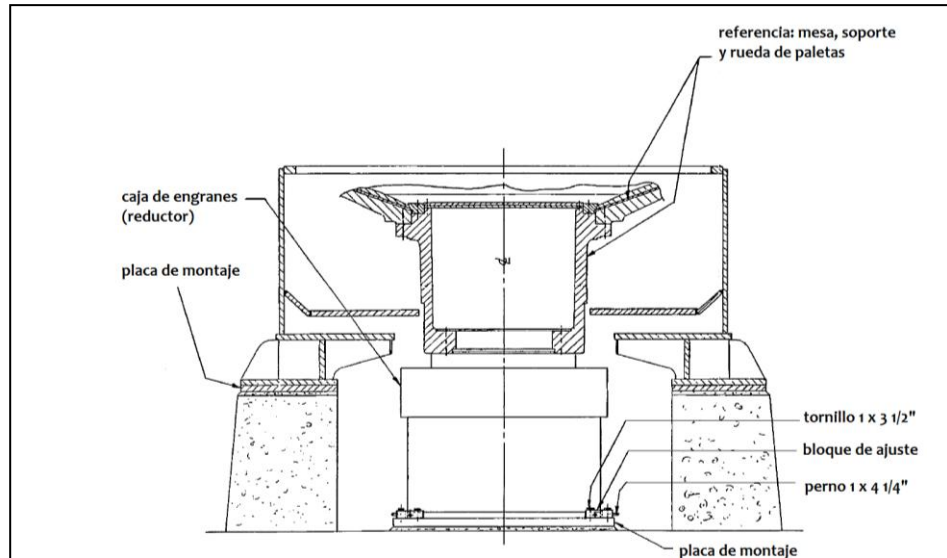
Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte GP-4141.

3.2.3.9. Retiro del ensamble de la caja de engranes (reductor)

- Retire las compuertas principales;
- Retire los rodos;
- Levante la mesa y el soporte de la mesa;
- Desconecte y retire la tolva de pirita;
- Aísle el sistema de lubricación y desconecte las líneas de aceite de la caja de engranes. Tape todas las aberturas para mantener limpio el sistema;
- Desconecte el cableado de los termopares de los rodamientos y de otro equipo de monitoreo de la caja de engranes;
- Si no se hizo antes, retire la guarda del acoplamiento y desconecte el acoplamiento del impulsor;
- Retire los tornillos Allen que sujetan la caja de engranes a su placa base;
- Retire los pernos de clavija que alinean la caja de engranes;

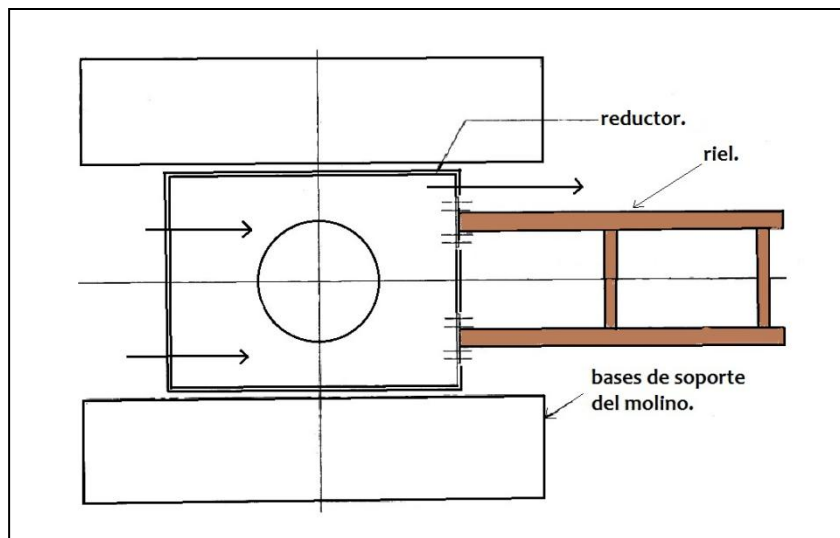
- Coloque los rieles para retirar la caja de engranes en una cama o un soporte de acero construido en el suelo. Asegúrese de que el tope de los rieles esté al mismo nivel que la placa base de la caja de engranes y entonces sujételos a la placa. Deslice la caja de engranes sobre los rieles;
- Una vez que la caja de engranes esté fuera de abajo del molino, puede llevarse a un área de mantenimiento;
- Si no se instalará inmediatamente una caja de engranes de recambio, construya una cama de acero capaz de soportar el peso del soporte de la mesa, la rueda de palas y la mesa. La altura de la cama debe situarse de manera que el soporte de la mesa, la mesa y la rueda de palas se coloquen encima, el ensamble deberá tener la misma altura que tenía antes;
- Baje a la cama el soporte de la mesa, la rueda de palas y la mesa;
- Estabilice el ensamble del soporte de la mesa con puntas de desarmador o cuñas. Si es necesario, retire la estructura de elevación para dar acceso al interior del molino.

Figura 14. **Caja de engranes (reductor)**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer. Parte 80-1205.*

Figura 15. **Retiro de la caja de engranes**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer. Parte 94-1359.*

3.2.4. Montaje general

Se refiere a la colocación o ajuste de las piezas de un aparato, máquina o instalación en el lugar que les corresponde.

3.2.4.1. Colocación del ensamble de la caja de engranes (reductor)

La caja de engranes se instala deslizándolo a su posición bajo el molino ya ensamblado.

Si se instala una caja de engranes nueva o diferente, será necesario perforar nuevos orificios para las clavijas de los pernos de alineación en la brida de montaje y la placa base de la caja de engranes. Estos orificios deben situarse al menos a 6" (153 mm) de los orificios para las clavijas originales.

Si se reinstala la misma caja de engranes y si se puede lograr una perfecta alineación con los orificios originales, se puede usar el mismo tamaño de clavijas. Sin embargo, está permitido (y posiblemente es más fácil) perforar de nuevo y escariar los orificios en el lugar anterior e instalar clavijas de mayor diámetro (+ 1/4" (6,35 mm)).

Si se instala una caja de engranes nueva o diferente, siga los primeros dos pasos. Si se reinstala la misma caja de engranes, salte hasta el tercer paso.

- Según sea necesario, perfore dos orificios base a 180° de distancia en la brida del fondo de la caja de engranes. Los orificios base deben estar al menos a 6" (153 mm) de distancia de los orificios para clavijas existentes;

- Sujete los rieles para retirar de la caja de engranes a la placa base de la caja. Apóyelos en una cama o estructura de acero al nivel de la placa base de la caja de engranes;
- Si el riel para mover la caja de engranes aún está en su lugar, asegúrese de que esté limpio, aplique una capa delgada de aceite y coloque la caja de engranes en el riel. La caja de engranes debe colocarse adyacente a las bases de soporte del molino, orientada con el extremo de impulso más cerca del motor;
- Sujete tres polipastos a las orejas que se encuentran en la parte superior de los marcos de las compuertas principales y con los grilletes instalados a la mesa;
- Levante la mesa, soporte de la mesa y rueda de paletas hasta que la envoltura de la rueda de paletas apenas toque los recubrimientos intermedios de los deflectores;
- Retire la cama de soporte del soporte de la mesa;
- Deslice la caja de engranes a su posición debajo del molino. Verifique que los orificios de los pernos estén alineados con los orificios tapados de la placa base;
- Instale las roldanas y los tornillos que sujetan la caja de engranes a la placa base (apriete a mano y aplique lubricante antiseize, Fel-Pro C5-A o similar);

- Retire los rieles;
- Instale los bloques de ajuste del lado del molino de la caja a la placa base.

Asegúrese de que el receptáculo superior de la caja de engranes este lleno de aceite hasta el nivel indicado antes de girar el eje.

- Asegúrese de que las superficies de intersección del soporte de la mesa y el adaptador de la caja de engranes estén limpios y entonces aplique una ligera capa de lubricante antiseize;
- El eje de entrada de la caja de engranes puede ser girada a mano para alinear las clavijas del adaptador de salida con los orificios de las clavijas del soporte de la mesa. Al estar alineados, baje la mesa, el soporte de la mesa y la rueda de paletas hacia el ensamble de la caja de engranes. Asegúrese de que el soporte de la mesa esté firmemente apoyado en el adaptador de salida de la caja de engranes;
- Aplique lubricante antiseize a los tornillos;
- Retire los polipastos que levanta la mesa, soporte de la mesa y rueda de paletas;
- Usando los bloques de ajuste, gire la caja de engranes para alinear los orificios de las clavijas de la caja reinstalada o centro del ensamble de la caja de engranes al lado del molino a 0,010" (0,25 mm). Para este ajuste, mida desde el alma del anillo del sello de aire hasta el diámetro exterior del soporte de la mesa;

- Fije la holgura del sello de aire del soporte de la mesa antes de ensamblar la caja de engranes en las clavijas de la placa base;
- Coloque un molde de perforación sobre cada uno de los orificios para las clavijas en la brida de montaje de la caja de engranes;
- Perfore y escarie para las nuevas clavijas o use los orificios originales de la brida de la caja de engranes;
- Lubrique las clavijas con Molykote GN-Paste o su equivalente, y ajuste las clavijas a presión en los orificios escariados;
- Dé torsión a los sujetadores que sostienen la caja de engranes a la placa base.

3.2.4.2. Instalación del ensamble del rodo

Este procedimiento debe usarse si la base y el eje del rodo fueron retirados del molino como una unidad. Si fueron retirados por separado, consulte los procedimientos en instalación de la base del rodo, e instalación del ensamble del rodo y el eje del rodo. Consulte los dibujos de las figuras 10, 11 y 12.

Advertencia

La grúa que se utilizará, deberá soportar el ensamble del rodo en todo momento durante el proceso de instalación.

- Lleve el ensamblado completo junto a la compuerta principal del molino;
- Retire los birlos de retención y saque los pernos de tope del rodo;
- Coloque el eje libre y la de impulso del muñón cerca del lado apropiado de la compuerta principal;
- Retire la placa de la base del rodo;
- Retire dos pernos retenedores de la coraza, separados 180° e instale dos pernos de anillo hasta el fondo. Asegúrese de que el anillo toque la placa de retención;
- Instale un grillete en cada perno de anillo y sujételos con una eslinga;
- Engánchelo a una grúa y levante el ensamblado del rodo a su posición en la entrada de la compuerta principal;
- Con cuidado se alinea la base del rodo con los ejes del muñón en el cuerpo del molino;
- Instale la base del rodo al bastidor de inclinación del molino y apriete los pernos a 50 lb-pie;
- Introduzca un perno de 2" a 2,25" x 120" (de 50 a 60 mm x 3 100 mm) a través de las aberturas del eje del muñón del cuerpo del molino y la base del rodo;

- Retire el tapón de tubo de la abertura del sello de aire en el eje del muñón;
- Asegúrese que las clavijas estén seguras en cada eje del muñón. Recubra las superficies de contacto de las placas de impulso con lubricante antiseize y deslice las placas de impulso sobre los ejes del muñón;
- Asegúrese de que las tapas del extremo de impulso y extremo libre del muñón estén en el lado correcto de la base del rodo y entonces eleve cada eje y deslícelas sobre todo el perno roscado;
- Asegúrese de que el numeral 1 del extremo de cada eje esté en la posición de las doce en punto e introduzca cada eje del muñón en los bujes (*bushings*) retenedores.

Precaución

Mantenga la alineación de todos los componentes durante los siguientes pasos para evitar que se unan.

- Deslice una placa de apoyo en cada extremo del perno roscado completamente. Inserte dos tuercas hexagonales en un extremo del perno y una tuerca hexagonal en el otro;
- Detenga seguramente las dos tuercas del extremo del perno y apriete la tuerca del otro extremo.

El numeral 1 de las tapaderas del eje del muñón deben estar en la misma posición, por ejemplo: ambos a las doce en punto de las manecillas del reloj, o los ejes se pegaran a los bujes (*bushings*) retenedores del muñón al ser jaladas a su posición.

- Use una llave de impacto neumática en el extremo de las tuercas dobles. Lentamente gire el perno para apretar la tuerca y jale los ejes del muñón y las placas de impulso a su lugar;
- Cuando estén totalmente insertadas, gire los ejes del muñón hasta que el numeral 1 de los casquetes esté en la posición de las doce en punto. Asegure los ejes del muñón al cuerpo del molino con tornillos de cabeza hexagonal. Lubrique y apriete los pernos;
- Asegúrese de que el ensamble del rodo esté apoyado en el bastidor de inclinación. Quite los polipastos o la grúa, retire la eslinga y los pernos de anillo;
- Reinstale los pernos retenedores de la coraza y apriete;
- Use el procedimiento de inclinación del rodo hacia adentro del molino para dejar el rodo sobre la mesa;
- Revise el nivel de aceite del rodo, coloque el tapón de tubo y la placa de la base del rodo.

3.2.4.3. Instalación del ensamble de la base del rodo

Consulte el dibujo del ensamble de la base del rodo (figuras 12 A y B)

- Con la base del rodo descansando con el lado de la brida hacia arriba, instale dos pernos de anillo de 1 1/4" a 180° de distancia en la brida;
- Instale un grillete en cada perno de anillo y sujételos con eslingas;
- Sujete la eslinga a una grúa situada encima del centro de la compuerta principal y proceda a levantarla lentamente;
- Coloque los ejes del muñón cerca del lado apropiado de la compuerta;
- Sujete el bastidor de inclinación de la base del rodo al cuerpo del molino;
- Levante la base y retire la placa de cubierta de la base del rodo;
- Coloque la base del rodo a la salida de la compuerta principal. Alinee los ejes del muñón y atornille la base del rodo al bastidor de inclinación. Apriete los pernos del bastidor; de la viñeta 10 a la 18.
- Asegúrese de que la base del rodo esté apoyada en el bastidor de inclinación, desenganche la grúa o los polipastos;
- Retire los pernos de anillo y proceda a instalar el ensamble del eje y el rodo.

3.2.4.4. Instalación del ensamble del rodo y el eje del rodo

Consulte los dibujos de retiro del ensamble del eje del rodo y coraza (figuras 10 y 11)

- Mueva el ensamble del rodo y el eje a un costado del molino;
- Retire dos pernos retenedores de la coraza, separados 180° e instale dos pernos de anillo hasta el fondo. Asegúrese de que el anillo toque la placa de retención;
- Instale un grillete en cada perno de anillo y sujételos con eslingas;
- Enganche las eslingas a una grúa.

Advertencia

La grúa deberá soportar el ensamble del eje con el rodo en todo momento.

La eslinga y el cable de la grúa no deberán tocar el cuerpo del molino cuando se esté levantando el rodo.

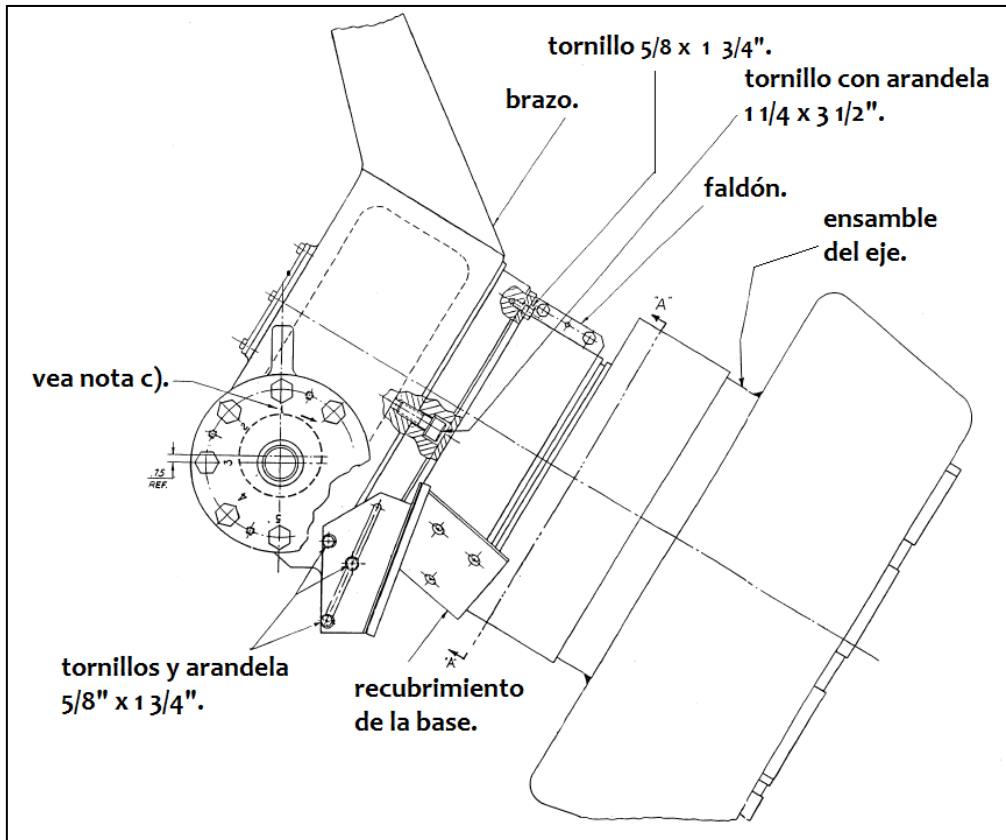
- Limpie las superficies de contacto del ensamble de la base del rodo y la brida del eje;
- Coloque en posición el ensamble del eje y el rodo sobre la base del rodo. Alinee los orificios de la brida del eje con los orificios roscados de la base;

- Instale los tornillos Allen. Apriete en la secuencia indicada en la figura 16;
- Instale el faldón de la base del rodo y apriete;

Si se suministran recubrimientos para la base del rodo, estos deben ponerse en este momento.

- Asegúrese de que el bastidor de inclinación este correctamente instalado, entonces desenganche la grúa, retire la eslinga y los pernos de anillo. Reinstale los pernos retenedores de la coraza. Apriete los sujetadores;

Figura 16. **Ensamble del rodo**



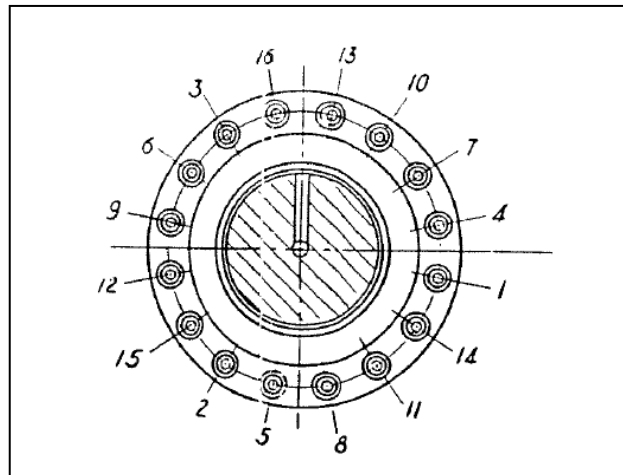
Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1214.

Procedimiento para torquear los tornillos del eje a la base del rodo:

- Siga la secuencia numerada en la figura 17 para dar apriete a los tornillos;
- Apriete en tres pasos el eje a la base del rodo con los 17 tornillos de cabeza hexagonal;

- Paso 1, apriete los 16 tornillos a un torque de 10 lb-pie;
- Paso 2, apriete los 16 tornillos a un torque de 1 000 lb-pie;
- Paso 3, apriete los 16 tornillos a un torque de 1 450 lb-pie;

Figura 17. **Secuencia para torque de tornillos**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1214.

Nota

- A todos los tornillos se les deberá aplicar algún tipo de sellador para fijarlos;
- Aplique teflón como sellador en las roscas de los tornillos; y
- La posición con el numeral 1, deberá colocarse verticalmente en los extremos libre y de empuje del eje del muñón.

3.2.4.5. Inclinación del rodo hacia adentro del molino

Precaución

Aléjese del ensamble del rodo durante el proceso de inclinado hacia adentro del molino.

Advertencia

Al elevarse el rodo, el cable se aflojará y volverá a tensarse cuando caiga dentro del molino al cambiar su centro de gravedad.

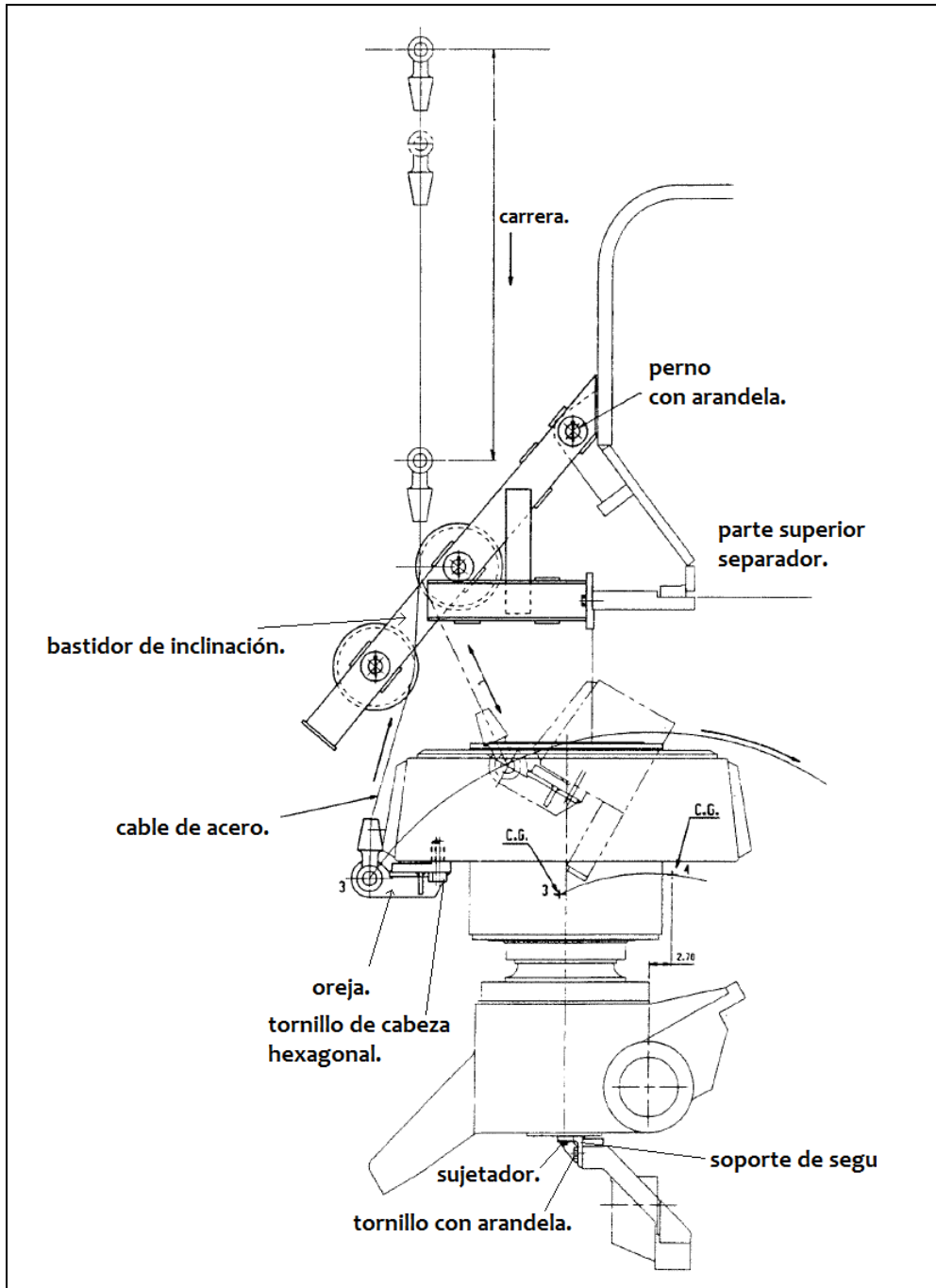
- Coloque el cable de la grúa, verifique que la grúa se sitúe verticalmente sobre el rodo, paralelo al cuerpo del molino;
- Retire los soportes y sujetadores que mantienen fija la base del rodo al soporte de seguridad;
- Accione la grúa para jalar el cable, así el rodo empezará a inclinarse hasta la posición 4, como se muestra en la figura 18, de manera que se deberá tener cuidado cuando pase después de su centro de gravedad ya que empezará a caer hacia la mesa. No exceda de 10 000 libras de tensión. Manténgase siempre alejado del rodo durante la inclinación;
- Baje el rodo hasta que el tope de la base descansa en los pernos de tope;

- Instale el tubo de llenado de aceite y revise el nivel de aceite con la varilla medidora, agregue o quite aceite según se requiera para obtener el nivel correcto en la varilla y reponga el tapón del tubo de llenado de aceite;
- Retire el cable, el bastidor de inclinación, la oreja, el soporte de seguridad y cualquier otro accesorio que se haya utilizado durante la maniobra;
- Vuelva a instalar los tornillos, la placa de la base, las compuertas principales y las tuberías de aire;
- Restablezca la holgura entre el rodo y la mesa de molienda como también la posición del resorte;

Precaución

El área alrededor del tubo de llenado de aceite es la cámara de aire para el sello de aire del rodo. Si el área no se mantendrá limpia puede reducir la vida de los sellos de aceite y puede conducir a una falla de los rodamientos del rodo.

Figura 18. **Inclinación del rodo hacia adentro del molino**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1080.

3.2.4.6. Instalación de las compuertas principales

Ver figura 9.

- Afloje las cuatro tuercas exteriores que retienen el ensamble de los resortes a los birlos de montaje;
- Instale y ajuste el ensamble de resortes hasta que sobresalga solamente 1" (25 mm) de la compuerta. Use las cuatro tuercas exteriores para ajustar el ensamble de resortes. Apriete un poco las tuercas interiores de los birlos para mantener la posición de los resortes;
- Enganche para levantar la compuerta usando los orificios superiores;
- Limpie las superficies de contacto del molino y la compuerta, cúbralos con compuesto lubricante Felt-Pro No. C5-A o similar;
- Levante la compuerta a su posición y sujétela con tornillos de cabeza hexagonal;
- Revise la compresión de los resortes, consulte el procedimiento de precargado de los resortes del rodo.

Los siguientes dos pasos solo se pueden realizar cuando el molino está en operación.

- Ajuste la tolerancia del rodo a la mesa de molienda; y
- Ajuste la tolerancia del resorte al tope del brazo de la base del rodo.

3.2.5. Mantenimiento predictivo

Un mantenimiento predictivo eficaz, detecta problemas en los equipos con tiempo suficiente para la reparación antes de que ocurra una falla catastrófica.

Algunas ventajas en la detección de los problemas iniciales en los equipos son:

- Reducir la tasa en las fallas catastróficas: esta tasa se reduce en un diagnóstico de las condiciones de los equipos y al tomar medidas antes de que el equipo falle;
- Reducir la tasa de interrupción forzada: al detectar los primeros problemas en los equipos, la inspección y las reparaciones se pueden realizar durante el tiempo de interrupción programada y no durante una interrupción forzada;
- Aumentar la inspección o intervalos de revisión: el intervalo de inspección y revisión puede ser mayor al conocer la condición del equipo y no solo basar el intervalo de tiempo transcurrido;
- Reducir el tiempo del mantenimiento: el tiempo para realizar una inspección y reparación se reduce cuando hay una planificación adecuada para la interrupción de un equipo.

Las principales tecnologías utilizadas en el mantenimiento predictivo son el análisis de vibración, análisis de aceite y la termografía. Esta sección cubre el análisis de vibraciones y análisis de aceite.

3.2.5.1. Análisis de vibraciones

Para los rodamientos del ventilador, se pueden instalar los sensores de velocidad y monitorear la vibración continuamente o periódicamente. Para el control continuo, se recomienda la lectura horizontal. Para la supervisión periódica, la vibración del ventilador se debe tomar semanalmente.

Las lecturas de vibración horizontal y vertical se deben tomar en los rodamientos interiores y exteriores y las lecturas de la vibración axial se deben tomar en el rodamiento externo. Las lecturas deben ser una tendencia.

Un análisis de forma de onda de tiempo se puede realizar con las lecturas del ventilador.

La velocidad de rotación del ventilador es igual a la velocidad del motor del molino y del eje de la entrada del molino. El equilibrio del ventilador es crítico para la operación normal del motor del ventilador.

Compruebe la vibración del motor del molino semanalmente. Las lecturas de vibración horizontal y vertical se deben tomar en los rodamientos interiores y exteriores. Las lecturas de la vibración axial se deben tomar en el rodamiento externo. Las lecturas deben ser una tendencia.

Compruebe semanalmente la vibración de la caja de engranajes del molino.

Dependiendo del arreglo de la caja de engranajes, las lecturas horizontales y verticales se deben tomar del rodamiento interior; las lecturas horizontales, verticales y axiales de la vibración se deben tomar en el engranaje impulsor. La lectura debe ser una tendencia. Un análisis de forma de onda de tiempo se puede realizar con las lecturas de la caja de engranes.

3.2.5.2. Análisis de aceite

La prueba del lubricante se recomienda por las razones siguientes:

- Para estudiar la condición (desgaste, etcétera) de la máquina que se está lubricando. Si hay un problema con el lubricante, hay una fuerte posibilidad de que la máquina necesita mantenimiento.
- Para determinar si el lubricante está cumpliendo con las especificaciones

Hay numerosas pruebas para el lubricante que se puede realizar en una muestra de aceite. La tarea consiste en realizar las pruebas mínimas que producen las condiciones óptimas del aceite y el estado de la máquina. El primer paso y más crucial en la prueba de lubricante es obtener una muestra representativa.

Algunas recomendaciones para la toma de muestras:

- Tome la muestra cuando el sistema se estabiliza, no antes o justo después de que se haya agregado el lubricante;
- Tome la muestra antes de los filtros, para que los contaminantes todavía estén en el lubricante;

- Coloque la muestra de aceite en un recipiente adecuado, limpio y bien identificado;
- Tome la muestra con un método constante. Tomar la muestra desde el mismo lugar y bajo las mismas condiciones de funcionamiento.

3.2.6. Mantenimiento preventivo

Permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles en la instalación entre una larga lista de ventajas.

3.2.6.1. Criterios de inspección

La parte del programa de mantenimiento preventivo es realizar inspecciones del equipo. Los parámetros siguientes de la inspección son críticos para el funcionamiento del molino:

- Condición interna del separador
- Condición del rodo
- Holgura entre el rodo y la mesa
- La presión de los resortes a los rodos
- Holgura de los raspadores
- Condición del chute de descargas
- Ajustes de la compuerta de alimentación
- Fuentes de salida de aire

3.2.6.2. Tareas de inspección

Para los molinos se recomienda desmontarlos totalmente después de 25 000 horas de operación para revisar los rodamientos, bujes, engranajes y el sistema de lubricación. El sistema de lubricación se deberá limpiar a fondo en ese lapso de tiempo.

El tiempo de desmontaje completo del molino depende del diseño, del tipo de carbón usado, de las toneladas de carbón pulverizado y de otros factores.

Lista de verificación para inspecciones de mantenimiento preventivo del molino.

- Compruebe el desgaste del rodo midiendo su diámetro. El desgaste máximo del rodo no debe ser mayor a 1 1/4" del radio original. El diámetro del rodo debe ser uniforme;
- Compruebe la holgura entre el rodo y la mesa. La holgura nominal es de 1/4". Ajuste la holgura si esta es mayor o igual a 3/8";
- Compruebe los segmentos de la mesa para saber si hay desgaste. Mida con una plantilla hecha de un segmento nuevo. Si el desgaste es mayor a 3/4", repare con soldadura o reemplace los segmentos;
- Revise la presión en los resortes y los pernos para verificar que no hayan grietas o fisuras en ellas;
- Todos los resortes del molino deberán ser comprimidos igualmente;

- Compruebe que no haya basura en el molino;
- Compruebe que los pernos que sujetan los segmentos de la mesa no estén quebrados;
- Compruebe el estado del anillo deflector. Registre cualquier rotura o desgaste significativo;
- Verifique los raspadores y toda el área del soporte de la mesa para saber si hay desgastes;
- Los pernos que sostienen los raspadores, los sostenedores de los raspadores y los protectores del raspador deben ser de grado 5 o un material superior y deberán soldarlas;
- Verifique el pasador y el buje de los raspadores para ver si hay desgaste. Compruebe moviendo el extremo del raspador de un lado a otro. Si la holgura es mayor o igual a 3/8", esto indica que se deberá reemplazar el pasador o el buje;
- Compruebe el piso de la recámara para saber si hay pandeo o agujeros, si los hubiera, deberá reemplazarlo para que no obstruya los raspadores;
- Cambie el aceite del rodo o de la caja de engranajes si el análisis del lubricante lo indica;
- Verifique si hay desgaste significativo en el cuerpo del molino, compuerta de alimentación, clapetas, etcétera;

- Verifique el ajuste adecuado de la compuerta de alimentación;
- Verifique desgaste alguno en las ruedas de palas.

3.2.6.3. Bases para mantenimiento preventivo

Muchas plantas buscan la reducción de costos para el mantenimiento preventivo y mejorar el rendimiento del equipo, haciendo coincidir las tareas del mantenimiento con la importancia funcional de los equipos.

Para que esto tenga éxito, se requiere información sobre las tareas más importantes y los intervalos de tareas para los tipos de equipos importantes, además de dar cuenta de la influencia de la importancia funcional, ciclo de trabajo y condiciones de servicio.

3.2.6.4. Mantenimiento regular y programado del molino

Este consiste en rutinas diarias que pueden parecer obvias pero que con frecuencia se descuidan debido a la falta de recursos. Hay que tener presente que la atención diaria a la planta de producción es la mejor forma de conocer la condición de las máquinas.

- Limpieza

La caja de engranes, el sistema de lubricación y el motor están debajo del molino y por lo tanto están fundamentalmente expuestos a las impurezas que genera la misma operación de la molienda. Por lo tanto, es de fundamental importancia para la condición y el mantenimiento de la instalación, que las máquinas y el área a su alrededor se limpien regularmente.

Resulta prácticamente imposible evitar que caiga material y se derrame. Desafortunadamente, con demasiada frecuencia se deja acumular el material derramado, lo cual obstaculiza o complica el trabajo de inspección y mantenimiento general de la maquinaria. En otras palabras, no hay excusa para la falta de limpieza.

- Supervisión visual

Al atender las rutinas cotidianas en la planta, es muy importante que el personal tome nota de cualquier irregularidad que observe en el molino. A diferencia de un molino de bolas, un molino vertical genera un nivel alto de vibración que expone a las juntas apernadas a diferentes tipos de cargas. En caso de que tales juntas se aflojen, resulta fácil imaginarse las consecuencias.

Los componentes pueden desprenderse, lo cual es evidente a la vista. También puede escucharse un ruido extraño. Dado que un molino vertical puede llegar a ser muy alto y de hecho solo está fijo a la base, los movimientos arriba pueden llegar a ser considerables si se aflojan los pernos. Los separadores rotatorios, por ejemplo, pueden estar expuestos a cargas exageradas durante dichos movimientos extremos.

- Lubricación

Por regla general, deben seguirse las instrucciones de lubricación del proveedor del molino. La mayoría de las plantas de producción tienen generalmente un proveedor de lubricante que conoce a fondo las condiciones operativas locales. Siempre debe aprovecharse la experiencia en estos asuntos.

Como se mencionó, un molino vertical tiene varios componentes móviles, la mayoría de los cuales operan en un ambiente polvoriento. Algunas juntas esféricas no pueden sellarse y por lo general los rodamientos que se usan están lubricados de por vida y se consideran piezas de repuesto de reemplazo frecuente. Otros rodamientos se lubrican con grasa, en cuyo caso es importante cumplir con el cronograma de lubricación.

Los rodos pueden ser lubricados con aceite, bien sea en un colector de aceite o por circulación. Si es lo primero, el nivel del aceite y la calidad deben revisarse y en caso de haber equipo de control de temperatura es importante que los sensores térmicos siempre estén funcionando correctamente.

Cuando se cambia el aceite es importante examinarlo cuidadosamente para detectar cualquier partícula metálica.

Los rodos lubricados en circulación son más fáciles de supervisar porque la condición del lubricante hasta cierto punto la pueden indicar los termómetros, los manómetros y los medidores de presión diferencial de la estación de lubricación.

El procedimiento para los rodos lubricados con grasa, es igual que para los rodos lubricados con sumidero de aceite.

El procedimiento de servicio para el reductor de velocidad es menos complicado porque la cantidad y el nivel de lubricante son específicos. Debe señalarse que llenar en exceso no es económico y en algunos casos puede producir recalentamiento y daño a las piezas de engranaje.

3.2.6.5. Mantenimiento del molino de acuerdo con las condiciones

El principio básico del mantenimiento de acuerdo con las condiciones es que a una máquina no se le hace una reparación general hasta que su condición no indique que es necesario. Pero para saber cuándo es necesario, hay que hacer la inspección.

Una inspección puede estar determinada por el tiempo o por la condición de la máquina, dependiendo de la situación actual o de las condiciones operativas del molino.

La inspección del molino se realiza en dos fases:

- Se toman las medidas y se hacen las observaciones visuales durante la operación estable y máxima producción.
- El reductor y el separador se inspeccionan tanto interna como externamente, mientras el molino no esté funcionando. Esta inspección se complementa con mediciones específicas y pruebas realizadas a elementos estructurales particularmente expuestos.

3.2.6.5.1. Inspección durante la producción

- Reductor de velocidad

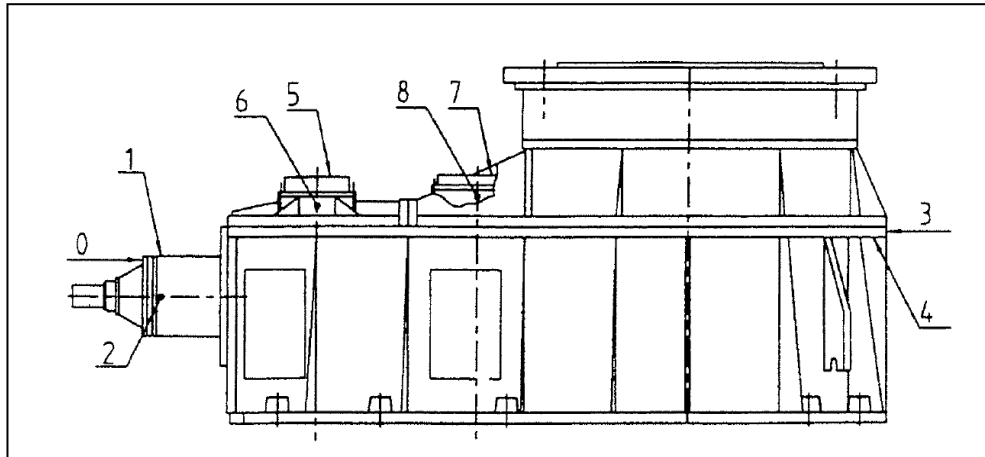
La inspección diaria y los requerimientos de mantenimiento generalmente servirán para asegurarse de que los componentes funcionen sin cambios notorios en el rendimiento, tales como cambios en las temperaturas de operación, nivel de ruido y vibración. También se inspecciona para asegurarse que todos los sistemas de lubricación están funcionando, de acuerdo con las especificaciones y que se están cumpliendo a cabalidad con los tiempos establecidos para los cambios de aceite y de filtros.

Lubricantes de la mejor calidad y una limpieza profunda son factores determinantes para prolongar la vida de los componentes del reductor. Se deben analizar muestras del aceite dos veces al año con el fin de asegurarse de que el aceite no esté contaminado ni deteriorado.

Se lleva a cabo una medición de la vibración y su análisis posterior. Las mediciones de vibración se toman una vez al año y la comparación con mediciones anteriores indica cómo ha evolucionado la condición mecánica del reductor de velocidades.

En la siguiente figura se presenta un ejemplo de los puntos adecuados para hacer las mediciones en una caja de engranes de ángulo recto.

Figura 19. **Puntos de medición en un reductor de ángulo recto**

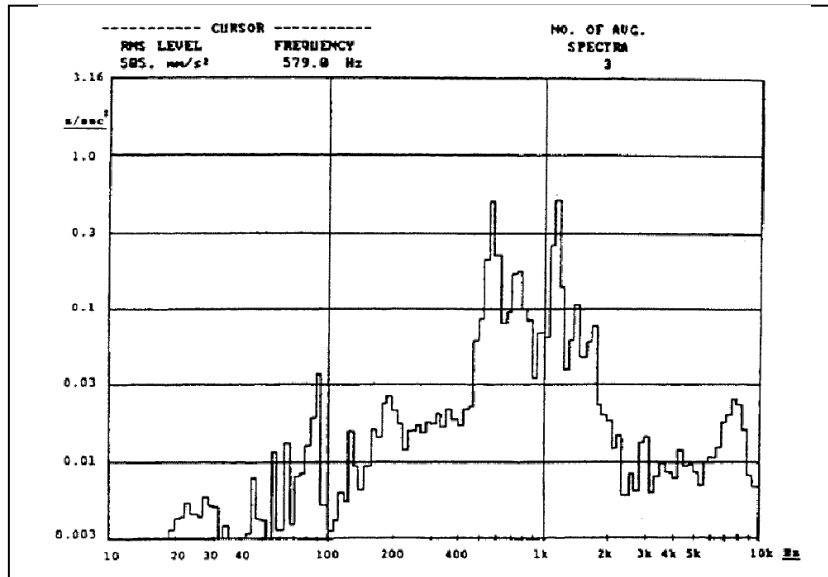


Fuente: F.L. & Smidth. *Mantenimiento de Molinos Verticales*. p. 7.

El nivel de vibración estará afectando por la variación de la carga en el molino. Las mediciones de vibración llevadas a cabo ocasionalmente tienen que referirse a los mismos puntos de medición con el fin de que la comparación sea relevante.

El análisis y la comparación entre mediciones se visualizan fundamentalmente con espectrogramas, como se ilustra en la figura 20.

Figura 20. Espectrogramas



Fuente: F.L. & Smidth. *Mantenimiento de Molinos Verticales*. p. 8.

La mayoría de las frecuencias características están relacionadas con las velocidades de rotación de los ejes y de las ruedas de engranaje y se calculan fácilmente. Las frecuencias de los rodamientos (frecuencias por defecto) usualmente las da el fabricante.

Si se aumenta el nivel de vibración gradualmente a determinadas frecuencias, se puede interpolar una tendencia. En función de esta información se puede planificar la compra de las piezas de repuesto necesarias.

Si la planta tiene un equipo adecuado para las pruebas de vibración y personal competente para operar el equipo y hacer los análisis comparativos, la planta puede hacer las revisiones regulares sin ayuda del proveedor.

Sin embargo, se recomienda contar con un especialista del proveedor que visite la planta ocasionalmente para fines de supervisión general. De esta forma se puede combinar el conocimiento local detallado de la máquina con la amplia experiencia sobre las características especiales.

Se examina el sistema de lubricación para asegurarse de que todas las funciones tales como indicadores de flujo, presión y temperatura trabajan efectivamente. Se lleva un registro de todas las indicaciones para compararlo con las inspecciones hechas en el pasado y a realizarse en el futuro.

El equipo de seguridad que está distribuido en el reductor y la estación de bombeo, puede subdividirse en los siguientes componentes:

Sensores de temperatura

Interruptores de presión

Monitores de flujo

Interruptores de nivel

Interruptores para las válvulas de seguridad

Monitores de vibración

El equipo de seguridad debe garantizar que se eviten daños en las partes vitales del reductor y en el sistema de lubricación, en caso de irregularidades en la operación.

- Molino

El molino y el separador se inspeccionan desde el exterior y se identifica las fugas que pueda haber a través de los sellos o de las juntas de expansión.

Todas las máquinas auxiliares se revisan y se determina si están funcionando. Esto implica especialmente mediciones de presión y temperatura en las instalaciones hidráulicas y en los ventiladores, así como mediciones adicionales de vibración del ventilador de circulación de aire del molino.

3.2.6.5.2. Inspección durante la parada del molino

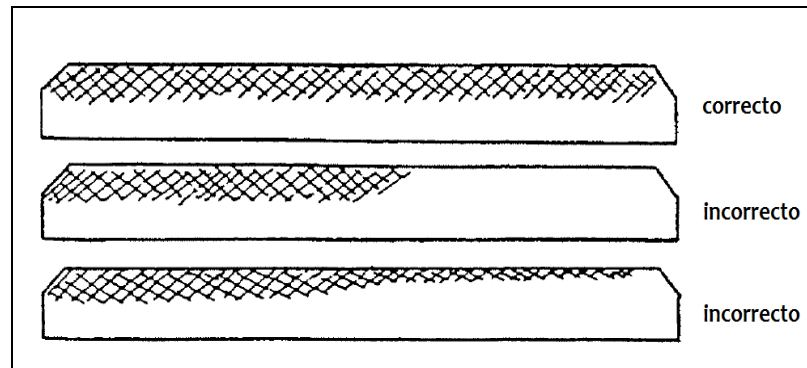
- Reductor de velocidad

En algunos reductores, por ejemplo, en los engranajes planetarios hay pocas posibilidades de inspeccionar las partes internas. Si el vaciado del aceite se lleva a cabo en la sección superior del reductor de velocidad, se pueden inspeccionar el cojinete de empuje y el anillo de deslizamiento y puede que haya también un orificio de inspección en el juego de ruedas cónicas, otros reductores más tradicionales están diseñados con varios orificios de inspección que facilitan la inspección general de las piezas internas del engranaje.

No obstante, en todo caso los reductores de velocidad deben inspeccionarse visualmente por lo menos una vez al año y si es necesario, debe hacerlo un especialista del proveedor. Esta actividad generalmente se combina con la medición de vibración y se incorpora en el programa de inspección general.

Es necesario revisar si el reductor se ha distorsionado con el tiempo, lo cual puede alterar la posición de los ejes y cambiar el contacto de los dientes. La interposición de las ruedas de los ejes/engranaje puede determinarse a partir de las huellas de los contactos de los dientes.

Figura 21. **Huellas de los contactos de los dientes**



Fuente: F.L. & Smidth. *Mantenimiento de Molinos Verticales*. p. 10.

La condición del cojinete de empuje puede revisarse a través del orificio de inspección en la parte superior del reductor.

El tipo de cojinete de empuje normalmente es una unidad de rodamiento axial semihidrostática que consiste en un anillo de deslizamiento con el número adecuado de zapatas de cojinete adaptadas entre la caja de engranajes y la brida de conexión del reductor.

El anillo de deslizamiento que está fijado a la brida de conexión descansa sobre las zapatas del cojinete y están separadas por una película de aceite que soporta la carga vertical del sistema de molienda. Si la película de aceite penetra, se producirán daños en los componentes del cojinete.

Debido a la limitada visión a través del orificio de inspección, solo es posible inspeccionar el anillo de deslizamiento, pero la condición superficial de este es significativa de toda la condición del cojinete.

Normalmente una o dos de las zapatas del cojinete están equipadas con un sensor de temperatura que supervisa continuamente la condición del cojinete de empuje.

La estación lubricante del reductor de velocidad con frecuencia tiene varios instrumentos tales como medidores, termostatos, indicadores de presión y temperatura, etcétera. El funcionamiento de este sistema tiene que probarse y de ser necesario, debe hacerse un montaje de prueba y los ajustes necesarios. También deben probarse los enclavamientos eléctricos.

Como ya se mencionó, el reductor de velocidad absorbe toda la carga y el impacto del proceso de molienda a través del cojinete de empuje. La torsión del motor se transfiere a través del tren de engranaje a la brida de conexión/mesa de molienda, a través del eje de baja velocidad. La vibración y el impacto de esta parte del reductor se consideran de baja frecuencia y en consecuencia son más dañinos para los componentes del engranaje.

La conexión entre el eje de baja velocidad y la brida debe inspeccionarse visualmente y por ensayos no destructivos, por lo menos una vez al año.

- Molino

Los rodos son unidades selladas de modo que no se puede inspeccionar directamente la condición de los rodamientos. Sin embargo, como ya se mencionó, cualquier defecto en los rodamientos con frecuencia se manifiesta por la presencia de partículas metálicas en el lubricante.

Los sellos del eje son bastante fáciles de examinar y se pueden cambiar en el sitio, si su diseño lo permite.

Si se sospecha que las condiciones dentro del rodo se han deteriorado, deben tomarse medidas a la brevedad posible para cambiar el rodo. Intervenir rápidamente con frecuencia significa reducir costos.

Además de las bombas de aceite con equipos auxiliares, la unidad de lubricación incluye equipos para acondicionar el aceite en relación con la temperatura y el nivel de pureza. Este es el momento de probar el funcionamiento del sistema y llevar a cabo los ajustes necesarios.

Todas las juntas por donde pasan componentes mecánicos o tuberías a través del revestimiento deben inspeccionarse para detectar desgaste y defectos. Si es necesario hay que desmontar los componentes.

El personal de mantenimiento responsable por el mantenimiento cotidiano debe instruirse en los procesos correctos. Por ejemplo, preparar un documento de registro en donde se anoten todas las actividades realizadas y los datos obtenidos. Asegúrese de que hay existencia de los repuestos más utilizados y que de ser necesario, se pueden conseguir otros repuestos fácilmente.

- Separador

Se examina la situación de desgaste del revestimiento del separador y la tubería de los gases de escape en la salida del separador.

Si el separador es de tipo rotatorio, las aspas del rotor y las juntas entre el estator y el rotor también deben revisarse. Esta es una condición particularmente importante para la eficiencia del separador.

- Examen de grietas

Si durante la inspección visual externa del reductor, del cuerpo del molino y del separador se encuentran indicios de grietas en las estructuras de las placas soldadas, entonces debe ampliarse la inspección para incluir ensayos no destructivos de las áreas en cuestión.

3.2.6.6. Planificación

En una organización de mantenimiento moderna, la planificación se está convirtiendo cada vez más en una herramienta indispensable para poder manejarse en los cortos períodos que usualmente se le asigna a las tareas de mantenimiento. El tener la planta de producción disponible durante el mayor tiempo posible es generalmente una condición significativa para aumentar la rentabilidad. El reducir el tiempo de parada de la planta no necesariamente reduce los costos de personal, pero el hecho de asignar mejor los recursos mediante una planificación muy probablemente genera ahorros.

Los principales componentes de la planificación son:

- La planificación de las actividades
- Planificación de los recursos
- Planificación de los materiales y los repuestos

Se puede preparar el programa de mantenimiento, de acuerdo con cada una de las operaciones de planificación.

3.2.6.7. Actividades durante una parada por mantenimiento

Las paradas por mantenimiento programadas normalmente, que varían en duración y frecuencia de una planta a otra, son el momento de llevar a cabo trabajos de reparaciones mayores y para cumplir con los planes de actividades y recursos.

Los tipos de trabajos de reparación que se llevan a cabo varían en función de los requerimientos específicos, pero son fundamentalmente los estipulados en las instrucciones que dan los proveedores de las máquinas; por ejemplo, rutinas tales como revisar y apretar los pernos de sujeción.

Además y no menos importante, los trabajos que se van a realizar serán la reparación y reemplazo de los componentes defectuosos identificados durante las inspecciones regulares y que no se realizan desde la última parada programada.

3.2.7. Servicio de los componentes del molino

Entre el servicio que se le debe prestar a los componentes del molino se pueden observar los siguientes:

3.2.7.1. Cambio de segmentos de la mesa de molienda

- Para ofrecer acceso al molino, retire las compuertas principales, auxiliares y los ensambles de rodos necesarios;
- Abra las puertas auxiliares y del separador;
- Destornille los segmentos inferiores de la rueda de palas hacia el lado de molienda. Consulte el dibujo de instalación de palas;
- Destornille y retire los segmentos del anillo de extensión de la mesa. Los dos tornillos Allen instalados en cada segmento pueden usarse como pernos de levantamiento durante el proceso de retirado. Corte los puntos de soldadura en los extremos de las cuñas si es necesario;
- Retire todos los segmentos de la mesa de molienda;
- Si no tiene daños, deje en su lugar el anillo de sujeción de la mesa de molienda; si está dañado, destornille y cámbielos. El juego de tornillos Allen que se proporcionan en cada segmento pueden usarse como pernos de levantamiento durante el proceso de retirado;
- Limpie todas las superficies interiores de la mesa;

- Siga el procedimiento de instalación de los segmentos de la mesa. Si no se retiró el anillo de sujeción, salte los pasos que involucran su instalación.

Los segmentos de la mesa están numerados para una instalación en secuencia.

Si se vuelven a usar los segmentos del anillo de extensión de la mesa, antes de la instalación deben ser retirados cualquier cuña o puntos de soldadura.

Precaución

Durante el proceso de soldadura, conecte a tierra los componentes.

- Reemplace los segmentos de la rueda de palas
- Reinstale los rodos y las compuertas principales

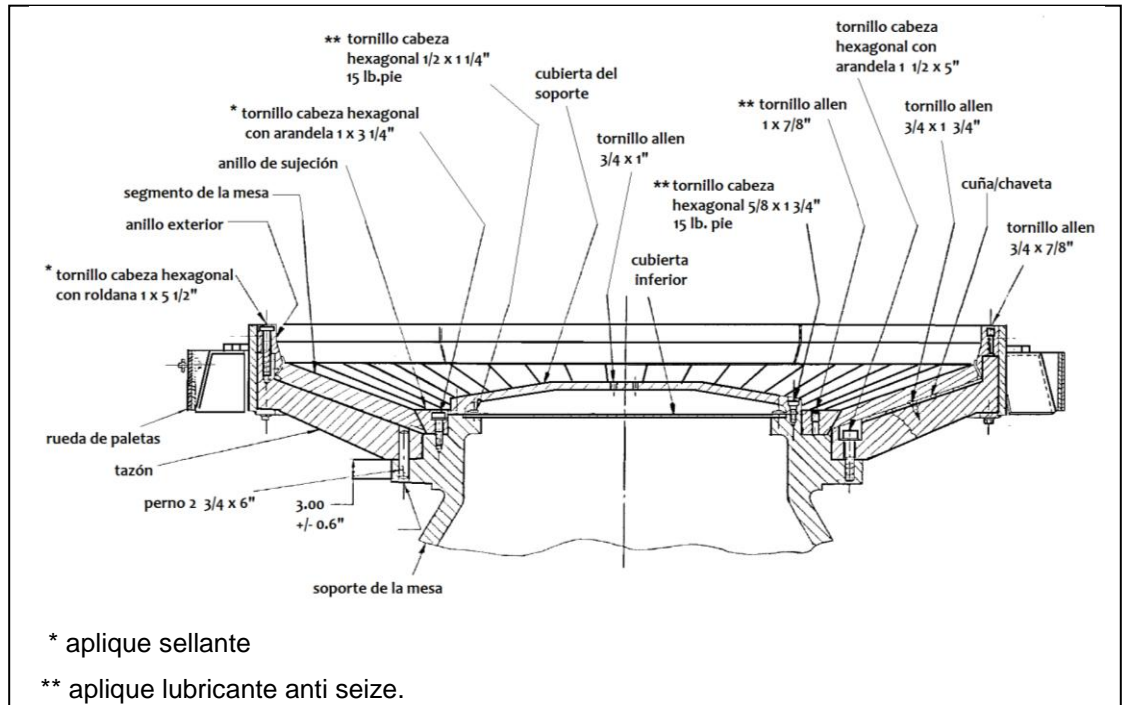
3.2.7.1.1. Procedimiento de instalación de los segmentos de la mesa

- Coloque los segmentos aplicando Loctite #271 a los tornillos Allen y de torque a los mismos a mitad del valor especificado en los planos. Vuelva a apretar los tornillos con el valor total especificado. Repita estos pasos hasta que todos los segmentos se coloquen;

- En el mismo orden que se apretaron los tornillos en el paso anterior, compruebe que estén en el valor especificado de torque;
- Instale los segmentos de la mesa, acompañados de las cuñas (*shims*), asegurando que lleguen a tope y queden ajustados aplicando soldadura, según sean necesarios;
- Instale los segmentos del anillo exterior y asegúrese de que queden bien asentadas. La holgura entre el anillo y la mesa deberá ser menor a 0,0015". ningún segmento de la mesa o cordón de soldadura deberá tocar el anillo exterior;
- Repita el primer y segundo paso, excepto esta vez los segmentos del anillo exterior;
- Comenzando con cualquier segmento de la mesa, seleccione una cuña (*shims*) y su grosor deberá estar entre 0,000" a 0,015" menos que la holgura entre los segmentos.

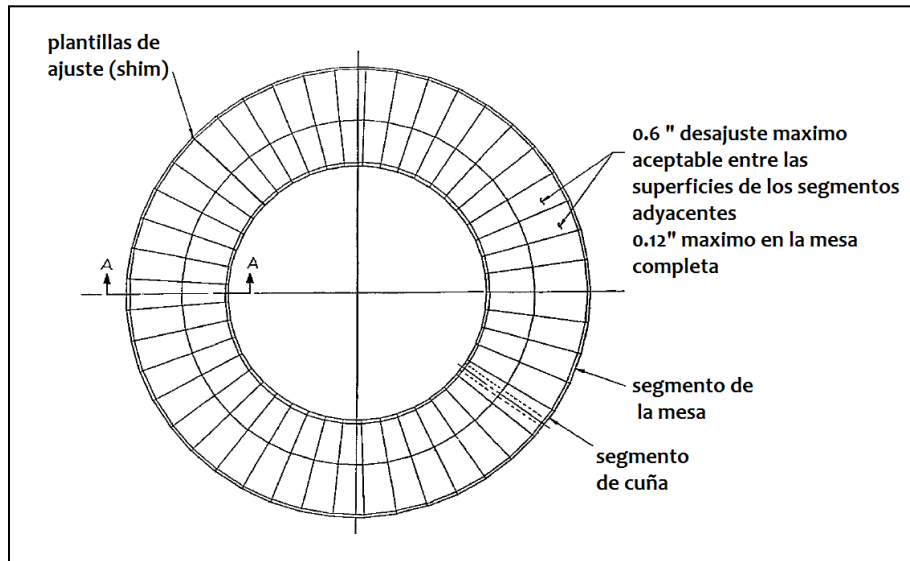
Nota: el grosor de cada cuña (*shims*) está marcada en las mismas. Use el mínimo de cuñas posibles.

Figura 22. Perfil mesa de molienda



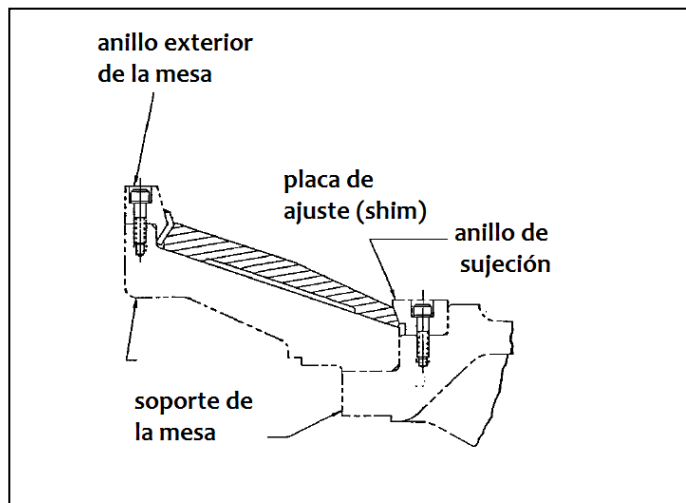
Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1148.

Figura 23. **Planta de la mesa de molienda**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1149.

Figura 24. **Detalle segmento de la mesa**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte 80-1149.

3.2.7.2. Cambio de segmentos de la rueda de paletas

Para seguir los pasos que a continuación se describen, refiérase a los dibujos de la mesa de molienda.

- Para ofrecer acceso al molino, retire las compuertas principales, auxiliares y los rodos necesarios;
- Inspeccione los segmentos de la cubierta ajustable y de la rueda de paletas.

El número de placas requerido solamente debe cambiar si hay un cambio importante en el flujo de aire del molino.

- Reemplace los segmentos de la rueda de paletas como sigue:
 - ✓ Rompa los puntos de soldadura, retire los tornillos y roldanas;
 - ✓ Destornille y retire los segmentos desgastados de la rueda de paletas;
 - ✓ Fije un nuevo segmento de la rueda de paletas, instale y apriete a mano los tornillos de cabeza hexagonal y roldanas sujetando los segmentos de extensión de la mesa. No de torque a los tornillos en este momento;

- ✓ Aplique lubricante antiseize a los tornillos y entonces sujete los birlos de soporte de la rueda de paletas a la mesa con los tornillos y las roldanas;
 - ✓ Coloque y suelde los birlos de soporte a los segmentos de la rueda de paletas. Apriete y dé torque a los tornillos del tope de los birlos de soporte y entonces suelde con puntos de soldadura las roldanas y los tornillos a los birlos de soporte;
 - ✓ Retire los segmentos de tornillos de la rueda de paletas, aplique lubricante antiseize, reinstale, apriete y de torque a 300 lb-pie (407 Nm);
 - ✓ Si habían placas de bloqueo en los segmentos desgastados de la rueda de paletas, instale nuevas en el mismo lugar.
-
- Coloque la envoltura ajustable para proporcionar el espacio apropiado entre la envoltura y el cuerpo del molino. Asegúrese de que el rodamiento hidrodinámico de la caja de engranes esté debidamente lubricado y entonces gire manualmente el eje de entrada de la caja de engranes para girar la mesa. Verifique las tolerancias a intervalos de 45°.
 - Incline hacia adentro los rodos y reinstale las compuertas principales y auxiliares.

3.2.7.3. Cambio de la coraza del rodo

Cuando la coraza del rodo necesita cambiarse, siga los siguientes pasos.

- Retire la compuerta principal e incline hacia fuera el ensamble del rodo;
- Consulte el procedimiento de inclinación del rodo hacia afuera del molino, asegúrese de que el bastidor de inclinación este instalado correctamente para que el ensamble del rodo se mantenga en su lugar;
- Saque el eje y el rodo del molino (consulte retiro del rodo y el eje) y llévelo a un lugar conveniente para realizar este procedimiento;
- Quite los pernos retenedores y la placa de retención de la cabeza del rodo;
- Instale la placa o plancha a la coraza, con su perno de anillo colocado en el centro, apriete y dé torsión a los pernos de cabeza hexagonal a 50 lb-pie, engánchela con un grillete y estrobos a una grúa;
- Caliente la coraza a 2 000 °F (940 °C) con llama de gas propano, utilizando para ello boquillas tipo antorcha. Use un pirómetro para medir la temperatura de la coraza. El gradiente de temperatura no debe exceder los 250 °F (140 °C), o sea, debe tener una temperatura uniforme en toda la coraza;

- Cuando la temperatura llegue a los 200 °F (94 °C), levante ligeramente la coraza con la grúa. Mantenga un calor constante aproximadamente de 45 a 60 minutos para asegurar que la coraza se caliente completamente. Al expandirse la coraza esta debe despegarse de la cabeza (*housing*), cuando se separe quite la coraza y llévela a un área adecuada para que se enfríe;

Precaución

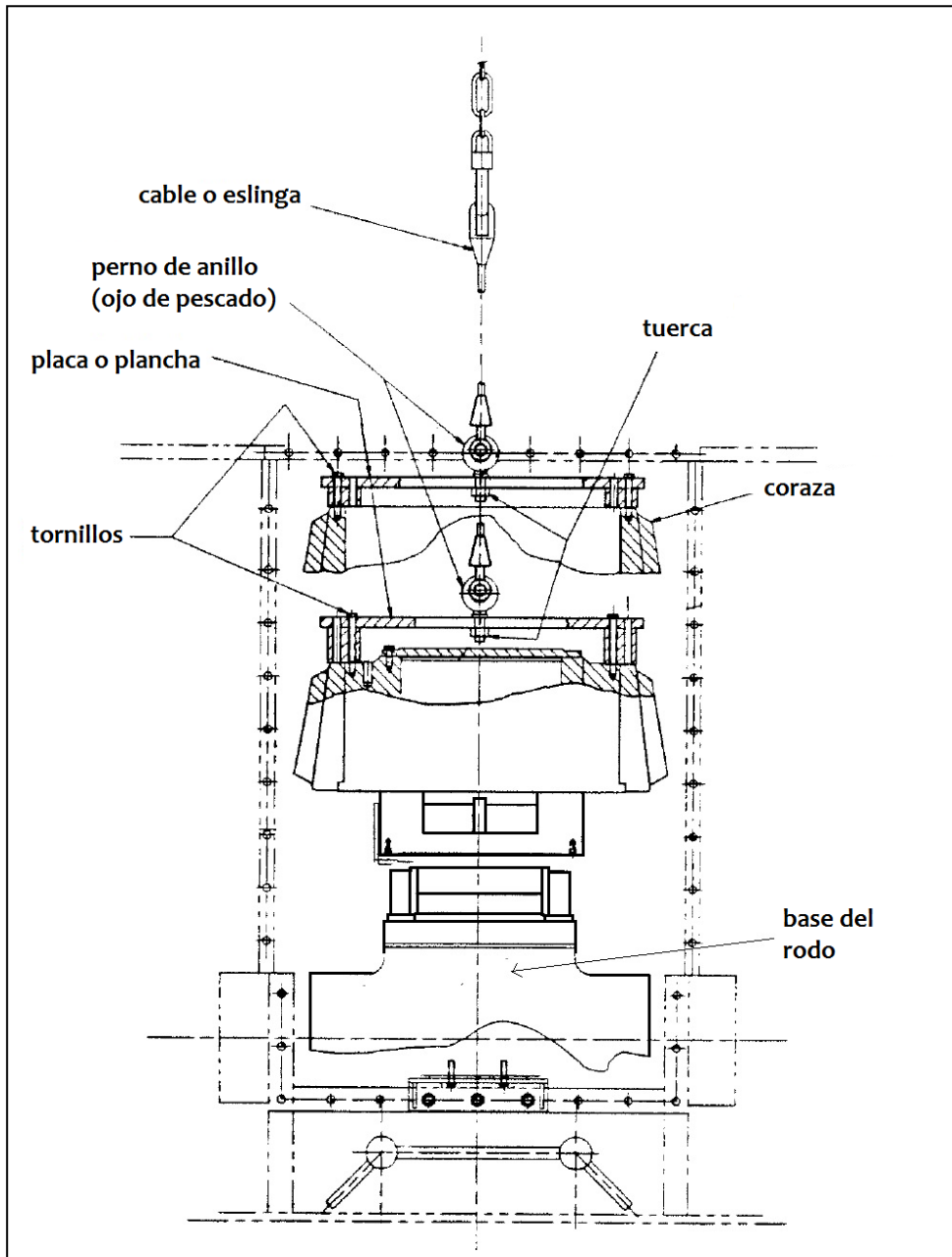
Si la coraza es golpeada desde abajo para ayudar a retirarla, debe usarse un martillo de bronce o plomo, no use martillo de acero, ya que esto puede despegar astillas y causar lesiones.

Deje que la cabeza del rodo (*housing*) se enfríe antes de instalar una coraza nueva.

- Limpie las superficies de contacto de la cabeza del rodo y del alma de la coraza;
- Lubrique la superficie de la cabeza del rodo (*housing*) con una ligera película de lubricante como Molykote #41 o similar para prevenir la oxidación y dificultades futuras con el desensamblado de la coraza;
- Siga el quinto paso para enganchar la coraza nueva, levántela y llévela cerca de la cabeza y el eje para facilitar su colocación; caliente de nuevo como lo indica en el paso seis;
- Instale la cuña y dé torsión a los pernos, los de 1" a 310 lb-pie y a los de 3/4" a 150 lb-pie;

- Inmediatamente bájela cuidadosamente sobre la cabeza del rodo. Asegúrese de que la cuña está alineada al espacio adecuado;
- Verifique que la cara posterior de la coraza esté totalmente asentada a la cabeza del rodo (*housing*);
- Retire la placa o plancha y la grúa de la coraza e instale inmediatamente las placas retenedoras y los pernos retenedores. Apriete y dé torsión a los pernos retenedores a 50 lb-pie;
- Cuando se normalice la temperatura de la coraza y de la cabeza del rodo (*housing*), aproximadamente 15 minutos, apriete y dé torsión a los pernos retenedores, los de 1" a 310 lb-pie y a los de 3/4" a 150 lb-pie;
- Recaliente la coraza a 200 °F (49 °C). Cuando se haya alcanzado la temperatura y se haya mantenido por 45 minutos, vuelva a dar torsión a los pernos retenedores, los de 1" a 310 lb-pie y a los de 3/4" a 150 lb-pie;
- Deje que la coraza y la cabeza del rodo se enfríen a temperatura ambiente;
- Cuando se haya dejado enfriar, lleve el rodo de nuevo para instalarlo en su base, luego proceda a inclinarlo hacia adentro del molino;
- Verifique y reestablezca el nivel de aceite con la varilla medidora; y
- Coloque las compuertas principales y cierre las auxiliares.

Figura 25. Forma de sacar la coraza del rodo



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte GP-7376.

3.2.7.4. Revisión del juego axial del rodamiento del rodo (calibración del rodamiento)

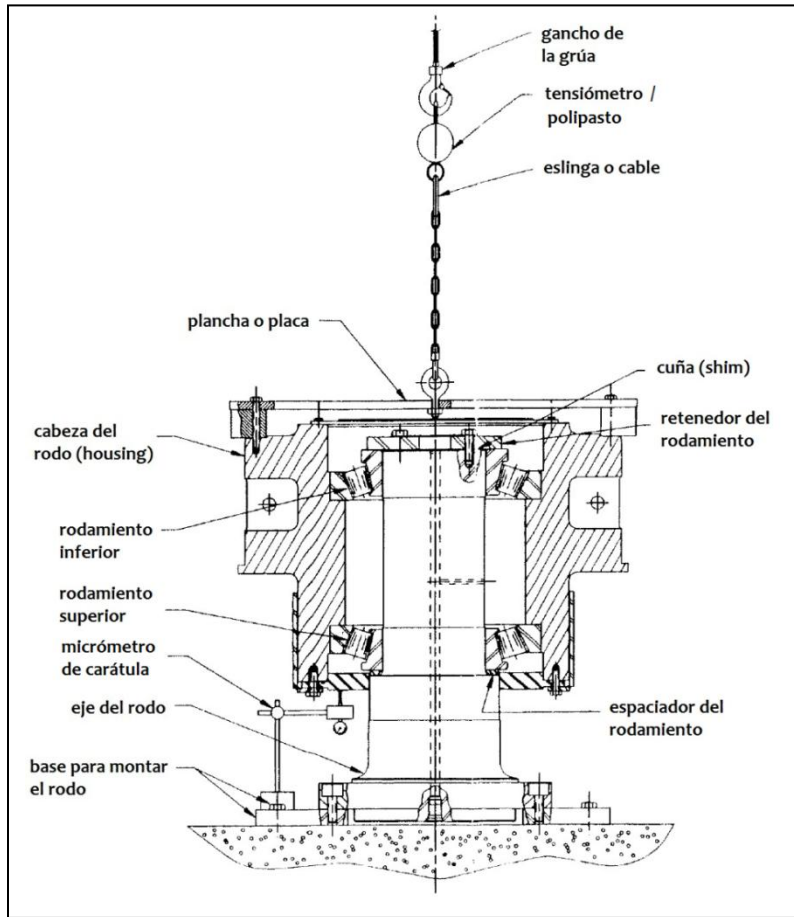
Saque el eje con el rodo del molino (consulte retiro del rodo y el eje) y llévelo a un lugar conveniente para realizar este procedimiento, el eje debe ser montado en una base similar a la mostrada en la figura 26.

- Retire la compuerta principal e incline hacia fuera el rodo;
- Consulte el procedimiento de inclinación del rodo hacia afuera del molino, asegúrese de que el bastidor de inclinación este instalado correctamente para que el ensamble del rodo se mantenga en su lugar;
- Retire dos pernos retenedores de la coraza, separados 180° e instale dos pernos de anillo hasta el fondo, apriete y dé torque a 50 lb-pie, asegúrese de que el anillo toque la superficie de la placa de retención;
- Instale un grillete en cada perno de anillo, sujételos con eslingas y engánchelas a una grúa para luego llevarlo a un lugar seguro de trabajo;
- Una vez montado sobre una base segura, coloque un micrómetro de carátula en la base del rodo con la aguja del medidor descansando en la cara posterior de la cabeza del rodo;
- Gire el rodo varias veces para asegurar que los rodamientos estén adecuadamente asentados. Ponga en cero el indicador y marque la localización de la aguja del indicador en la cabeza del rodo;

- Aplique una fuerza vertical hacia arriba, teniendo en cuenta monitorear la fuerza con un tensiómetro con capacidad de 15 000 lb;
- Gire el rodillo varias veces para asegurar que los rodamientos estén adecuadamente asentados. Vuelva a alinear la aguja del indicador con la marca en la cabeza del rodo y registre la lectura;
- Quite la carga, de modo que el rodo y el eje estén libres, gire la cabeza del rodo varias veces para asentar los rodamientos. Ajuste la aguja del indicador con la marca de la cabeza. Si la lectura esta dentro de 0,0005" (0,013 mm) del ajuste a cero original, se considera una lectura exacta;
- Repita los pasos de las viñetas 7, 8, 9 y 10, hasta que se obtengan dos medidas exactas;
- Calcule el promedio de las lecturas y compare los resultados con la tabla II;
- Si el juego axial medido está dentro de las especificaciones, 0.015" (0,381 mm), entonces el rodo puede volver al servicio por los siguientes seis meses sin inspeccionar el rodamiento inferior o reajustando el juego axial;
- Si el juego axial medido está fuera de lo especificado (0,015"), se deberá revisar si el rodamiento inferior tiene desgaste;
- Retire la cubierta inferior de la cabeza del rodo, la placa retenedora del rodamiento y las cuñas;

- Usando un extractor adecuado, retire la carrera interior del rodamiento inferior e inspeccione si los rodillos tienen picaduras o desgaste. Si el rodamiento está dañado, es necesario su reemplazo;
- Si el rodamiento inferior no está dañado, reemplace la carrera interior del rodamiento. Instale el retenedor del rodamiento y los tornillos del casquete apretando a mano. Gire la cabeza del rodo cinco vueltas completas en cada dirección para reajustar los rodamientos;
- Retire los tornillos y el retenedor del rodamiento. Use un micrómetro de profundidad para medir la abertura entre el extremo del eje y el borde del cono del rodamiento inferior;
- Ensamble e instale un juego de cuñas que midan 0,002" (0,051mm) más que la abertura medida;
- Instale el retenedor del rodamiento, la placa de bloqueo del tornillo y los tornillos;
- Si el juego axial del rodamiento está fuera de especificación y será reajustado, debe ser ajustado a la especificación como nuevo (de 0,0005" a 0,0025" (de 0,0127 mm a 0,0635 mm));
- Después de que se logre un ajuste satisfactorio de 0,0005" a 0,0025" (0,0127 mm a 0,0635 mm), engrase al anillo O de la cubierta inferior del rodo con grasa Molykote #33. Instale el anillo O y la cubierta inferior del rodo.

Figura 26. Calibración de los rodamientos



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte MP-14 975.

Tabla II. **Datos de la holgura del rodamiento**

| Tamaño del Molino | Carga con rodo (lb) | Carga sin rodo (lb) | Holgura admisibe (pulgada) | Valor establecido de holgura (pulgada) | Capacidad mínima del polipasto (lb) |
|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|
| 583-623 | | | 0,15 | 0,0005-0,0025 | 5 000 |
| 683-743 | 10 450 | 8 717 | 0,15 | 0,0005-0,0025 | 15 000 |
| 763-803 | 11 360 | 6 500 | 0,15 | 0,0005-0,0025 | |
| 823-863 | | | 0,15 | 0,0005-0,0025 | |
| 883-943 | | | 0,15 | 0,0005-0,0025 | 50 000 |
| 963-1 003 | 20 930 | 17 360 | 0,15 | 0,0005-0,0025 | |
| 1023-1103 | 31 616 | 26 038 | 0,15 | 0,0005-0.0025 | |

Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte MP-14 975.

3.2.7.4.1. **Desmontaje del eje del rodo**

Haga y monte al suelo una placa base en un área de mantenimiento. Esta placa base se usará para el desmontaje del eje del rodo, así como de la revisión del juego axial del rodamiento.

- Sujete el eje del rodo a la placa base montada en el suelo;

Asegúrese de colocar un recipiente grande debajo del drenaje para retener el aceite del rodo.

- Si no se había drenado previamente el aceite, retire los tapones de tubo de las cubiertas superior e inferior de la cabeza del rodo (*housing*) y drene el aceite;

- Reemplace los tapones de tubo;

No es necesario retirar la coraza para reemplazar los rodamientos del rodo. Si la coraza no será retirada, entonces proceda al paso después de las precauciones.

- Consulte el cambio de coraza.

Precaución

Si se quitará la coraza, espere a que se enfríe las partes lo suficiente antes de continuar con el desmontaje.

- Destornille y retire la cubierta inferior de la cabeza del rodo;
- Destornille el sello para el aceite y póngalo a un lado;
- Destornille la cubierta superior de la cabeza del rodo y permita que se deslice hasta descansar sobre el anillo del sello de desgaste. Cuando el sello del anillo O se afloje, se podrá derramar residuos de aceite;
- Continúe el desmontaje del eje destornillando y retirando el retenedor del rodamiento, la placa de bloqueo de los tornillos y las cuñas de retención del rodamiento;
- Usando un extractor adecuado, retire el rodamiento inferior del eje;

- Sujete la grúa, pernos de anillo y las eslingas a la cabeza del rodo. Levante la cabeza del rodo del eje. Las cunas de los rodamientos inferior y superior permanecerán en la cabeza del rodo (*housing*);
- Usando un extractor adecuado, retire el rodamiento cónico superior y el espaciador del eje del rodo;
- Levante la cubierta superior de la cabeza del rodo (*housing*) y los sellos del aceite;
- Si una inspección revela la necesidad de reemplazo, use un extractor adecuado para retirar el anillo de sello de desgaste del eje del rodo;
- Use un extractor adecuado para retirar los rodamientos cónicos superior e inferior de la cabeza del rodo (*housing*);
- Inspeccione todos los componentes para determinar los reemplazos necesarios.

3.2.7.4.2. Procedimiento del montaje del eje del rodo

- Caliente el sello del aceite usando una antorcha a 250 °F y deslícela a su posición;
- Aplique sellador Loctite # 515 a la cubierta del sello del aceite, Loctite #222 para los sujetadores y monte la cubierta del sello a la placa de retención inferior. Apriete los sujetadores a 5 lb-pie;

- Aplique a la placa de retención inferior una cantidad mínima de grasa Molikote #33;
- Aplique grasa Molikote #33 a los sellos del aceite. Deslice el primer sello con el labio mirando hacia dentro. Deslice el segundo y tercer sello del aceite en el agujero con el labio mirando hacia afuera;
- Baje la placa de retención inferior con los sellos del aceite sobre el eje. Deslice los sellos del aceite hacia abajo sobre el sello de desgaste;
- Deslice el espaciador del rodamiento sobre el eje cuando sea aplicable;
- Engrase el anillo O con grasa Molikote #33 y también en las ranuras de la placa de retención inferior;
- Deslice el cono del rodamiento de rodillos cónicos inferior en el eje. Si es necesario caliente el cono;
- Enfríe los dos rodamientos hasta – 60 °F. Instalar ambos conos en la cabeza del rodo (*housing*) y las abrazaderas en su lugar hasta que la cabeza y el cono lleguen a su temperatura de equilibrio;
- Baje la cabeza del rodo (*housing*) alrededor del eje teniendo mucho cuidado con la posición de la pista del rodamiento sobre los rodillos;
- Deslice el cono del rodamiento de rodillos cónicos superior sobre el eje. Si es necesario caliente el cono antes de la instalación;

- Coloque el retenedor del rodamiento en la parte superior del eje con sus respectivos tornillos y apriete con la mano. Gire la cabeza del rodo (*housing*) por lo menos cinco veces en cada dirección para que asienten los rodamientos;
- Quite el retenedor del rodamiento y mida la holgura entre el eje y el cono del rodamiento superior. Coloque cuñas (*shims*) si la holgura es mayor a 0,002”;
- Coloque las cuñas (*shims*), el retenedor del rodamiento y la placa de retención superior y apriete los tornillos;

Use el procedimiento del juego axial del rodamiento del rodo (calibración) para los pasos siguientes.

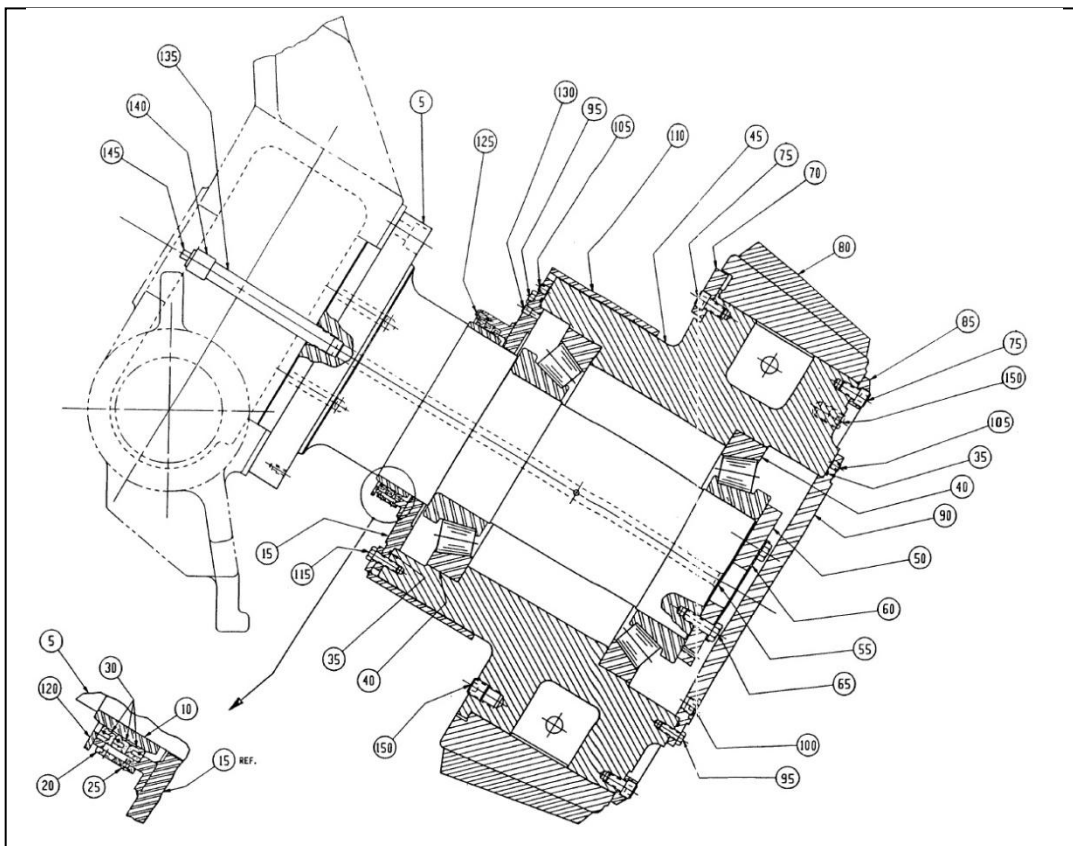
- Baje el polipasto con el perno de anillo (ojo de pescado) hacia el eje e instálelo en el centro, de manera que el eje quede colgado libremente en forma vertical;
- Coloque la placa o plancha con su respectivo perno de anillo (ojo de pescado) en el centro de la misma, asegurándolo con una arandela y su tuerca;
- Coloque la plancha en los agujeros roscados adecuados ya sea en la cabeza del rodo o en la coraza;
- Coloque tres micrómetros de carátula separados a 120° y tome medidas en la cara posterior de la cabeza del rodo (*housing*);

- calibre a cero los tres micrómetros, y marque con un punto en la cabeza del rodo (micrómetro 1, micrómetro 2 y micrómetro 3);
- Gire la cabeza del rodo cinco veces en una dirección y luego regrésela a su posición original con respecto a cada punto de los micrómetros marcados anteriormente. Verifique si los micrómetros marcaron cero de nuevo. Si no es así, repita este paso y el anterior;
- Aplique una carga como según la tabla II, gire la cabeza el rodo (*housing*) cinco veces y regrésela a su posición original de nuevo;
- Registre y saque un promedio de las lecturas de los micrómetros;
- Libere la carga y nuevamente gire cinco veces. Regrese a su posición original y verifique que los micrómetros regresen a cero;
- Repita los pasos veinte al veintitrés cinco veces y calcule el promedio de los promedios. El dato deberá ajustarse a la tabla II. Inserte cuñas (*shims*) si es necesario;
- Quite todo el equipo de calibración. Use el procedimiento de montaje del eje para los siguientes pasos;
- Engrase el anillo O con grasa Molykote #33 e instale el mismo dentro de la placa de retención superior;
- Monte y fije la placa de retención superior a la cabeza del rodo y apriete los tornillos;

- Instale los tornillos con sellante en la placa de retención superior. Instale tornillos en la cabeza del rodo para poder levantarlo.
- Caliente la coraza a 200 °F (94 °C) con llama de gas propano, utilizando para ello boquillas tipo antorcha. Use un pirómetro para medir la temperatura de la coraza. El gradiente de temperatura no debe exceder los 25 °F (14 °C), o sea, debe tener una temperatura uniforme en toda la coraza;
- Fije la coraza con una placa a la cabeza del rodo (*housing*). Apriete los tornillos;
- Aplique grasa Molykote #41 en la superficie de la cabeza del rodo (*housing*), en donde hace contacto con la coraza;
- Usando una grúa o polipasto, baje la coraza a la cabeza del rodo (*housing*). Asegúrese de que la muesca de la coraza encaje con el seguro. Instale las placas de retención inmediatamente después de que se haya puesto en posición el rodo. Una vez el rodo se haya enfriado, apriete los tornillos con el torque especificado;
- Gire el rodo de manera que la placa de retención tenga contacto con la parte superior del eje. Asegúrese que el anillo “O” este ubicado correctamente entre la cabeza del rodo (*housing*) y la placa de retención inferior;
- Asegure la placa de retención inferior a la cabeza del rodo, para ello solo use dos tornillos;

- Posicione y asegure ambas mitades del recubrimiento de la base. Instale los tornillos restantes a la cabeza del rodo (*housing*). Como también los tornillos de la placa de retención inferior;
- Asegure la placa de retención del sello para el aceite y apriete los tornillos; y
- Llene el ensamble del rodo de 10 a 12 pulgadas desde la parte superior del eje con aceite para engranajes Mobil # 636.

Figura 27. **Ensamble del eje del rodo**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer. Parte 80-1 213.*

Tabla III. Partes del ensamble del eje

| | | | | | |
|----|------------------------------------|-----|--|-----|---|
| 5 | Eje | 55 | Cuñas (<i>shims</i>) del retenedor | 105 | Tornillo allen 3/4" x 7/8" |
| 10 | Sello de desgaste | 60 | Placa de retención | 110 | Faldón |
| 15 | Placa de retencion inferior | 65 | Tornillos cabeza hexagonal 7/8" x 2 1/2" | 115 | Tornillo cabeza hexagonal 3/4" x 2 1/2" |
| 20 | Cubierta del sello del aceite | 70 | Cuña | 120 | Retenedor del sello |
| 25 | Tornillo cabeza hexagonal | 75 | Tornillos cabeza hexagonal 3/4" x 1 1/2" | 125 | Tornillo cabeza hexagonal 0.312 x 3/4" |
| 30 | Sello | 80 | Coraza | 130 | Tornillo allen 1/2" |
| 35 | Anillo "O" | 85 | Retenedor | 135 | Tubo para alimentación de aceite |
| 40 | Rodamiento de rodillo cónico | 90 | Placa de retención superior | 140 | Nipple |
| 45 | Cabeza del rodo (<i>housing</i>) | 95 | Tornillo cabeza hexagonal 3/4" x 2" | 145 | Tapón |
| 50 | Retenedor del rodamiento | 100 | Tornillo 1" | 150 | Tornillo allen 1 3/8" |

Fuente: elaboración propia.

3.2.7.5. Cambio del sello de aceite del rodo

Consulte los dibujos del ensamble del rodo y el ensamble del eje del rodo.

Los sellos de aceite del rodo deben reemplazarse durante el procedimiento de reemplazo del rodamiento del rodo. Sin embargo, si hay evidencia de una fuga de aceite, los sellos de aceite pueden reemplazarse sin retirar el ensamble del rodo.

- Coloque el ensamble del rodo en un lugar adecuado;
- Drene el aceite del rodo;
- Retire el faldón del rodo y el retenedor del sello de aceite;
- Retire todas las cubiertas de acceso al sello de aceite;
- Corte los sellos de aceite y retírelos de la cubierta superior de la cabeza del rodo (*housing*);
- Gire el rodo e inspeccione el anillo de sello de desgaste. Si está excesivamente marcado, debe considerarse su reemplazo;
- Recubra el alma del sello de aceite de la cubierta superior con una pequeña cantidad de grasa Molykote #33;
- Coloque los sellos nuevos con grasa Molykote #33. Deslice el primer sello a la cubierta de la cabeza del rodo con el labio mirando hacia la coraza;

- Deslice el segundo y el tercer sello de aceite a la cubierta de la cabeza del rodo con el labio mirando hacia la base;
- Asegúrese inspeccionando a través de una cubierta de acceso de que las divisiones del sello de aceite encajen extremo a extremo y no se traslapen;
- Aplique Loctite 615 (P/N GP-2687) a las cubiertas de acceso del sello de aceite y reemplácelas. Lubrique y dé torsión los tornillos de la cubierta de acceso;
- Reemplace el retenedor del sello de aceite (dos segmentos). Instale y apriete los pernos;
- Reemplace el faldón del rodo. Instale y dé torsión a los pernos;
- Lleve el rodo al molino e inclínelo hacia adentro;
- Asegúrese de que los tapones del drenaje de aceite estén en su lugar y entonces llene con el aceite adecuado el ensamble del rodo al nivel correcto. Revise el nivel de aceite con la varilla medidora;
- Limpie el área alrededor del tubo de llenado de aceite y reemplace la placa de cubierta de la cabeza del rodo (*housing*);
- Coloque la compuerta principal;
- Reajuste la holgura entre el rodo y la mesa, y la posición del resorte antes de poner el molino a servicio.

3.2.7.6. Procedimientos de revisión del aceite del rodo

Para realizar este procedimiento, el rodo debe estar en su posición normal instalado dentro del molino.

Precaución

El molino debe estar detenido y bloqueado antes de retirar la cubierta del orificio de inspección.

- Retire la compuerta principal e inspeccione la placa y el empaque;
- Retire la placa de cubierta de la cabeza del rodo;
- Retire el tapón del tubo de llenado de aceite;
- Usando la varilla medidora, revise el nivel de aceite. Agregue o retire aceite para ajustar el nivel. Note que el nivel de aceite será diferente dependiendo si el rodo está frío o caliente;
- Reemplace el tapón del tubo y verifique que el área alrededor del tubo de llenado de aceite esté limpia;

El área alrededor del tubo de llenado de aceite actúa como un espacio de aire para el sello de aceite y para el sello de aire del rodamiento. El hecho de no mantener esta área limpia reducirá la vida del sello de aceite y causará falla temprana del rodamiento.

- Limpie las superficies de contacto de la cabeza del rodo y de la placa de cubierta. Aplique sellador RTV e instale la placa de cubierta; e
- Instale la placa de inspección y el empaque.

3.2.7.7. Servicio del resorte en las compuertas principales

Para el correcto funcionamiento y asegurar que los rodos tengan la holgura adecuada y así obtener una molienda homogénea, se hace necesario el mantenimiento de los mismos, el cual se describe a continuación:

3.2.7.7.1. Desmontaje del resorte

- Antes de iniciar el desmontaje, deberá seguir los procedimientos de bloqueo de equipo;
- Verifique para asegurarse de que haya una separación mínima (gap) de 1/16" (1,52 mm) entre el tope del brazo de la base del rodo y el birlo de ajuste del resorte. Baje el rodo por medio de los pernos de tope, si es necesario, para obtener esta separación;
- Afloje las tuercas hexagonales exteriores (una por birlo de montaje) las cuales sujetan la brida de la caja del resorte a los birlos (espárragos) de montaje;

Precaución

Si se desmontará completamente el resorte, es aconsejable que se libere la presión del resorte antes de que el ensamble sea retirado de la compuerta principal. Use el equipo suministrado para el precargado del resorte.

- Usando dos tuercas hexagonales en diagonal, extraiga uniformemente la caja del resorte del alma de la compuerta principal a una distancia equivalente a la compresión fijada del resorte más 1/2" (12,7 mm);

Por ejemplo:

La relación del resorte de los molinos HP 1003 es de 30 000 lb/pulgada (5,253 N/mm) y el precargado recomendado es de 40 000 lb (177,929 N).

Para un resorte con una relación de precargado (K) de 30 000 lb/pulgada (5,253 N/mm) operando a una precarga de 40 000 lb (177,929 N), calcule la distancia para extraer la caja como sigue:

Precarga (libras)

Valor del resorte (lb/pulg) + 0,50 pulg = X pulg

$$\frac{40\,000\text{ lb}}{30\,000\text{ lb/pulg}} + 0,50\text{ pulg} = 1,83\text{ pulg}$$

Precarga (Newtons)

Valor del resorte (N/mm) + 12,7 mm = X milímetros

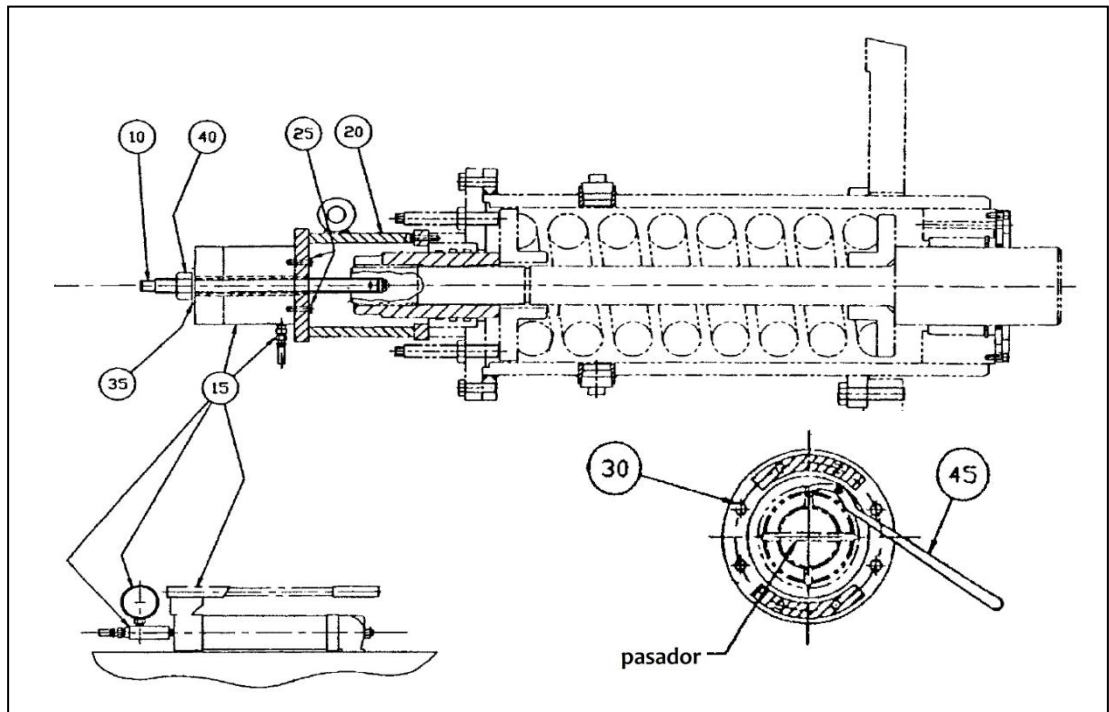
$$\frac{177,929\text{ N}}{5,253\text{ N/mm}} + 12,7\text{ mm} = 46,57\text{ milímetros}$$

- Apriete a mano las cuatro tuercas hexagonales exteriores contra la brida del alojamiento del resorte;
- Atornille el cilindro hidráulico al accesorio de precarga;
- Retire el tornillo de extensión del resorte y atornille hasta el fondo de la rosca el birlo (esparrago) de ajuste de precarga en el birlo (esparrago) de precarga de presión del resorte;
- Sujete el accesorio de precarga al ensamble del resorte, asegúrese de alinear una abertura lateral del accesorio de precarga con la cuña del birlo (esparrago);
- Use la bomba hidráulica y extienda el cilindro hidráulico a la distancia calculada en el paso anterior de la página 148. Instale la roldana plana y la tuerca de bloqueo, y apriete a mano con una llave. La tuerca debe estar totalmente atornillada en el birlo de ajuste;
- Bombee el cilindro hidráulico a manera de ejercer presión y así se libere la tuerca de bloqueo del birlo (esparrago);
- Retire la cuña del birlo (esparrago) del resorte y saque la tuerca de bloqueo a una distancia equivalente a lo calculado en el cuarto paso;
- Libere lentamente la presión hidráulica del cilindro. La tuerca de bloqueo del birlo (esparrago) del resorte deberá estar floja después de que se libere la presión hidráulica. Si no es así, repita el proceso hasta que la tuerca del birlo del resorte esté totalmente suelta;

- Retire el accesorio de precarga;
- Retire las cuatro tuercas hexagonales exteriores de los birlos (esparrago) de montaje;
- Usando el orificio de la brida de la caja del resorte, eleve la caja y deslícela fuera de la compuerta principal;
- Con el ensamble del resorte descansando en un lugar seguro (taller), retire el casquete del sello de aire del resorte y la placa del orificio del resorte. Inspeccione si la placa del orificio tiene desgaste. Cámbiela si el desgaste es de 0,125" (3,175 mm) o más, (solamente molinos de presión);
- Use un accesorio o cama, pare el ensamble del resorte sobre la cara interior de la brida de la caja del resorte;
- Retire los tornillos del alojamiento del resorte. Instale un perno de anillo en el extremo del birlo y levántelo, el alojamiento y la tuerca de bloqueo del resorte fuera del alojamiento;
- En secuencia, retire la tuerca de bloqueo, el alojamiento del resorte, el resorte y la placa adaptadora del birlo.

- Inspeccione si tienen desgaste los bujes (*bushings*) de bronce del alojamiento y la cubierta del alojamiento del resorte. Si tienen desgaste, es necesario reemplazarlas:
 - ✓ Retire el anillo retenedor del interior del alojamiento del resorte
 - ✓ Retire los bujes (*bushings*) de bronce usando los orificios roscados para extraerlas del alojamiento del resorte.

Figura 28. **Precarga del resorte**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte GP-8101.

Tabla IV. **Lista de partes de precarga del resorte**

| | | | |
|-----------|---------------------------------|-----------|-------------------------|
| 10 | Tornillo esparrago 1 1/8" x 17" | 30 | Tornillos 3/8" x 1 3/4" |
| 15 | Kit bomba hidráulica 30 t | 35 | Arandela plana 1 1/8" |
| 20 | Accesorio de precarga | 40 | Tuerca 1 1/8" |
| 25 | Tornillos 3/8" x 1 1/2" | 45 | Llave inglesa |

Fuente: elaboración propia.

3.2.7.2. Montaje del resorte

Antes de reensamblar el resorte, limpie y recubra el interior con lubricante Molykote (P/N GP-3 428). Tenga cuidado de no recubrir las superficies de contacto, roscas o superficies del rodamiento.

- Pare el alojamiento sobre un extremo de manera que el extremo interior esté arriba. Enfríe e inserte el rodamiento del birlo (esparrago) en el alojamiento del resorte, asegúrese de que la rosca de retiro quede hacia arriba. Bloquee con el anillo retenedor;
- Gire 1 800 el alojamiento del resorte de manera que el extremo exterior quede ahora arriba. Use una base para soportar el alojamiento del resorte por la brida a 5" (130 mm) del suelo;
- Enfríe e inserte el segundo rodamiento del birlo en el alojamiento del resorte;
- Ensamble e inserte en el birlo de precargado del resorte; el adaptador del birlo del resorte, el resorte, la cubierta del alojamiento del resorte y la tuerca de bloqueo del birlo del resorte;

- Instale un perno de anillo en el extremo del birlo de precargado del resorte. Levante el ensamble y bájelo dentro del alojamiento del resorte. Tenga cuidado al guiar el birlo de precargado a través de las superficies inferiores de los bujes (*bushing*) de bronce;
- Instale los tornillos de la cubierta del alojamiento del resorte;
- Gire a un lado el alojamiento del resorte e instale la placa del orificio del resorte y el casquete del sello de aire del resorte;
- Cuando esté listo para montar el ensamble del resorte a la compuerta principal, cubra el anillo O con Molykote #33 y la compuerta con lubricante antiseize;

Los birlos deben instalarse en la compuerta principal para usarse como guías al instalar el ensamble del resorte.

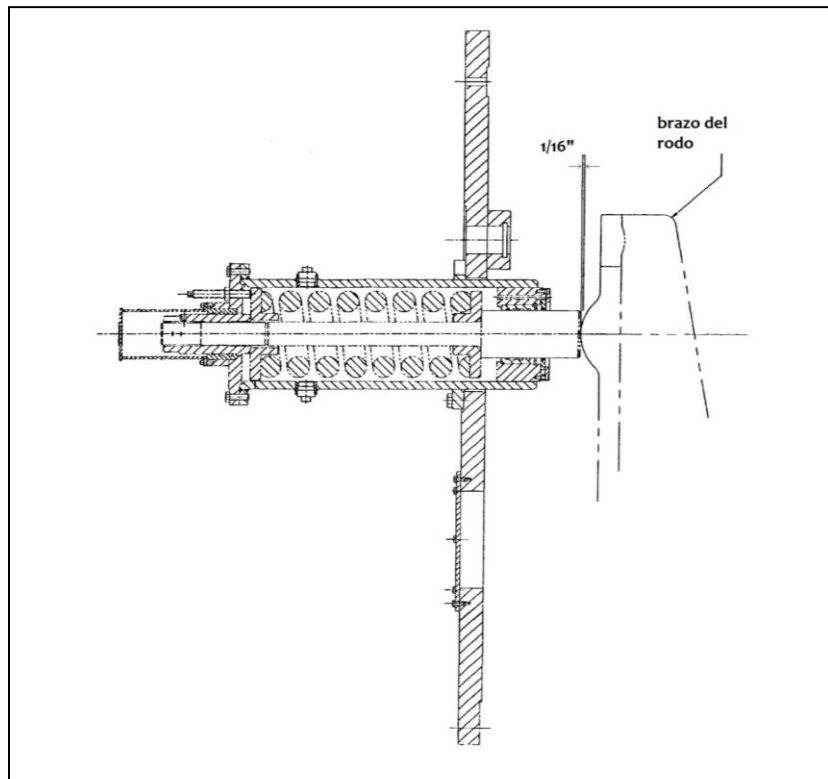
Durante la instalación, los birlos se usarán solamente como guías, no permita que todo el peso del ensamble del resorte descansa sobre ellos, sino hasta que el ensamble del resorte este completamente insertado en la compuerta principal y que las tuercas hexagonales retenedoras se hayan roscado en los birlos.

- Instale el ensamble del resorte en la compuerta principal. No de torque a las tuercas en este momento;

La compresión del resorte puede ajustarse antes de que la compuerta principal y el ensamble del resorte sean montados en el molino. Sin embargo, el procedimiento puede ser más fácil de realizar con la compuerta y el resorte en su lugar, montados en el molino.

- Ajuste la compresión del resorte;
- Ajuste el rodo a la mesa;
- Ajuste el resorte a la tolerancia de la base del rodo; e
- Instale el indicador de posición del rodo (si se suministra).

Figura 29. **Holgura entre el brazo del rodo y el tope del resorte**



Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Parte GP-8101.

3.2.7.8. Cambio de hojas del separador

- Retire el ducto sobre el molino para proporcionar acceso;
- Construya un andamio apropiado para proporcionar acceso a los deflectores;
- Afloje las ruedas de estrella y tuercas de bloqueo de las palancas de control.
- Afloje el perno de sujeción de 1/4" del extremo del eslabón de la palanca del deflector;
- Desde adentro del cono clasificador, gire la hoja del deflector para acceder a los contratornillos hundidos. Quite los puntos de soldadura y retire los tornillos;
- Instale una nueva hoja del deflector con tornillos, roldanas y tuercas. Apriete las tuercas y séllelas con soldadura;
- Asegúrese que la nueva hoja quede libre del soporte del deflector y la brida del tambor del cono interno por 0,06" (1,52 mm);
- Mida la distancia desde el tope de la hoja hasta el borde de entrada del tambor y ajuste a 5,12" (130 mm). Apriete 1/4" el perno de sujeción;

Si se va a reemplazar más de una hoja, puede usarse un bloque de madera o barra de metal de 5,12" (130 mm) de largo como guía para ajustar la entrada de la hoja.

- Después de ajustar la tolerancia de todas las hojas del deflector, afloje la rueda de estrella y la tuerca de bloqueo y asegure su libre movimiento entre 0 y 10;
- Ajuste el indicador a la posición 3 y apriete la tuerca de bloqueo y la rueda de estrella; y
- Se requerirá una prueba de fineza cuando el molino se vuelva a poner en operación.

3.2.8. Ajustes mayores

Para que el molino tenga mejores ajustes es necesario hacer uso de los siguientes parámetros:

3.2.8.1. Holgura entre el rodo y la mesa de molienda

En este procedimiento se usarán los pernos de tope del rodo para ajustar la holgura entre el rodo y la mesa y deben realizarse antes de que se ajuste la holgura entre el resorte y la base del rodo.

El molino debe estar operando en un 100% antes de que se realice este procedimiento.

Durante este procedimiento, de la primera viñeta a la cuarta, el molino debe estar aislado. La compuerta de alimentación de Pet coke o carbón y las de aire frío o caliente deberán estar cerradas y el interruptor del circuito del motor debe estar abierto.

- Abra las puertas auxiliares del molino;
- Retire los pernos de cabeza hexagonal, barras de bloqueo y los birlos retenedores de todos los pernos de tope del rodo. Quite los birlos retenedores de las barras de bloqueo;
- Retire los pernos de tope hasta que el rodo descansa sobre la mesa;
- Use los pernos de tope en cada rodo para levantarlo. Revise para asegurar una holgura de al menos 1/2" (12,7 mm) entre el rodo y la mesa de molienda;
- Asegúrese que el personal esté fuera del molino, cierre las puertas de auxiliares;
- Ponga en servicio el sistema de lubricación y arranque el motor del molino;
- Con el molino en funcionamiento pero sin alimentación de carbón, afloje lentamente los pernos de tope en cada rodo hasta que se pueda oír o sentir apenas el contacto entre el rodo y la mesa de molienda;
- Gire el perno de tope solo media vuelta hacia adentro. Gire el segundo perno de tope de cada rodo hasta que estos toquen la base del rodo;
- Instale las barras de bloqueo en los pernos de tope;
- Asegure los pernos de tope con los birlos retenedores, tornillos y roldanas;

- Detenga el motor del molino;
- Si no se hizo antes, ajuste la compresión del resorte del rodo; y
- Ajuste la tolerancia entre el brazo de la base del rodo y el birlo de ajuste del resorte.

3.2.9. Procedimientos de lubricación

Hay dos tipos separados de sistemas de lubricación en un molino: los sistemas de lubricación de los rodos y los sistemas de lubricación de la caja de engranes.

3.2.9.1. Sistema de lubricación de los rodos

Cada uno de los tres rodos tiene un sistema de baño de aceite lubricante. El nivel de aceite en cada receptáculo del rodo debe ser revisado y ajustado después de que hayan sido instalados y antes de que se arranque el molino. Determine el nivel adecuado usando la varilla medidora de aceite, mida desde el fondo del receptáculo de aceite.

El nivel de aceite debe revisarse periódicamente, por menos una vez cada seis meses.

No llene en exceso el receptáculo de aceite del rodo, ya que pueden dañar los sellos.

3.2.9.2. Sistema de lubricación de la caja de engranes

El segundo sistema de lubricación es para la caja de engranes (reductor). Este es una combinación de baño de aceite y rociado con provisiones para el enfriado y filtrado externos. Se suministra una bomba de aceite impulsada por un motor eléctrico para la circulación requerida.

A la caja de engranes se le suministra aceite a presión de un sistema de aceite lubricante exterior. A cada rodamiento se le proporciona un suministro de aceite individual, boquillas de rociado o baño lubricante. El aceite enfriado es rociado sobre el rodamiento hidrodinámico. El aceite se retiene en un receptáculo para sumergir el rodamiento hidrodinámico en un baño de aceite.

Un motor eléctrico impulsa la bomba de aceite que está montada en el patín de lubricación. El aceite se descarga a filtros y entonces a través de un enfriador de aceite, se disipa el exceso de calor.

Una válvula de alivio, instalada entre la bomba y el filtro, proporciona protección contra sobrepresión y también permite la recirculación del aceite durante el calentamiento del sistema de aceite lubricante.

Para el calentamiento después de un período largo de parada o durante el clima frío, se deberán instalar temporalmente calentadores alrededor de la caja de engranes para calentarla a un mínimo de 60 °F (15 °C) antes de arrancar la bomba del lubricante.

Se deberá instalar un calentador interno en el sistema de lubricación para mantener la temperatura del aceite en caso que el sistema del molino se opere en una atmósfera excesivamente fría. Este calentador se elige para una operación en un ambiente con un mínimo de 0 °F (-18 °C).

Revise las válvulas, evite que el aceite se drene fuera del receptáculo del rodamiento hidrodinámico cuando se apague la bomba. Los manómetros de presión, termómetros e indicadores de nivel y flujo de aceite proporcionan indicaciones visuales de las condiciones del sistema de aceite lubricante.

Los interruptores de presión, interruptores de nivel y los sensores de temperatura proporcionan alarmas tanto audibles como visuales. Las señales de estos interruptores son usadas por los sistemas de control para establecer requisitos de arranque del molino y pueden causar que el molino se apague si la condición que causó la alarma no se corrige.

3.2.9.2.1. Patín de aceite lubricante

A continuación se describen los componentes asociados con el patín de aceite lubricante.

- Interruptores de flujo

Los interruptores de flujo están localizados en el tubo de suministro de aceite en la salida del enfriador. Estos hacen funcionar una alarma si es bajo el flujo de aceite a la caja de engranes.

- Intercambiadores de calor

El sistema de aceite lubricante está diseñado para tener el intercambiador de calor funcionando en todo momento. El intercambiador de calor, suministrado con cada sistema de aceite lubricante, es de un tamaño adecuado para retirar el calor excesivo generado dentro de la caja de engranes. El calor generado se debe a la ineficiencia de los engranes, fricción del rodamiento y la bomba de aceite. El calor también viene del aire caliente primario al molino, el cual es llevado a la caja de engranes a través de la mesa de molienda.

El intercambiador de calor retira continuamente el calor del sistema para asegurar una viscosidad de aceite aceptable para la protección de los rodamientos y engranes. El intercambiador es de un tamaño tal para retirar este calor en base de una temperatura máxima de agua en la entrada y un flujo mínimo especificado. Se debe instalar una válvula en el lado de admisión de agua del intercambiador de calor para regular el flujo de agua. Se debe proporcionar la instrumentación para monitorear las temperaturas de entrada y salida del agua. Con base a la temperatura del agua y la del aceite, se debe ajustar el flujo de agua para tener una temperatura de aceite estable saliendo del intercambiador de calor; aproximadamente 104 °F (40 °C).

Las siguientes son posibles causas de exceso de agua de enfriamiento o temperaturas de aceite. Estos puntos deben ser verificados y corregidos como se requiera si las temperaturas exceden los valores recomendados.

- Cantidad insuficiente de agua de enfriamiento, (incremente el flujo).
Revise la válvula para asegurarse de que el agua esté fluyendo a través del intercambiador de calor;

- Cuando la temperatura del agua en la entrada del enfriador este sobre la temperatura máxima permisible, reduzca la temperatura;
- Cuando el termostato del calentador interno no está ajustado apropiadamente, reajuste el termostato;
- Cuando haya formación de sarro en el intercambiador de calor, de ser posible incremente el flujo de agua;

Si la temperatura del aceite se normaliza, limpie el intercambiador de calor.

- Cuando haya descomposición o espumado del lubricante, cambie el aceite;

El primer cambio de aceite debe llevarse a cabo después de las primeras 1 000 horas de operación. Si no se puede analizar el aceite periódicamente, entonces debería ser cambiado cada 18 meses o después de 6 000 a 8 000 horas de operación aproximadamente (consulte el manual de la caja de engranes).

En clima frío, siempre debe permitirse un flujo ligero de agua a través del intercambiador para evitar que el agua se congele dentro del intercambiador de calor.

- Filtros de aceite

El filtro está equipado con un indicador de diferencial de presión para mostrar la limpieza de los elementos. Si los elementos no son mantenidos y se obstruyen, la continuación de la operación causará una alarma de alto diferencial de presión y desvío por una válvula de alivio instalada en el ensamble del filtro. Una válvula de desvío y dos válvulas de bloqueo aseguran el aislamiento del filtro para su servicio. El aceite se desviará por esta válvula de alivio durante la operación a baja temperatura o debido a una alta viscosidad del aceite y por lo tanto, esto no indica una condición de filtro obstruido.

- Bomba de aceite lubricante

La bomba de aceite externa se usa para bombear el aceite a la caja de engranes. La bomba de volumen constante puede ser operada si el motor del molino está apagado. La presión de aceite resultante depende de la temperatura y viscosidad del aceite; tamaño de la líneas, diámetro de las boquillas de rociado y restricciones tales como el filtro y el intercambiador de calor.

- Manómetros

Los manómetros de presión de aceite están localizados entre la salida de la bomba y el filtro, entre el filtro y el intercambiador de calor y antes del intercambiador de calor. Estos se usan para verificar la presión en la salida de la bomba y las caídas de presión a través del filtro y el intercambiador de calor.

Un manómetro de temperatura está localizado en la salida del intercambiador de calor. Este manómetro indica la temperatura del suministro de aceite a los rodamientos.

- Interruptores

Un interruptor de nivel está instalado en la caja de engranes para proporcionar una indicación de un nivel adecuado de aceite.

Se proporciona un interruptor de diferencial de presión a través de los filtros para indicar la limpieza del elemento filtrante operativo.

Los interruptores de temperatura instalados en la caja de engranes bloquean el sistema y previenen un arranque a baja temperatura.

Los interruptores de flujo se colocarán después del intercambiador de calor para asegurar un flujo de aceite adecuado a los engranes y los rodamientos.

- Válvula de alivio

La válvula de alivio está localizada en la salida de la bomba y dirige el aceite de regreso al tanque. Esta válvula está ajustada para abrirse durante ciertas fases de la operación. El aceite puede fluir a través de esta válvula continuamente.

- Calentadores internos

Se proporciona un calentador interno y termostato para mantener la temperatura del aceite durante la operación en una atmósfera excesivamente fría. Esta puede estar con el molino apagado o en operación. Se debe tener cuidado de que el calentador no compita con el intercambiador de calor.

- Operación del sistema de la caja de engranes

Se debe proporcionar un sistema de control para asegurar la lubricación adecuada de los componentes de la caja de engranes. Típicamente, el sistema funciona así:

Arranque

- Asegúrese de que el nivel de aceite y la temperatura en la caja de engranes sea normal;
- Satisfaga todos los requisitos de arranque como lo requiera la lógica de controles;
- Arranque la bomba del aceite lubricante;
- Después de que el sistema de lubricación esté funcionando, revise el flujo, la temperatura y la presión del aceite.

En general, el intercambiador de calor se requiere cuando el molino está operando y el calentador de aceite lubricante cuando está apagado. Estos no deben usarse al mismo tiempo, ya que tienen funciones opuestas.

Precaución

Asegúrese de que haya aceite adecuado en el receptáculo superior de la caja de engranes (rodamiento hidrodinámico de impulso) antes de arrancar el molino.

- Después de que el molino esté funcionando, ajuste el flujo de agua al intercambiador de calor según sea necesario para mantener la temperatura apropiada del suministro de aceite; y
- Revise periódicamente el flujo, de temperatura y presión del aceite.

Apagado

Cuando el molino esté en operación, no se debe apagar el sistema de aceite lubricante. Si es así, el molino será interrumpido automáticamente.

- Después de que el molino se haya apagado, se debe permitir que el sistema de lubricación funcione. El aceite filtrado y caliente continuará lubricando los rodamientos y manteniendo el molino para un arranque instantáneo;
- Una vez que el molino se haya enfriado lo suficiente para su mantenimiento, se puede apagar el sistema de lubricación; y
- Si el molino se apaga por largo tiempo y se ha decidido apagar el sistema de lubricación, los rodamientos de la caja de engranes y los engranes deberán ser lubricados con el procedimiento de inmersión o se puede hacer funcionar el sistema por 3 horas cada dos meses.

3.2.10. Puesta en servicio

Para que se pueda hacer uso de los servicios es recomendable seguir los siguientes parámetros:

3.2.10.1. Revisiones mecánicas y de holgura

El personal responsable del arranque y operación inicial del molino deberá observar y marcar en listas de verificación lo siguiente:

- Revisar los accesos del molino y asegurar de que todos los materiales que se utilizaron hayan sido retirados;
- Al ser inspeccionado el molino, y ser verificados los últimos ajustes y holguras, verifique visualmente el interior y el exterior para asegurarse de que todos los tornillos hayan sido instalados. Pruebe la torsión dada de unos cuantos al azar;
- Revise que el clasificador (separador) esté ajustado apropiadamente;

Para un clasificador de cono doble

- ✓ La tolerancia entre la punta de cada hoja y el tambor del clasificador debe ser idéntica;
- ✓ Asegúrese de que las hojas se moverán por todo su arco completo. Revise las tolerancias de las hojas por lo menos en dos posiciones;

- ✓ Ajuste el(los) brazo(s) de control en la posición número cuatro para el arranque del molino.

Para un clasificador de turbina

- ✓ Asegúrese de que los pernos que sujetan el rotor en su lugar para su transporte hayan sido retirados;
- ✓ El rotor deberá girar libremente a mano;
- ✓ Asegúrese de que el impulsor de velocidad variable esté ajustado según los requisitos del fabricante.
- Ajuste el escape de aire a las tapas de presión del molino. El escape de aire evita que se tapen las líneas de presión;
- Asegúrese de que los ejes libre y de impulso del muñón estén instalados en el lado correcto de la base del rodo;
- Los números uno de los excéntricos de los ejes del muñón deben estar en la posición de las doce en punto;
- Revise que la diferencia de altura entre los segmentos de la mesa de molienda no exceda de 3 mm (0,12").

Algunos tamaños de los molinos tienen faldones alrededor del soporte de la mesa, otros lo recubren con aislamiento por debajo. Las tolerancias deben medirse alrededor del soporte de la mesa para asegurar que el soporte de la mesa y el faldón estén apropiadamente instalados con respecto a las paredes del molino. También, los molinos presurizados incluyen un sello inferior de aire que también debe estar apropiadamente orientado. Asegúrese de medir y verificar las holguras aplicables del molino.

Los faldones inferiores (si es aplicable) deben ser desmontados para tener acceso al anillo de sello de aire y al soporte de la mesa.

- Mida la holgura entre el anillo del sello de aire (si es aplicable) o el soporte de la mesa y la pared del molino. Verifique que sea aceptable;
- Mida y verifique la holgura entre el faldón inferior y las placas de cubierta del fondo del molino. (Solamente en los molinos equipados con faldones);
- Verifique el espacio entre la rueda de palas y los recubrimientos del cuerpo del deflector del separador inferior alrededor del perímetro de la mesa;
- Mida y verifique el espacio entre las hojas del sello de aire inferior y el soporte de la mesa (solo en molinos presurizados);
- Gire la mesa una vuelta para verificar que todas las medidas de los espacios sean adecuadas;
- Revise la instalación de las entradas de aire;

- Revise la válvula de descarga de piritas y la instalación y operación de la tolva;
- Gire a mano el motor del molino para verificar su libertad de movimiento;
- Antes de conectar el acople del motor, conecte la alimentación de energía y aplíquela momentáneamente al motor para verificar la dirección correcta de giro (vea la flecha en la caja de engranes). Si es la correcta, permita que el motor se detenga. Vuelva a arrancar el motor después y hágalo funcionar por 5 minutos aproximadamente para verificar la velocidad y el amperaje sin carga (desacoplado);
- Revise los rodamientos del motor y la vibración;
- Revise la temperatura del motor en operación;
- Confirme la alineación de los ejes del motor y la caja de engranes con el motor en el centro magnético. La desviación tanto en dirección vertical como horizontal debe estar dentro de los 0,127 mm (0,005") de lectura total del indicador. Cuando esté debidamente alineado, las caras radiales del acople deberán estar paralelas;
- Ensamble el acople del eje del motor e instale la guarda al eje;

- Asegúrese de que la tubería del sello de aire haya sido instalada. Revise las conexiones al cabezal del sello de aire a las paredes del molino, las carreras individuales de tubería que van a los ejes del muñón, los cilindros hidráulicos y las válvulas de descarga del molino (solo molinos presurizados);
- Durante el funcionamiento de prueba de la caja de engranes, revise el amperaje sin carga del motor (acoplado).

3.2.10.2. Revisiones en los sistemas de lubricación

Antes de hacer funcionar el molino, los sistemas de lubricación del rodo y la caja de engranes deben ser revisados para su correcto funcionamiento.

En los rodos

- Los rodos se llenan de aceite con uno de los lubricantes recomendados. Debe revisarse el receptáculo de cada rodo antes del arranque del molino;
- El nivel de aceite debe ajustarse con el rodo en su posición instalada. Determine el nivel de aceite con una varilla medidora; asegúrese de medir desde el fondo del receptáculo. Extraiga o agregue aceite según sea necesario; y
- Gire a mano los rodos para verificar su libertad de movimiento.

El calentador del sistema de lubricación no está diseñado para calentar el aceite a la temperatura de operación desde una condición en frío o de apagado. Está diseñado para mantener la temperatura del aceite durante la operación continua del sistema de lubricación. Si la temperatura del aceite ha caído por debajo de una condición aceptable de operación debido a un apagado prolongado, se debe calentar la caja de engranes y el sistema de lubricación con un calentador o medio similar antes del arranque.

En la caja de engranes

- Revise el ajuste y la calibración de lo siguiente:
 - ✓ Interruptor de nivel de aceite
 - ✓ Interruptores de diferencial de presión
 - ✓ Interruptores de presión
 - ✓ Interruptor de flujo de aceite
 - ✓ Manómetros de presión de aceite
 - ✓ Interruptores de temperatura;

- Verifique que todos los interbloqueadores de control estén debidamente ajustados y que sean funcionales;

- Verifique la disponibilidad del suministro de agua al intercambiador de calor (enfriador de aceite). Se debe ajustar el flujo de agua antes del arranque para mantener una temperatura estable del aceite que sale del intercambiador de calor;

- Revise que el filtro de aceite tenga cartuchos limpios y que el indicador de filtro indique No tapado;

- Revise el cableado y aplique energía momentáneamente al motor de la bomba de aceite para verificar la dirección correcta de giro;
- Revise el ajuste de la válvula de alivio, localizada en la salida de la bomba del aceite lubricante;
- Revise que el calentador del aceite esté debidamente conectado a su fuente de energía. Revise los puntos fijos de encendido y apagado de su termostato integrado;
- Si duda de su limpieza, limpie la tubería del aceite lubricante;
 - ✓ Desconecte la tubería en la caja de engranes e instale tubería temporal entre la tubería del suministro de aceite y la de retorno;
 - ✓ Arranque la bomba de aceite;
 - ✓ Revise que la tubería de aceite no tenga fugas;
 - ✓ Limpie por cuatro horas aproximadamente;
 - ✓ Detenga la bomba;
 - ✓ Retire la tubería temporal y conecte la tubería de suministro y retorno a la caja de engranes;
 - ✓ Limpie los filtros de aceite;

- ✓ Verifique la calidad del aceite usado durante la limpieza, si es satisfactoria, puede usarse para la operación;
- Asegúrese de que el tanque de aceite se haya llenado con el grado y cantidad apropiados de aceite para la operación del molino;
- Asegúrese que los requisitos de arranque de la bomba de aceite sean correctos; y
- Arranque y haga funcionar la bomba de aceite por unos diez minutos para llenar el receptáculo superior y las líneas de suministro y retorno de la caja de engranes. Rellene el tanque de aceite al nivel normal de operación.

3.2.10.3. Ajustes finales del molino

Cuando el molino pueda funcionar, esto es, que los sistemas de lubricación estén instalados y listos para funcionar, el motor conectado y revisado su dirección de giro y se hayan instalado y verificado los controles del molino, entonces se pueden realizar los últimos ajustes anteriores a la operación real.

- Ajuste la holgura entre la mesa y los tres rodos;
- Ajuste el resorte del rodo a la precarga y posición correcta;
- Revise los sistemas de control y verifique que estén funcionando adecuadamente; y

Asegúrese de que todas las herramientas o accesorios se hayan retirado de adentro del molino.

- Cierre y asegure todas las compuertas de acceso.

3.2.10.4. Interbloqueadores de seguridad del molino

Antes de operar el molino, asegúrese de que todos los interbloqueadores se hayan revisado y estén funcionando. A continuación los interbloqueadores típicos.

- Sobrecarga del motor del molino

Ajuste para reducir el flujo de Pet coke o carbón al 25% cuando la potencia del motor alcance el 110% de potencia a carga completa.

- Baja potencia del molino

Ajuste para interrumpir el alimentador cuando el motor del molino confirme una pérdida de alimentación de Pet coke o carbón al molino.

- Temperatura en la salida

Ajuste para cerrar la compuerta de golpe de aire caliente cuando la temperatura en la salida exceda el punto fijado de temperatura normal de operación por 20 °F (11 °C).

3.2.10.5. Operación inicial del molino

Antes de energizar los circuitos del motor y el molino funcione bajo poder, se deben satisfacer todos los requisitos de arranque.

3.2.10.5.1. Arranque

- Asegúrese de que el nivel de aceite y la temperatura del tanque de aceite lubricante sean satisfactorias;
- Satisfacer los siguientes cinco requisitos de arranque del sistema de lubricación;
 - ✓ La bomba de aceite debe estar encendida;
 - ✓ La presión del suministro de aceite debe ser la adecuada;
 - ✓ La temperatura del suministro de aceite debe ser adecuada;
 - ✓ El flujo del suministro de aceite debe ser adecuado;
 - ✓ El filtro de aceite debe estar limpio;
- Arranque la bomba de aceite

Asegúrese de que haya aceite adecuado en el receptáculo superior de la caja de engranes (rodamiento hidrodinámico de impulso) antes de arrancar el molino.

- Después de que el sistema de lubricación esté operando, verifique visualmente las condiciones locales de flujo, temperatura y presión del aceite;

- Abra la válvula de pirita cuando se proporcione en conjunto con una tolva de pirita. Si no se proporciona una tolva, se utiliza una válvula de aleta que descarga cuando el peso de las piritas es baja. Esta aleta debe permanecer cerrada hasta que las piritas fuercen su apertura.

Asegúrese de que se haya establecido una ruta de flujo de aire a través del molino y que todas las válvulas o compuertas de aislamiento estén abiertas a la entrada y descarga del molino.

- Arranque el(los) ventilador(es) del sistema(s) del molino.

Durante el arranque inicial o puesta en servicio del molino (antes de alimentar Pet coke o carbón al molino), use un indicador digital conectado a los sensores de temperatura de la caja de engranes para comparar las temperaturas de los rodamientos hidrodinámicos de impulso con la temperatura del suministro de aceite. Las temperaturas del rodamiento hidrodinámico deben estabilizarse en alrededor de una hora. Esta será unos cuantos grados por encima de la temperatura de la entrada de aceite. Si la temperatura no se estabiliza, detenga el molino y revise para asegurar el suministro de aceite a los rociadores del rodamiento.

- Arranque el molino;
- Revise el amperaje del motor acoplado sin carga;
- Después de que el molino esté funcionando, ajuste como sea necesario el flujo de agua al intercambiador de calor, para asegurar una temperatura adecuada del suministro de aceite;

- Revise periódicamente el flujo de aceite, su temperatura y presión;
- Si todas las observaciones son satisfactorias, haga funcionar el molino por lo menos dos horas y monitoree todas las temperaturas y presiones relevantes. Verifique el indicador de la sala de control y todos los interbloqueadores de requisitos y de interrupción apropiados. Durante las pruebas de interrupción, esté consciente del número de arranques del motor por hora; y
- Al completarse el funcionamiento de prueba, inspeccione la caja de engranes. Vea las recomendaciones del fabricante.

3.3. Localización y solución de problemas del molino

Para localizar y solucionar más fácilmente los problemas que puede presentar un molino, se puede hacer uso del siguiente esquema:

Tabla V. Localización y solución de problemas del molino

| Problema | Causa probable | Acción |
|---|---|--|
| Presión deficiente del aceite lubricante. | Fuga en el sistema de lubricación. | Busque fugas de aceite y repárelas. |
| | Bomba de aceite desgastada. | Repare o reemplace la boma de inmediato. |
| | Filtros de aceite sucios. | Limpie o reemplace filtros primarios o secundarios. |
| | Baja viscosidad del aceite. | Alta temperatura del aceite, se está usando otro tipo de aceite. |
| Alta temperatura en la salida del molino. | Incendio en el molino. | Vea procedimiento contra incendio. |
| | Falla del humidecedor de aire caliente. | Cierre compuerta de aire caliente, apague el molino y repare lo necesario. |
| | Falla del humidecedor de aire frío. | Abra manualmente el humidecedor de aire frío, apaque el molino y repare lo necesario. |
| | Falla/taponada del tubo de alimentación. | Apague el molino y repare lo necesario. |
| | Falla de termocople de salida. | Verifique lecturas, repare o reemplace. |
| Temperatura baja en la salida del molino. | Carbón/Pet coke estremadamente húmedo en el molino. | Reduzca tasa de alimentación para mantener la temperatura de salida. |
| | Compuerta de aire caliente cerrada. | Revise posición de compuerta y repare lo necesario. |
| | Compuerta de aire caliente o frío cerrada. | Apague el molino y repare lo necesario. |
| | Baja temperatura del aire primario. | Reduzca tasa de alimentación. |
| | Bajo flujo de aire. | Recalibre el sistema de control del flujo de aire. |
| Amperaje alto en motor del molino. | Sobrecarga del molino o carbón húmedo. | Reduzca tasa de alimentación al molino, revise calibración del alimentador y revise dureza del carbón. |
| | Fineza excesiva del carbón. | Ajuste hojas del clasificador o la velocidad de la turbina. |
| | Excesiva fuerza de molino. | Revise compresión del resorte y reajuste lo necesario. |
| | Falla del motor. | Pruebe el motor. |
| | No entra carbón al molino. | Busque bloqueo del alimentador y tubo de alimentación. |
| Amperaje bajo en motor del molino. | Rodamiento de motor pegado. | Apague el molino y repare lo necesario. |
| | Pet coke o carbón reducido al molino. | Revise operación de alimentación o taponado. |
| | Rotura del eje o acople del motor. | Apague el motor y repare lo necesario. |

Continuación Tabla V. **Localización y solución de problemas del molino**

| Problema | Causa probable | Acción |
|---|---|--|
| Ruido en la caja de engranes. | Daños a los rodamientos o engranes. Daños a los engranes o rodamientos del molino. | Pare el molino, inspeccione los componentes. Repare o reemplace los artículos dañados, pruebe el aceite y reemplace lo necesario. |
| Fuga de aceite en eje de impulso horizontal. | Sello de laberinto sucio. | Apague el molino, limpie los canales del sello. |
| Alta temperatura del aceite en la caja de engranes. | Bajo flujo de agua al enfriador de aceite. Enfriador de aceite tapado. | Aumento del flujo de agua y revise el enfriador. Revise y limpie el enfriador tan pronto como sea posible. |
| | Bajo nivel de aceite. | Revise el nivel y agregue el aceite requerido, busque fugas. |
| Funcionamiento áspero del molino. | Cama del Pet coke o carbón inadecuada. | Aumente el flujo de Pet coke o carbón, revise el alimentador. |
| | Fuerza excesiva de molino. | Reduzca compresión de los resortes. |
| | Holgura incorrecta entre la mesa y el rodo. | Reajuste la holgura entre el rodo y la mesa. Ajuste las hojas del clasificador o la velocidad del separador. |
| | Tamaño incorrecto del carbón en bruto. | Aumente el tamaño de la alimentación del Pet coke o carbón en bruto. |
| Alta temperatura del rodamiento. | Falla del rodamiento. | Busque ruido e inspeccione inmediatamente. |
| | Bajo nivel de aceite. | Revise el nivel y agregue el aceite requerido. |
| | Falla del enfriador de aceite. | Revise la temperatura y el flujo de agua en enfriamiento. |
| Derrame de Pet coke o carbón. | Molino sobrecargado. Alimentación excesiva de Pet coke o carbón en bruto. | Reduzca la tasa de alimentación de Pet coke o carbón, revise la calibración del alimentador. |
| | Excesiva fuerza del Pet coke o carbón. | Ajuste las hojas del clasificador o la velocidad del separador. |
| | Rodos o segmentos de la mesa desgastados. | Reajuste la holgura entre el rodo y la mesa. Reemplace el rodo o segmento de la mesa. |
| | Fuerza de molino inadecuada. | Ajuste la compresión del resorte. Revise/aumente la compresión del resorte. |
| | Los rodos no giran (al arrancar) | Apague y abra el molino, revise la reotación de los rodos, retire cualquier material extraño o repare o reemplace el rodo. Caliente el molino por mas tiempo. Revise en el rodo la viscosidad del aceite. Aumente el tamaño de alimentación de Pet coke o carbón en bruto. |
| | Baja velocidad del aire bajo la mesa. | Revise el control de flujo de aire para una operación adecuada. |
| Área abierta excesiva alrededor de la mesa. | Agregue una sección a la rueda de paletas. | |

Continuación Tabla V. **Localización y solución de problemas del molino**

| Problema | Causa probable | Acción |
|---|---|--|
| Alto diferencial de presión en área de la mesa. | Sobrecarga del molino. | Reducir tasa de alimentación al molino y revise calibración del alimentador. Revise dureza del Pet coke o carbón. |
| | Fineza excesiva del Pet coke o carbón. | Ajuste hojas del clasificador o la velocidad de la turbina. |
| | Tapa de presión del molino tapada flujo de aire excesivo, insuficiente área abierta alrededor de la mesa. | Revise purga de aire y limpie tapas de presión. Revise sistema de control de flujo de aire, retire una placa de bloqueo de la rueda de palas. |
| Bajo diferencial de presión en área de la mesa. | Flujo reducido de carbón al molino. | Revise operación del alimentador. |
| | Tapa de presión del molino tapada/fuga. | Revise purga de aire y limpie tapas de presión. Revise sistema de control de flujo de aire y retire una placa de bloqueo de la rueda de palas. |
| | Bajo flujo de aire. | Revise el sistema de control del flujo de aire. |
| No se descarga Pet coke o carbón. | Alimentador, tubo alimentador bloqueado o bajo flujo de aire. | Reevalue y despeje el alimentador o tubo alimentador. Revise operación de los controles de los humidificadores de aire primarios. |
| Fineza incorrecta del Pet coke o carbón. | Hojas del clasificador mal puestas. | Abra o cierre lo necesario. |
| | Hojas del clasificador fuera de calibración. | Calibre las hojas del deflector. |
| | Hojas del deflector desgastadas o dañadas. | Inspeccione, repare o reemplace. |
| | Orificios desgastados a través del cono interior o recubrimientos. | Inspeccione, parche/repare cono o recubrimiento. |
| | Velocidad de turbina incorrecta. | Ajusto lo necesario. |
| Ruido por encima de la mesa. | Material de rechazo en la mesa. | Pare el molino, inspeccione y retire el material. |
| | Falla en el rodo. | Pare el molino, repare o reemplace el rodo. |
| | Presión dispareja del resorte. | Revise la presión del resorte y cambie, si es necesario. |
| | Material de rechazo pesado. | Pare el molino, retire el material y busque daños. |
| Ruido por debajo de la mesa. | Raspadores rotos. | Pare el molino y repare o reemplace lo necesario. |
| | Paletas de aire rotas. | Pare el molino y repare o reemplace lo necesario. |

Fuente: ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Tabla 2-1.

4. FASE DE ENSEÑANZA/APRENDIZAJE

En la presente fase se desarrolló una serie de temas en los cuales se involucra directamente al personal operativo que realiza labores en el molino, con el objetivo de capacitar y de esa manera ayudar a realizar sus tareas de una forma segura, que se complementa con la participación y el compartimiento de sus experiencias adquiridas en campo.

4.1. El ABC de la seguridad

La actitud es una forma de pensar, la forma en que visualiza una situación determinada.

El comportamiento es lo que se hace acerca de esta (cómo reacciona a una situación).

El control se encarga de que todas las cosas que le rodean (el lugar de trabajo y la forma en que lo realiza) sean seguros.

La actitud en lo que a seguridad se refiere, no es exactamente todo, pero está muy cerca de serlo.

Actitud segura significa, mantenerse alerta y atento en el trabajo que se está realizando, tomar con seriedad las reglas y los procedimientos de seguridad, no efectuar bromas pesadas en el trabajo y no permitir que algunos sentimientos, como la ira y la frustración, se interpongan en la realización del trabajo.

Algo muy importante para la seguridad es la forma en que se reacciona ante una situación.

Comportamiento seguro significa, ajustarse a las reglas y a los procedimientos de seguridad, no tomar atajos, usar el equipo de protección personal adecuado y formular preguntas cuando se necesita más información sobre la tarea que está realizando.

Algo muy importante para la seguridad es la forma en que se reacciona ante una situación.

Comportamiento seguro también significa ayudar a los amigos y compañeros de trabajo y familiares a entender la importancia que tienen las prácticas de seguridad en el trabajo, en el hogar y en el lugar de diversión.

Control significa, asumir la responsabilidad de hacer que su lugar de trabajo, su hogar o su lugar de diversión sean seguros.

Usted puede contribuir con el fin de que su ambiente de trabajo esté libre de peligros potenciales, mantenerlo limpio y ordenado.

Mantenga las máquinas en buenas condiciones, limpie los derrames y los desechos y asegúrese que los pasillos están libres de obstáculos.

En el trabajo, informe a su supervisor cuando descubra un equipo defectuoso, un problema de ventilación o cualquier otro peligro.

Almacene los químicos correctamente, tanto en el hogar como en el trabajo y nunca intercambie recipientes.

Dedique un momento para examinar sus ABC de seguridad con el fin de verificar si está haciendo todo lo posible por proteger a sus compañeros de trabajo, a sus seres queridos y a usted mismo, para evitar que le ocurra un incidente.

4.2. Higiene industrial

La higiene industrial es una técnica de prevención de enfermedades laborales mediante la actuación en el medio ambiente de trabajo.

Es la ciencia y el arte de la identificación, evaluación y control de aquellos factores o agentes ambientales, originados por el puesto de trabajo o presentes en el mismo, que pueden causar enfermedad, disminución de la salud o el bienestar o incomodidad e ineficiencia significativos entre los trabajadores.

La actuación de la higiene comienza por la determinación de los factores de riesgo presentes en el ambiente que pueden tener consecuencias patológicas a largo plazo.

La evaluación consiste en la comparación del ambiente observado con unos patrones o criterios previamente definidos al objeto de concluir sobre la necesidad o conveniencia de intervenir para evitar daño a la salud.

La intervención para modificar el ambiente es el elemento clave de la actuación de la higiene industrial para evitar los riesgos de enfermedad.

La higiene industrial y la medicina del trabajo son dos disciplinas preventivas cuyas actuaciones se complementan mutuamente.

Recordar que pueden existir varios peligros pero si el riesgo es tolerable, la probabilidad de ocurrencia de un accidente o enfermedad es baja.

4.3. Identificación de peligros y evaluación de riesgos

Análisis de riesgos, es el proceso analítico de observación mediante el cual se detectan actividades peligrosas, que nos sirve para comprender la naturaleza y grado de riesgo definiendo el mecanismo de prevención. Así como identificar, evaluar y controlar los riesgos.

Evaluación del riesgo, es el proceso sistemático de etapas múltiples de evaluación de información diseñado para caracterizar la naturaleza y magnitud del daño en la salud que presenta un agente ambiental bajo diversas condiciones de exposición.

Peligro, es la acción, fuente o situación con potencial para causar una lesión y daño a la salud del ser humano.

Riesgo, es la combinación entre la probabilidad de ocurrencia o exposición a un evento peligroso la severidad de la lesión o daño a la salud causada por dicho acontecimiento.

Se necesita entender el peligro para definir el grado de riesgo.

Los riesgos tienen impacto sobre el ambiente o las propiedades y la salud humana.

La administración del análisis de riesgo es la principal y la forma efectiva del trabajo seguro.

A diario se encuentran bajo riesgos por ejemplo: conduciendo el auto, cruzando la calle, ingiriendo alimentos, tomando alcohol, fumando, trabajando, practicando deportes, etcétera.

Los peligros son identificados para todas las actividades, procesos, productos y servicios.

Categorías de los peligros

- Físico: entre ellos se tienen la electricidad, gases presurizados, líquidos presurizados, ruido, radiación y temperaturas extremas.
- Químico: toxicidad, reactividad, corrosividad, polvos/partículas, humos, vapores, fuego, explosión. Detalles de esos peligros son descritos en las hojas de seguridad de materiales.
- Ergonómico: repetición de actividades, fuerza, postura, esfuerzos de contacto, cargas estáticas, vibración, temperaturas frías y factores personales.
- Mecánicos: filos cortantes, puntos punzantes o perforantes, rupturas, caídas, partículas flotantes, impacto de artículos que caen, partes en movimiento, tráfico o transportación y pérdidas de equilibrio.
- Biológico: fluidos humanos, vacunas y desperdicios hospitalarios.

Contingencias: fuegos o explosiones, derrames, amenaza de bomba, huracanes, tornados, inundaciones, tormentas y terrorismo.

¿De qué manera ayuda el análisis de riesgo en el trabajo o en la vida personal?

Es una técnica que ayuda a prevenir accidentes, auxilia a las personas a pensar y entender que tan grave pueden ser las formas de realizar un trabajo y tomar acciones para prevenirlas.

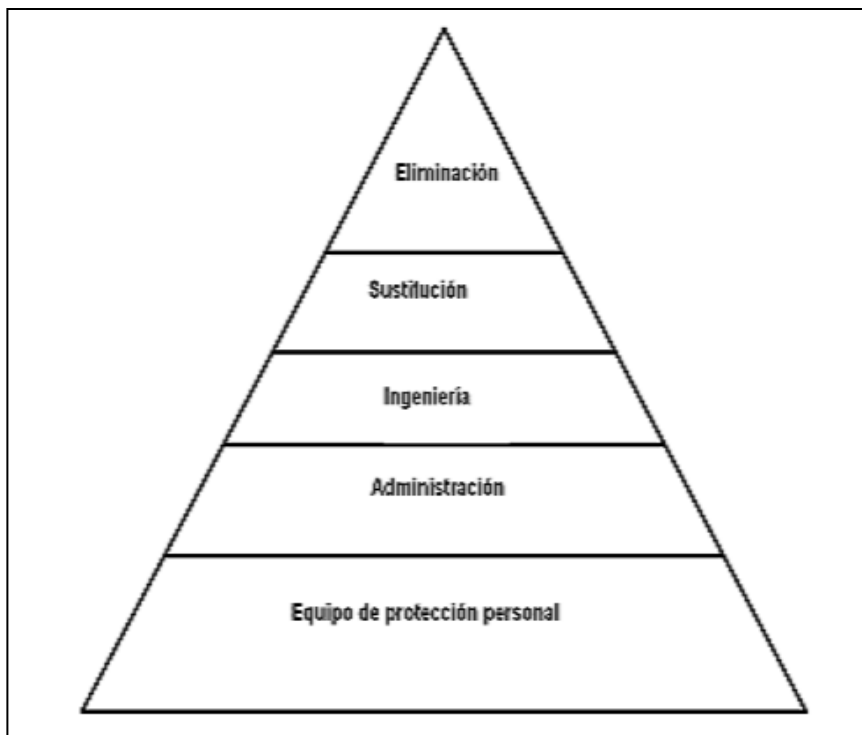
Los cinco pasos para el análisis de riesgo

- Identificar el riesgo particular de un área de trabajo;
- Establecer la naturaleza del riesgo y como es en realidad;
- Considerar a quién afecta;
- Establecer el nivel de riesgo;
- Considerar las medidas de control a implementar y su naturaleza (eliminación, sustitución, control de ingeniería, control administrativo y procedimientos).

4.4. Uso del equipo de protección personal

Gestión del riesgo; es el proceso dirigido a identificar peligros, evaluar y controlarlos:

Figura 30. Pirámide para la gestión del riesgo



Fuente: Cementos Progreso. Conceptos Básicos de Salud y Seguridad. p. 26.

De acuerdo con ello se hace uso de la pirámide de la gestión del riesgo, en el cual la última barrera entre la persona y el riesgo será la utilización del equipo de protección personal. Como se ve en la figura, si no se puede eliminar, sustituir, tomar decisiones de ingeniería, tomar decisiones administrativas, con respecto a los riesgos, en última instancia se proveerá equipo de protección personal. Debido a ello, la importancia de su uso correcto.

De acuerdo con las tareas que se realizan, se utilizarán los EPP's que se describen:

- Casco
- Barbiquejo
- Tapones/orejeras
- Lentes/gafas/careta/pantalla
- Mascarillas
- Guantes
- Gabacha de cuero
- Mangas de cuero
- Botas con punta de acero
- Arnés

Cabe mencionar, que para el uso efectivo se deben utilizar correctamente y darles mantenimiento, ya que con el simple hecho de usarlos no quiere decir que protegerán de los riesgos. Muchas veces el personal ha tenido incidentes y se ha evidenciado que ocurren porque no se lo habían colocado de forma correcta. Por ello, se debe recordar que cada individuo es responsable de su propia seguridad.

4.5. Principio de funcionamiento de los separadores del molino

El principio de operación de la clasificación de aire usando una turbina se describe: el aire cargado de material pulverizado es introducido al clasificador donde este es dispersado alrededor de la periferia de la turbina rotatoria.

Un ventilador empuja aire dentro de la turbina y lo conduce al centro del mecanismo de rotación. La rotación de la turbina contrarresta el efecto del ventilador inferior a tal grado que depende de la velocidad de la turbina. La fuerza centrífuga actúa empujando las partículas de material pulverizado hasta el perímetro de la carcasa, cuando la velocidad del aire que pasa a través de la turbina transporta las partículas dentro de la turbina. Las partículas más grandes son dominadas por la fuerza centrífuga y se mueven hasta la periferia de la carcasa, donde caen fuera del clasificador y son descargadas como desecho o enviadas al molino para su molienda.

Las partículas más pequeñas son dominadas por la velocidad radial del aire y son conducidas a través de la turbina y son descargadas por arriba del clasificador donde son recolectadas como producto final.

CONCLUSIONES

1. Con la elaboración de la guía, se brinda una herramienta de apoyo para todas aquellas personas que se involucran en las tareas del molino, de manera que pueden apoyarse en ella para encontrar procedimientos acorde a las necesidades del mantenimiento mecánico encaminadas a realizarlas de forma segura.
2. Los procedimientos descritos de desmontaje y montaje, ajustes o calibraciones, mantenimiento preventivo, la puesta en servicio, se detallan de una forma en la cual cualquier personal involucrado o interesado pueda interpretarlo con facilidad, logrando con ello ser una guía que ayuda a dar soluciones en corto tiempo.
3. Se describen los procedimientos de las partes críticas, añadidas a ello su gráfica identificada, dando como resultado la localización inmediata de las mismas para darles el mantenimiento respectivo.
4. Se involucró al personal de las tareas de mantenimiento en temas de seguridad ocupacional, con ello se le brindan las herramientas necesarias básicas para que puedan realizar la identificación de peligros y evaluación de riesgos asociados, para lograr eliminar, sustituir o controlarlos; de esta manera realizar su trabajo de forma segura, obteniendo con ello formar una cultura de trabajo seguro.

RECOMENDACIONES

1. Que el departamento mecánico utilice la presente guía como instrumento de ayuda y consulta en las tareas de mantenimiento del molino.
2. Involucrar e incentivar al personal mecánico a utilizar y consultar las dudas en documentos, manuales o guías específicas de cada equipo. Ya que con ello se harán las tareas de forma correcta y más seguras a través del uso de herramienta o equipo adecuado.
3. La guía se recomienda a personas que estén involucradas con este tipo de molinos y a todas aquellas que se interesen en la misma, ya que aporta información de mantenimiento mecánico y con ello poder obtener resultados satisfactorios reflejados con la buena disponibilidad del equipo.
4. A la escuela de Ingeniería Mecánica, implementar cursos obligatorios de seguridad ocupacional, ya que es un complemento importante y va de la mano en todas las actividades que se desarrollan en el campo profesional, generando a través de ellas una cultura de trabajo seguro, que sin duda alguna podrá infundirse al personal que se tendrá a cargo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ABB RAYMOND. *Instruction Manual Type HP Pulverizer*. Lisle Illinois, USA. The Air Preheater Company Raymond and Barlett-Snow Products A division of Combustion Engineering. 1997. 1100 p.
2. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo. *Evaluación de riesgos* [en línea]. European Agency for Safety and Health at Work. <<http://osha.europa.eu/es/topics/riskassessment>>. [Consulta: en julio de 2011].
3. Raymond BOWL MILLS; The Electric Power Research Institute. *Pulverizer Maintenance Guide Vol. 1*. California: EPRI, 2004. 308 p.
4. CASAL, Joaquim, et al. *Análisis del riesgo en instalaciones industriales*. Barcelona: UPC, 1999. 359 p. ISBN 84-8301-227-8
5. CORTÉS DÍAZ, José María. *Técnicas de prevención de riesgos laborales*. 9ª ed. España: TEBAR, 2007. 842 p.
6. DUDA, Walter H. *Manual tecnológico del cemento*. España. Editores técnicos asociados, 1977. 345 p. ISBN 84-7146-095-5.
7. *Mantenimiento mecánico de molinos verticales*. Seminario de mantenimiento. Cancún, México. F.L. & Smidth. 2001. 356 p.