



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

**PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA
DE CEMEX GUATEMALA**

Ramiro Fernando García Klussmann
Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, noviembre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA
DE CEMEX GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

RAMIRO FERNANDO GARCÍA KLUSSMANN

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2008
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. José Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultán Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Juan Merck Cos
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
EXAMINADOR	Inga. Carmen Marina Mérida
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA DE CEMEX GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 1 de agosto de 2007.



Ramiro Fernando García Klusmann



FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 28 de octubre de 2008

REF.EPS. DOC.961.10.08.

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 **RAMIRO FERNANDO GARCÍA KLUSSMANN** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. 9740391, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **"PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA DE CEMEX DE GUATEMALA"**.

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

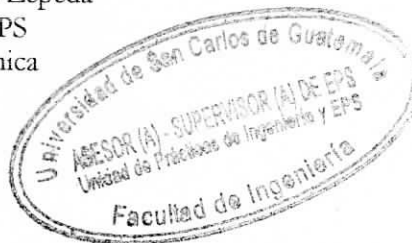
Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Mecánica

c.c. Archivo
EESZ/ra





Guatemala, 28 de octubre de 2008
REF.EPS. DOC.961.10.08

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 **"PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEM DE CEMEX DE GUATEMALA"** que fue desarrollado por el estudiante universitario, **RAMIRO FERNANDO GARCÍA KLUSSMANN** quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ingeniero Edwin Estuardo Sarceño Zepeda.

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-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 Helena Sarceño Zepeda

Directora Unidad de EPS

Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

Facultad de Ingeniería

NISZ/ra



FACULTAD DE INGENIERIA

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 de la Unidad del Ejercicio Profesional Supervisado, al trabajo de graduación PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA DE CEMEX GUATEMALA, del estudiante **Ramiro Fernando García Klussmann**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, noviembre de 2008.

/behdei

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS Único merecedor de recibir toda la honra, por ser guía de mis pasos e iluminación para mis decisiones.

MI MADRE Ingrid Patricia Klussmann, por el apoyo y sus oraciones.

MI PADRE Ramiro A. García Vásquez, por ser mi guía y darme los mejores consejos.

MIS HERMANOS Por su apoyo.

MI ABUELA Angelina de Klussmann, por su incondicional apoyo y cariño.

MI ESPOSA E HIJOS Por ser mi inspiración para seguir adelante.

MIS AMIGOS Por su amistad sincera, por su apoyo y cariño.

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.

LA FACULTAD DE INGENIERÍA.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE LUSTRACIONES.....	III
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	1
1.1 Descripción y ubicación de la empresa.....	1
1.2 Descripción de las áreas de la planta.....	2
1.2.1 Área de almacenamiento de materia prima.....	2
1.2.2 Área de transportación de materia prima hacia tolvas dosificadoras.....	2
1.2.3 Área de Molino.....	3
1.2.4 Área de alimentación eléctrica.....	4
1.2.5 Área de Silos de cemento.....	4
1.2.6 Área de llenado de sacos de cemento.....	5
1.3 Antecedentes de mantenimiento preventivo.....	6
2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MOLIENDA DE CEMENTO.....	11
2.1 Proceso de almacenamiento y recepción de materias primas.....	11
2.2 Diagrama de flujo del proceso de recepción de materias primas.....	12
2.3 Proceso de molienda de cemento.....	13
2.3.1 Etapa de envasado y despacho.....	13
2.4 Distribución de la planta.....	14

2.5 Maquinaria y equipo en el área de molino.....	16
2.6 Diagnóstico general de la maquinaria y equipo.....	18
3. PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA.....	21
3.1 Organización del mantenimiento.....	21
3.2 Elaboración de rutinas de mantenimiento.....	25
3.3 Elaboración de programa de mantenimiento.....	40
3.3.1 Control y evaluación de la alineación del molino.....	40
3.3.2 Control de la alineación del cople de membranas de baja velocidad del molino tipo horizontal.....	47
3.3.3 Revisión general mayor del reductor simetro.....	51
3.3.4 Revisión del contacto de chumaceras y muñón del molino.....	67
3.3.5 Cambio de virola (sección) del cuerpo del molino.....	73
3.3.6 Cambio de Piñón de alta velocidad del reductor simetro.....	105
3.3.7 Cambio de membranas del cople de baja velocidad de molino tipo horizontal.....	115
3.3.8 Alineación de embrague principal tipo neumático.....	124
3.4 Evaluación de la situación actual y análisis de resultados.....	130
3.4.1 Evaluación de la situación actual.....	131
3.4.2 Evaluación de equipos.....	132
3.4.3 Evaluación financiera y análisis de resultados.....	135
CONCLUSIONES.....	137
RECOMENDACIONES.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	141

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Organigrama actual de la planta ARIZONA	9
2.	Diagrama de flujo del proceso de recepción de materias primas	12
3.	Diagrama del proceso de envasado y despacho	13
4.	Plano general de planta ARIZONA	15
5.	Molino de bolas con dos compartimentos	17
6.	Organigrama del departamento de mantenimiento	23
7.	Formato hoja de control de temperaturas	26
8.	Medición de tolerancia de rodamientos	31
9.	Posición de los pernos para sujeción radial de las chumaceras	31
10.	Posición de planchas de tope para sujeción radial de las chumaceras	32
11.	Posición de apoyo del eje sobre el cojinete	32
12.	Marca por contacto entre eje y cojinete	33
13.	Gorron del molino	34
14.	Contacto entre piñón y corona del molino	35
15.	Reductor simetro	36
16.	Puntos de medición para alineación del molino	42
17.	Control de alineación mediante palancas y micrómetros	43
18.	Palanca para eje de torsión	44
19.	Partes principales del cople	45
20.	Inspección de control con molino en marcha	56
21.	Posición entre molino, reductor y motor	58
22.	Control de la alineación del reductor	58
23.	Juego entre flancos del piñón en rotación	63

24.	Colocación del cojinete sobre el muñón	69
25.	Juego “s” entre el muñón y el cojinete, y radio “R” de redondez del canto circular del cojinete y del muñón	70
26.	Pernos tirantes, hierros de montaje y de ajuste	75
27.	Plantilla para calibración del refrentado del canto de placa y achaflanado exterior	75
28.	Soporte rodante del molino	76
29.	Control de la alineación del molino	80
30.	Marcación antes de efectuar el corte del molino	83
31.	Presentación para soldar el tubo de molino	83
32.	Marcación de corte del tubo original del molino	85
33.	Colocación del bastidor para marcar líneas de corte	85
34.	Rieles de guía para soplete de avance mecánico	88
35.	Realización del corte del tubo	89
36.	Medición en el sector del tubo nuevo	91
37.	Sujeción de las secciones del tubo	94
38.	Hierros de alineación	95
39.	Soldadura de los hierros de alineación	95
40.	Sector del tubo nuevo con la parte del tubo existente	96
41.	Secciones de tubo unidas por soldadura	96
42.	Especificación de electrodos	103
43.	Referencias de engranamiento del eje de alta velocidad	108
44.	Desmontaje del eje de alta velocidad	109
45.	Extracción del piñón utilizando un extractor	113
46.	Referencias de engranamiento del eje de baja velocidad	118
47.	Soporte para colocación del eje	118
48.	Descripción de las partes del embrague neumático	126
49.	Alineación de la flecha	128

TABLAS

I.	Tolerancia de los cojinetes	30
II.	Valores permisibles del juego “s” y radio “R” de redondez entre el muñón y el cojinete	71
III.	Valores permisibles de juego axial “e” entre cojinete y el muñón	71
IV.	Valores de sobremedida permisibles para fabricación de ejes	121

GLOSARIO

Aerodeslizadores

Son equipos que se utilizan para transportar material muy fino, y consisten en dos cámaras separadas por una lona y ambas encajueladas con lámina de metal. En la parte superior se mueve el material y en la inferior se inyecta aire a baja presión, el cual pasa a través de la lona y éste hace que el material se mantenga en suspensión. Comúnmente son instalados con cierto grado de inclinación hacia el punto de descarga, con el objeto de hacer más fácil el deslizamiento del material.

Abrasividad

Es la tendencia de los materiales a sufrir pérdidas de electrones o sea tienden a oxidarse por contacto mecánico de los metales.

Baleros

Los rodamientos o baleros son elementos de precisión que surgen de la necesidad de que las partes en movimiento giren más rápido y a menor fricción. La mayoría de estos consisten de anillos, elementos rodantes y un separador de elementos rodantes.

Bandas transportadoras

Son un medio para movilizar material de diferentes tamaños y granulometrías a distancias cortas y largas. Se utilizan telas entrelazadas de diferentes materiales, recubiertas con hule de varios espesores, con lo que se logra que la banda soporte mayor o menor esfuerzo de tensión. Se movilizan por medio de rodos de diámetros grandes que son movidos a su vez por medio de una transmisión con componentes electromecánicos.

**Básculas dosificadoras
(pesadoras)**

Son equipos que se utilizan para pesar el material y dosificarlo en las cantidades exactas que se desean utilizar, pueden tener mecanismos electrónicos o mecánicos.

Chumacera

Es una pieza de metal o madera con una muesca en que descansa y gira cualquier eje de maquinaria.

Clinker

Material con propiedades hidráulicas que se forma a partir de la cocción de minerales de origen natural en un horno rotativo. Escoria de alto horno.

Elevadores de cangilones

Equipos que se utilizan para transportar material de un lugar a otro en forma vertical o inclinada, para ello utiliza cumbos metálicos o plásticos arrastrados por medio de cadenas.

**Filtros de desempolvado
(colectores de polvo)**

Equipo que se utiliza para recolectar polvo muy fino, especialmente en los puntos de transferencia del transporte de material o en las descargas de los silos. Los componentes de este equipo básicamente son: un ventilador que se utiliza para tener un tiro inducido o de succión el cual por medio de tuberías es aplicado a los puntos que se desean limpiar, utilizando para esto mangas o bolsas como medio filtrante y un gusano helicoidal como medio recolector.

Gusanos transportadores

Son equipos que tienen aletas en forma helicoidal y que al hacerlo girar empuja el material en forma axial, haciendo lo mismo que hace un tornillo al roscarlo o extraerlo.

Mantenimiento correctivo	Es la actividad desarrollada para corregir cualquier comportamiento de los equipos en sus funciones primarias o secundarias cuando por cualquier causa se han salido de los parámetros normales de operación, o bien la realización de los cambios necesarios del diseño original para el mejoramiento del desempeño y la facilidad de los trabajos de mantenimiento.
Mantenimiento preventivo	Son las revisiones, inspecciones, mediciones e intervenciones programadas en los equipos o sus componentes.
Molinos	Máquinas que permiten la reducción de tamaño de los materiales, por medio de impacto y abrasión.
Piñón	Se le llama piñón a la rueda de menos dientes de dos que forman un engranaje, generalmente los piñones se colocan en el eje motor y sirven para reducir la transmisión, aumentando la fuerza de palanca en la misma proporción.
PMR's	<i>Program maintenance routines.</i> (Programa de rutinas de mantenimiento). Rutinas de mantenimiento establecidas de acuerdo a las condiciones particulares de cada planta.

Puzolana	Se le llama así a las sustancias que contienen minerales silíceos y aluminosos que si bien no tienen por sí mismos cualidades cementantes, son capaces de reaccionar con la cal en presencia del agua a temperaturas ordinarias para formar compuestos cementantes.
Reductores	Equipos que se utilizan para transmisión de potencia, disminuyendo la velocidad y multiplicando el torque de los motores, utilizando para ello engranajes de diferentes diámetros y número de dientes.
Separadores	Equipos que utilizan la fuerza centrífuga para separar partículas finas y gruesas, después de haber sido molidas por los molinos de cemento, haciendo que los finos vayan al producto final y los gruesos retornen al circuito de molienda.
Silos	Depósitos de dimensiones variadas, regularmente en forma cilíndrica, que tienen la función de almacenamiento de materiales a granel.
Tolvas	Depósitos de almacenamiento de baja capacidad utilizados para alimentar a los sistemas productivos.
Ventiladores	Equipos que se utilizan para mover grandes cantidades de aire por medio de paletas o álabes adheridas a un eje central.

RESUMEN

La planta ARIZONA de CEMEX Guatemala se dedica a la producción de cemento, mediante la molienda de materia prima, funciona en el mercado de la costa sur, ciudad capital y el occidente del país. Las labores en producción que ha ejecutado se limitan a la experiencia en el manejo de la maquinaria y equipo, que algunos empleados antiguos han adquirido.

La necesidad de implementar un programa de mantenimiento preventivo para la maquinaria y equipo, surge como consecuencia de una serie de emergencias que frecuentemente se viven cuando el proceso de producción se detiene por la falla de alguna máquina.

Otra razón importante que refleja la necesidad descrita anteriormente, es la pérdida de clientes por limitante de despacho en cuanto a la capacidad de producción ya que la misma actualmente no es suficiente para cubrir la demanda de cemento que existe en el mercado.

Por lo tanto, en este trabajo se plantea una solución al problema de mantenimiento de la calidad de servicio, el cual se enfoca por medio de una serie de programas diarios, semanales, mensuales y anuales de control al molino FEMA, máquinas y equipos o sus componentes del área de molienda; para realizar las inspecciones, pruebas y rutinas de mantenimiento que sean necesarias, según lo indique cada diagnóstico realizado a las mismas.

OBJETIVOS

General:

Diseñar e Implementar un plan de conservación, que permita orientar al personal sobre la secuencia lógica de actividades encaminadas a mantener en óptimas condiciones de funcionamiento el Molino Tubular FEMA de CEMEX Guatemala y la maquinaria que lo conforma.

Específicos:

1. Realizar un análisis de las condiciones actuales de instalaciones, maquinaria y equipo.
2. Crear un plan de conservación que suministre la información referente a rutinas de mantenimiento, frecuencias de ejecución y procedimientos.
3. Capacitar al personal acorde con los principios técnicos y científicos del mantenimiento preventivo, así evitar pérdidas económicas y de eficiencia de equipo.
4. Convencer a la administración de la necesidad que existe de realizar los diversos cambios, así como de los beneficios y mejoras que se logran al implementar un plan eficiente de conservación para el Molino Tubular FEMA, con el fin de poder reducir costos en todas las actividades de mantenimiento

INTRODUCCIÓN

En el proceso de molienda de cemento, en la planta ARIZONA, interviene una gran gama de maquinaria y equipo; el cual está todo el tiempo expuesto a la operación y necesita que ésta se efectúe con la mayor eficiencia, ya que de lo contrario se corre el riesgo de incurrir en fallas que ocasionan paros.

La empresa sufre las consecuencias de carecer planes y programas de mantenimiento que dirijan las tareas encaminadas a conservar la calidad del servicio que presta la maquinaria y equipo. Para aumentar la productividad y eficiencia de dicha maquinaria en condiciones normales de operación, implica contar con un mejor control de operación y con un programa eficiente de mantenimiento, ya que se tienen costos elevados por muchas reparaciones de carácter correctivo que pueden evitarse con una buena administración del mantenimiento.

En el presente trabajo se desarrolla un plan de conservación para el Molino Tubular FEMA, el cual se plantea como necesario para encaminar a la empresa hacia la búsqueda de la calidad tanto del producto como en el servicio.

El plan de conservación para el molino tubular FEMA de CEMEX Guatemala, será desarrollado en un trabajo conjunto con el personal de mantenimiento de dicha empresa, con orientación profesional del supervisor de E.P.S.

Este plan de conservación pretende adaptarlos a las necesidades de la empresa, consiste en un programa donde el personal de mantenimiento se guía por tareas a seguir indicadas claramente bajo períodos de ejecución.

En el capítulo uno se describe: la información de la empresa, ubicación, descripción de las áreas de la planta, y un organigrama.

En el capítulo dos se presenta toda la información referente a la maquinaria y equipo de la planta, descripción de los procesos por áreas y diagrama de flujo del proceso de recepción de materias primas.

En el tercer capítulo se describe el plan de conservación para el molino tubular FEMA, el programa de mantenimiento preventivo enfocado y dirigido a la ejecución de las tareas con períodos específicos de ejecución. También se presenta la teoría del mantenimiento, es importante mencionar que el mantenimiento para que sea efectivo tiene que administrarse desde el punto de vista económico.

Con este trabajo se pretenden desarrollar y mostrar métodos aplicando conceptos y procedimientos correspondientes a la Ingeniería Mecánica, con énfasis en la Administración del Mantenimiento.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 Descripción y ubicación de la empresa

La planta “ARIZONA”, ubicada en el municipio de Puerto de San José, departamento de Escuintla, se dedica a la molienda de cemento puzolanico. El proceso productivo es esencialmente de tipo continuo, lo que implica que el volumen de producción y el equipo involucrado sea de gran magnitud; esto conlleva a que la demanda del producto sea creciente dentro del mercado nacional e internacional. El objetivo primordial del presente trabajo es realizar un plan de conservación para El Molino tubular FEMA de CEMEX Guatemala, desde el punto de vista administrativo, que sea capaz de establecer los patrones que permitan una guía de beneficio para la empresa.

La empresa funciona desde aproximadamente tres años contribuyendo grandemente a la economía y desarrollo del municipio, por su gran capacidad de producción, además de ser una fuente de trabajo para las personas que laboran en dicha empresa.

La empresa consiste y se divide básicamente en: área de oficinas administrativas y laboratorio de control de calidad; área de recepción; área de parqueo; área de báscula; área de bodegas de producto terminado; área de descarga (nave de materias primas); y la planta propiamente dicha, que consiste y se divide en:

área de silos de almacenamiento, área de compresores, área de alimentación y transformación eléctrica, área de cuarto de control y paneles eléctricos, área de taller y soldadura, área molino - primer nivel, área de básculas dosificadoras y bandas transportadoras de alimentación molino - segundo nivel; área de tolvas de básculas dosificadoras, aerodeslizador de rechazos y tornillo sin fin-tercer nivel, área de bandas transportadoras reversibles secundarias y filtro de desempolvado-cuarto nivel, área de banda transportadora reversible principal y separador de producto terminado y rechazo-quinto nivel, y área de llenado de sacos de cemento comúnmente llamada “ensacado”.

1.2 Descripción de las áreas de la planta

1.2.1 Área de almacenamiento de materia prima

En esta área de la planta se almacenan los diferentes tipos de materia prima; acá se muestrean las mismas para determinar la composición química correcta, granulometría adecuada y porcentaje de humedad permitido, es decir, previo al proceso de dosificación y molienda. La infraestructura consiste en una galera de pre-homogenización con tres divisiones que sirven para separar las diferentes materias primas, dicha galera tiene la capacidad de almacenar el inventario mínimo requerido para operar por cinco días.

1.2.2 Área de transportación de materia prima hacia tolvas dosificadoras

Esta área consiste puramente de bandas transportadoras, las cuales se encargan de transportar la materia prima hacia las tolvas dosificadoras.

La banda más grande pero no más importante que las otras es llamada “banda inclinada” por tener esta forma a 45 grados de inclinación y tiene su principio en el área de almacenamiento de materia prima, finalizando en el quinto nivel donde se une de forma no directa con la banda reversible principal. La banda reversible principal recibe la materia prima de la banda inclinada y la direcciona hacia cualquiera de las bandas reversibles secundarias, según sea seleccionado el material a alimentar en las básculas dosificadoras.

1.2.3 Área de molino

Esta área cuenta con un molino de bolas, el cual es controlado por los operadores de control central.

El proceso de molienda de cemento cuenta con tres etapas:

- 1) Alimentación de materia prima al molino: la materia prima se alimenta al molino por medio de las básculas dosificadoras y se almacena en la galera de pre-homogenización, esta galera también es llamada “nave de materias primas”.
- 2) Molienda de materia prima: sucede dentro del molino propiamente dicho y abarca también el control de la finura, que se lleva a cabo en el separador de partículas.
- 3) Recolección del producto y almacenamiento: en esta etapa se recolecta el producto luego de salir de la etapa de molienda y es transportado hacia los silos de almacenamiento, antes de su ensacado y despacho.

1.2.4 Área de alimentación eléctrica

Esta área también puede tomarse como parte de la planta del Molino Tubular FEMA, ya que es el lugar que alimenta y mantiene la energía eléctrica necesaria y adecuada para el buen funcionamiento de la planta. Aquí se encuentran instalados 2 transformadores eléctricos trifásicos los cuales son de 2000 y 3000 kilovoltio-amperios (KVA), estos convierten los 13,800 voltios proporcionados por la red de la empresa DUKE ENERGY a 480/277 y 4160/240 voltios útiles respectivamente, necesarios para el adecuado funcionamiento de las instalaciones, maquinaria y equipo de la empresa.

Además, se cuenta con dos reguladores de voltaje que regulan los altibajos y mantiene constante la carga de corriente, dos fusibles (160 Amperios) instalados y colocados entre cañas porta-fusibles, tres aisladores (de material “Porcelana”) que evitan que se junten o peguen los alambres, y la estructura metálica correspondiente.

También existen fuera de ésta área y dentro de la planta propiamente dicha, dos transformadores secos (no utilizan lubricante) que reducen el voltaje de 440 a 220 voltios, ya que existe maquinaria dentro de la planta que necesita o utiliza para su funcionamiento voltaje 220, como por ejemplo: maquinaria para soldadura, algunos motores pequeños, aires acondicionados, etc.

1.2.5 Área de silos de cemento

Son 3 silos de reposo de forma cilíndrica, contruidos de metal (lámina de ½”) con tolva de caída tipo cono y montado cada uno sobre estructura tipo I.

Están situados estratégicamente en medio del área del Molino Tubular FEMA y el área de envasado. Lo cual le permite estarse llenando y vaciando de producto terminado al mismo tiempo.

Cada silo tiene capacidad de almacenar 2,600 TM de cemento aproximadamente, la temperatura que mantiene el silo internamente varía desde los 45 °C hasta los 90 °C.

1.2.6 Área de llenado de sacos de cemento

Este es el lugar donde se realiza el llenado (ensacado) de bolsas de 42.5 KG de cemento por medio de una máquina ensacadora automática marca HAVER, la cual recibe el producto (cemento) del silo y lo distribuye por sus 12 boquillas llenadoras, las cuales se mantienen en constante rotación.

Cuando la bolsa alcanza el peso de 42.5 KG requerido, sale de la boquilla y cae en una banda transportadora que a su vez pasa por una báscula automática de piso que determina si la bolsa lleva o no el peso correcto \pm el margen de error permitido para que pueda pasar a la siguiente fase del proceso; la cual consiste en el paletizado o entarimado.

En el paletizado se ordenan los sacos para formar tarimas de 45 unidades y luego trasladarlas por una mesa de rodillos para llegar al punto donde la tarima es recogida por un montacargas con equipo especial llamado *push & pull*, para luego ser llevadas al área donde se apilan o ya sea que se coloquen en la unidad de transporte (plataforma) para ser trasladadas a las bodegas de distribución que se encuentran fuera de la planta.

1.3 Antecedentes de mantenimiento preventivo

El personal de operación y mantenimiento que está laborando actualmente en la planta del Molino FEMA de CEMEX Guatemala, generalmente son personas que trabajaron en el montaje de la misma y dentro de ellos hay pocos que tienen un título de nivel medio.

Debido a lo anterior, los conocimientos que se poseen han sido y son casi del todo empíricos, se han logrado a base de la experiencia y así se han desempeñado la mayoría de las funciones dentro de la planta. Se aclara de antemano que en ningún momento se trata de discriminar ni hacer de menos la capacidad de este personal, por el contrario, se debe reconocer que en realidad desempeñan su trabajo (aunque en forma empírica) de una manera aceptable.

La empresa ha venido desempeñando sus labores de mantenimiento conforme las necesidades así lo han venido exigiendo y más que todo conforme se han presentado los problemas (fallas que han originado paros), es decir que se ha aplicado un tipo de mantenimiento más correctivo que el tipo de mantenimiento preventivo, objetivo primordial de este proyecto.

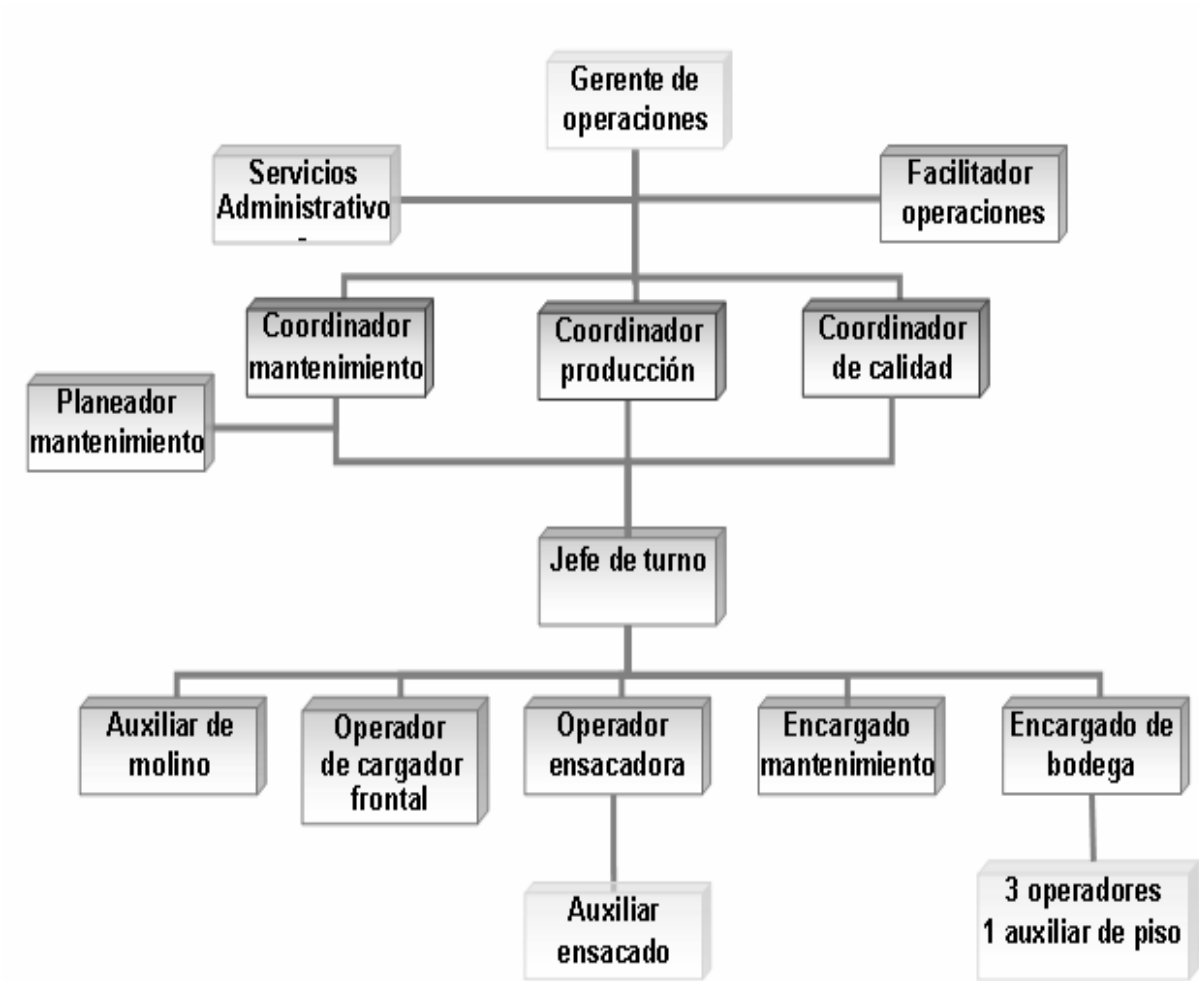
A continuación se describen algunos aspectos y situaciones relacionadas a las funciones de mantenimiento que se han venido dando y se han aplicado dentro de la planta del Molino FEMA de CEMEX Guatemala, lo que justifica y muestra la necesidad de un programa eficiente de mantenimiento preventivo:

- Carencia de organización en el departamento de mantenimiento.
- Carencia de un programa de mantenimiento.

- Ausencia de manuales de la maquinaria y equipo, para poder consultar las especificaciones respectivas.
- Como consecuencia de la carencia de organización en el departamento de mantenimiento y manuales de especificaciones de maquinaria y equipo, también se carece de manuales de mantenimiento (preventivo y/o correctivo).
- Falta de procedimientos para implementar el mantenimiento preventivo.
- No existe la documentación respectiva de los procedimientos y diversos procesos de producción, molienda y elaboración de las diferentes clases de cemento tipo Pórtland.
- Se desconocen los objetivos y las metas, por consiguiente, no existe un plan a seguir y solo se limitan a dar “pasos de ciego” tratando de cubrir emergencias por todos lados.
- Falta de capacitación hacia los empleados, los cuales sumado a su poca preparación académica, provoca un total desconcierto y solamente se limitan a tapar como se pueda los distintos inconvenientes.
- Se incurre en grandes gastos por reparaciones que pueden evitarse con un buen programa de mantenimiento preventivo.
- Existen varios riesgos industriales y condiciones inadecuadas de trabajo, que aumentan la probabilidad de accidente, como consecuencia de la carencia de lineamientos a seguir en los procedimientos de mantenimiento.

- El personal del Molino FEMA de CEMEX Guatemala manifiesta la necesidad que se tiene de capacitación en cuanto a procedimientos *standard* de operación y mantenimiento, así como de cursos teoría-práctica que tienen utilidad en la industria en general, tales como: neumática, programación de PLC, hidráulica, soldadura, mecánica industrial, etc.

Figura 1. Organigrama actual de la planta Arizona



2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE MOLIENDA DE CEMENTO

En este capítulo se describe el proceso productivo de molienda de cemento hasta obtener cemento como producto terminado con el correspondiente análisis y control de calidad, por tanto se describe por medio de los siguientes procesos.

2.1 Proceso de almacenamiento y recepción de materias primas

Este proceso se refiere principalmente a la recepción y almacenamiento de las materias primas. Para el almacenamiento se utiliza una infraestructura en forma de bodega, la cual esta dividida en cuatro áreas en las cuales se almacenan los diferentes tipos de materia prima que se utilizan en la molienda de cemento (yeso, puzolana, clinker).

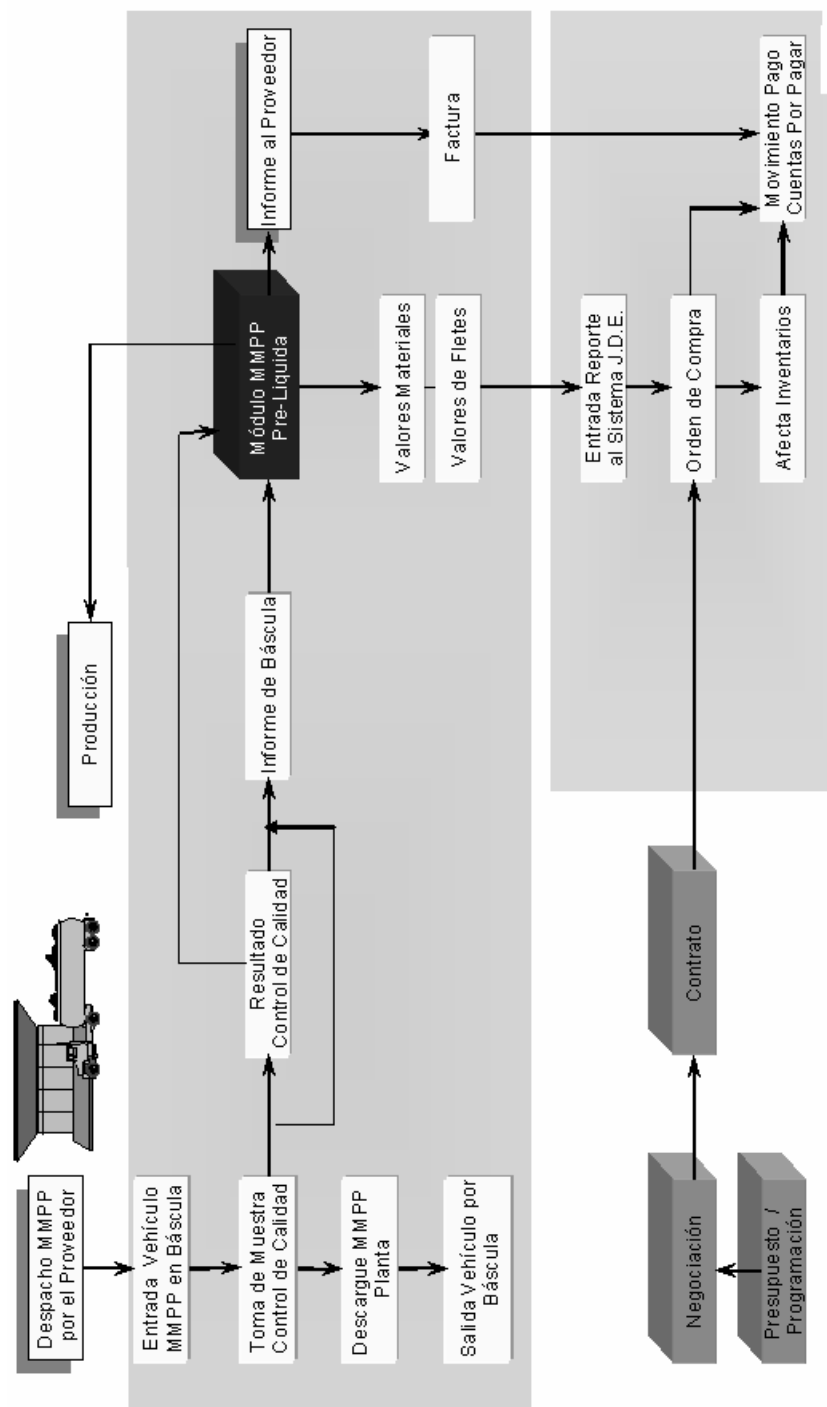
Para el proceso de recepción se cuenta con un sistema automatizado, llamado módulo de Materias Primas. Este módulo se encuentra instalado en la báscula de la planta y se encuentra conectado en red con el sistema propio de la empresa (*J. D. Edwards*) con el cual genera una interfase para alimentar la información de los registros que se operan en báscula.

El módulo tiene como objetivo controlar el ingreso de las materias primas a las plantas con unos factores de humedad y calidad aplicados, permitiendo generar los pagos a los proveedores y transportadores, obteniendo una información única en cantidades y costos para los departamentos de Producción, Abastos y Contabilidad. Los beneficios esperados con la utilización de este módulo son los siguientes:

1. Optimizar el proceso de control y pago de la materia prima.

(Reduciendo copias, bases de datos anexas, reenvíos de documentos, esperas y otros).

2.2 Figura 2. Diagrama de flujo del proceso de recepción de materias primas



2.3 Proceso de molienda de cemento

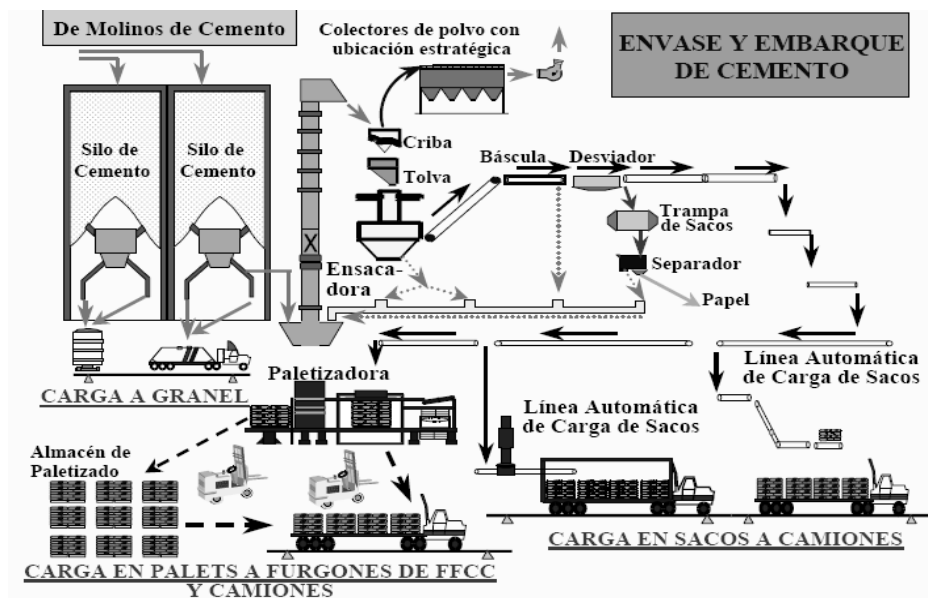
El propósito fundamental de este paso es la reducción de tamaño proporcionalmente de las materias primas (mezcla). El molino que interviene en esta operación es básicamente un cilindro rotativo de acero, con una cantidad de bolas de acero en su interior, donde la reducción de tamaño del material alimentado se da por choque y deslizamiento de las bolas. Aquí se prepara la mezcla de las materias primas en las proporciones físicas adecuadas, como: finura, tamaño de partículas, etc, que se conoce con el nombre de “CEMENTO”. Las cualidades físicas y químicas de dicho cemento son determinadas por el departamento de control de calidad, en base a normas y especificaciones internacionales de ASTM (Sociedad Americana de Normas para Materiales).

2.3.1 Etapa de envasado y despacho

Esta sección del departamento producción tiene como funciones principales la de almacenar, envasar y despachar el producto terminado.

- a) Almacenaje: en silos especiales.
- b) Envase: en envasadora de tipo rotativo.
- c) Despacho: a granel y en sacos de papel de 42.5kg.

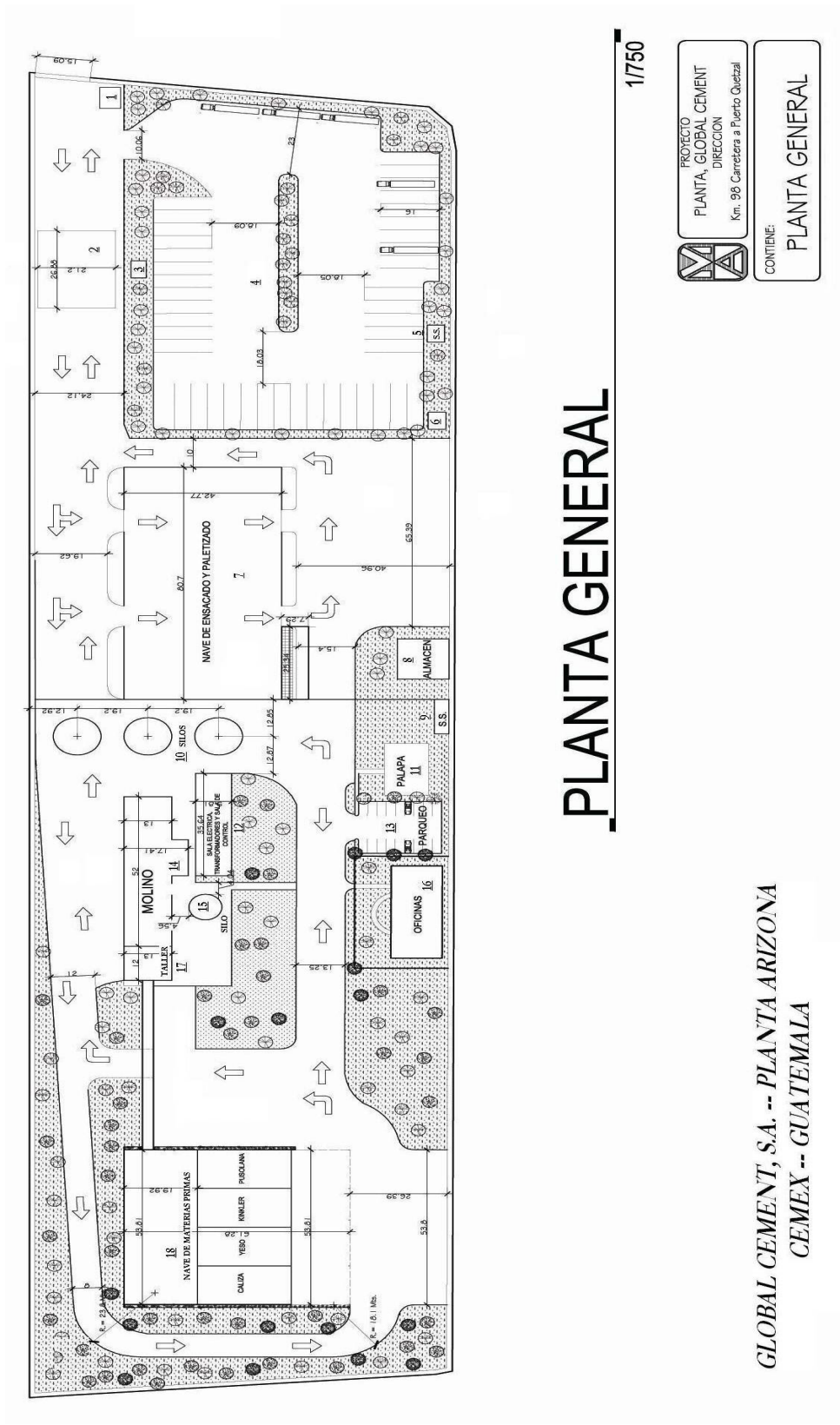
Figura 3. Diagrama del proceso de envasado y despacho



2.4 Distribución de la planta

- 1.- Garita de entrada
- 2.- Báscula
- 3.- Oficina del departamento de logística
- 4.- Área de parqueo de vehículos en espera de carga ó descarga
- 5.- Servicios sanitarios del área de parqueo
- 6.- Tanque de combustible diesel
- 7.- Nave de ensacado y paletizado
- 8.- Almacén
- 9.- Servicios sanitarios generales
- 10.- Silos de cemento
- 11.- Palapa
- 12.- Sala eléctrica, transformadores y sala de control
- 13.- Área de parqueo de oficinas administrativas
- 14.- Molino de cemento
- 15.- Silo de ceniza
- 16.- Oficinas administrativas
- 17.- Taller
- 18.- Nave de materias primas

Figura 4. Plano general de planta Arizona



2.5 Maquinaria y equipo en el área de molino

La operación de molienda de cemento involucra dentro del proceso mismo una serie de maquinaria y equipo que se encuentra distribuida, clasificada e identificada por medio de una codificación de activos.

El molino comprende en forma general de la siguiente maquinaria y equipo:

- 1.- Pesadoras.
- 2.- Bandas transportadoras.
- 3.- Elevadores de cangilones.
- 4.- Filtros colectores de polvo.
- 5.- Motores.
- 6.- Reductores.
- 7.- Sopladores.
- 8.- Aerodeslizadores.
- 9.- Gusanos transportadores.
- 10.- Ventiladores.
- 11.- Separador.
- 12.- Molino de bolas.

- **Molino**

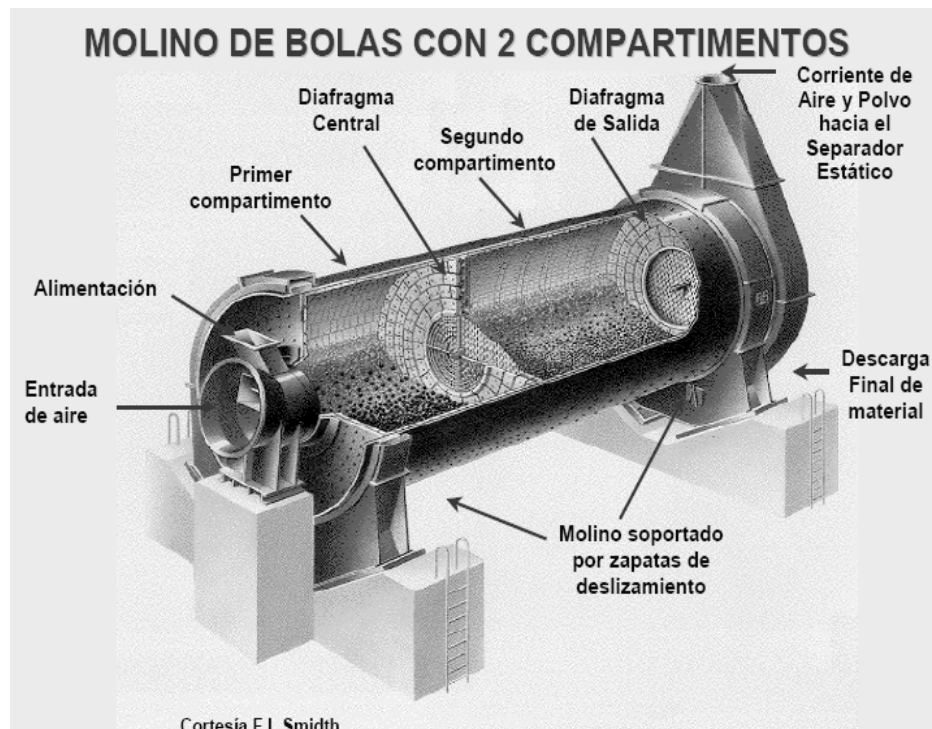
El molino es un cilindro de acero de dos compartimientos, donde la reducción del tamaño del material se realiza mediante el movimiento de cuerpos molidores (bolas de acero de diferentes tamaños distribuidas uniformemente a lo largo del molino).

La rotación del molino eleva las bolas de acero a una altura óptima necesaria para que se lleve a cabo la molienda, la cual se realiza por impacto y por fricción de las bolas de acero y el revestimiento del molino con el material.

Las características principales del molino para molienda de cemento son:

- 1.- Están en posición horizontal y divididos en dos compartimientos; en el primero se realiza la molienda gruesa, donde la alimentación del material de 15 a 28 milímetros, se reduce a 1 milímetro, utilizando para el efecto bolas de acero de 50 a 90 milímetros de diámetro. Mientras que el segundo es utilizado para la molienda fina. El material es molido hasta obtener la fineza requerida, utilizando para ello, bolas de 15 a 40 milímetros de diámetro. Para una mejor interpretación y visualización de estos molinos, ver la siguiente figura:

Figura 5. Molino de bolas con dos compartimentos



- 2.- Este tipo de molinos de acero son utilizados para moler material duro y semi-duro.
- 3.- La parte interna de los molinos, se encuentra protegida por medio de placas blindadas resistentes al desgaste y a la abrasión llamadas “corazas”, las cuales son de varios tipos dependiendo su ubicación y funcionamiento.
- 4.- Las dimensiones del molino para la molienda de cemento es de 3 metros de diámetro x 11 metros de largo.
- 5.- La producción del molino de cemento esta en promedio de 60 toneladas métricas por hora.

2.6 Diagnóstico general de la maquinaria y equipo

Durante el proceso de producción del cemento, las áreas de mayor consumo eléctrico son las etapas de molienda. La selección de un sistema de molienda depende básicamente de la cantidad y del tipo de producto requerido y el consumo de energía eléctrica del sistema. Además se debe considerar ciertos factores de satisfacción como: requerimiento de calidad, la distribución de tamaño de las partículas o granulometría específica del producto y de la mantenibilidad del equipo.

Las condiciones en que un sistema de molienda opera son generalmente muy severas. Lo que significa que durante el proceso de fabricación del cemento los sistemas de molienda se ven seriamente afectados por una serie de problemas que interrumpen el buen funcionamiento de la maquinaria y equipo. Específicamente, en el área de molienda de cemento, los principales problemas que encontramos son:

- 1.- Desgastes: la mayoría de maquinaria y equipo se ve seriamente afectada durante el desarrollo del proceso productivo por este tipo de problemas en particular, esto debido principalmente a la abrasividad del clinker con los sistemas periféricos centrales y auxiliares del área. Los principales equipos que presentan problemas de desgaste son: cascos de rodillos, chifles, tolvas, raspadores, elevadores de cangilones, separadores, rodos de cola aerodeslizadores, bandas transportadoras, etc.
- 2.- Derrames de material: básicamente como consecuencia de diseños inapropiados y de desgastes que ocurren en los equipos.
- 3.- Roturas de bandas transportadoras: debido fundamentalmente a la temperatura de trabajo, durante la transportación del clinker, la cuál oscila entre 150 y 200 °C.
- 4.- Emisiones de polvo: debido a una red de succión deficiente hacia los colectores.
- 5.- Fallas en el equipo mecánico y eléctrico: debido a la alta contaminación del área.
- 6.- Mala lubricación en los equipos.

3. PLAN DE CONSERVACIÓN PARA EL MOLINO TUBULAR FEMA

El siguiente capítulo describe el plan de conservación para el Molino Tubular FEMA de CEMEX Guatemala, con el cual se pretende estructurar de la mejor manera las rutinas de mantenimiento que hagan de este plan de conservación un programa de mantenimiento eficiente.

3.1 Organización del mantenimiento

La organización del departamento de mantenimiento mecánico está definida en la actualidad por funciones y objetivos particulares que se deben cumplir dentro del programa de mantenimiento industrial.

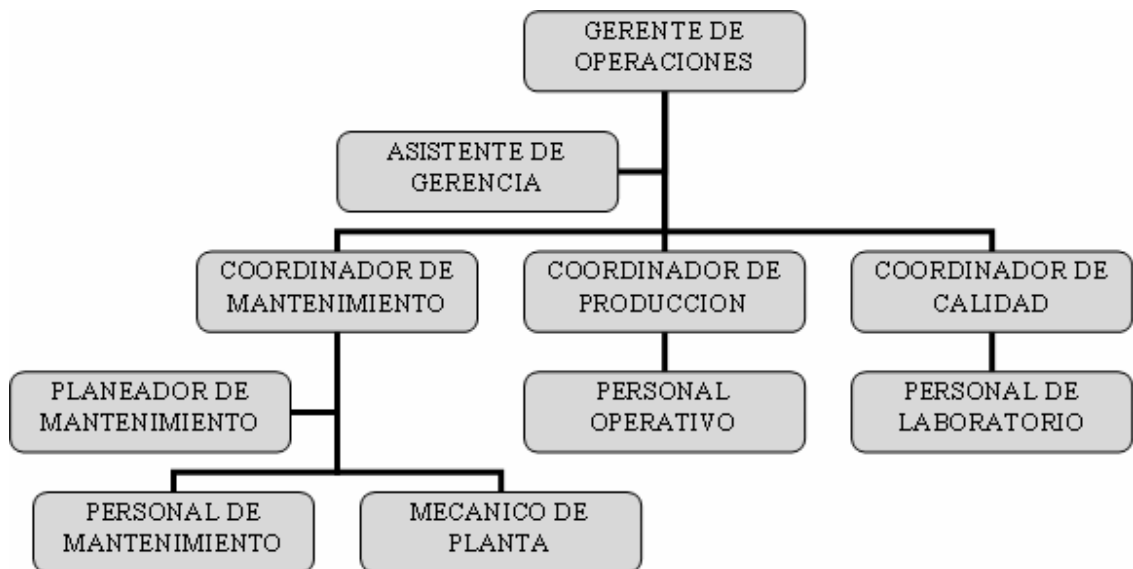
Las funciones y objetivos del departamento en forma general son:

- Mantener en operación continua, confiable y eficiente la totalidad de los elementos mecánicos de que dispone la planta.
- Velar por el buen estado y por la conservación de la maquinaria, realizando siempre un trabajo de mantenimiento de alta calidad.
- Reducir al mínimo las paradas imprevistas del equipo, garantizando los trabajos de mantenimiento realizados.
- Reestablecer el estado de los activos a su condición original.
- Llevar a cabo todas las tareas a un mínimo costo, es decir, maximizar el uso de los recursos disponibles.

En resumen, el departamento de mantenimiento mecánico debe realizar todas aquellas actividades preventivas, correctivas, predictivas y de modificación sobre los elementos físicos, con el fin de asegurar un mejor servicio, evitando con esto paros imprevistos que pudiesen afectar la capacidad productiva y la calidad del producto.

El departamento de mantenimiento mecánico de la empresa cuenta con una estructura organizativa, la cual establece jerarquías y relaciones entre los puestos de trabajo, tal como se puede apreciar en el organigrama de la siguiente figura.

Figura 6. Organigrama del departamento de mantenimiento mecánico



Las funciones, deberes y responsabilidades de los puestos de trabajo a nivel operacional con base al organigrama anterior, se describen a continuación de acuerdo al puesto de trabajo:

a) Planeador de mantenimiento

a.1) Función

- Realiza completamente la planificación del mantenimiento preventivo y correctivo del equipo mecánico según programa establecido.

a.2) Deberes y responsabilidades generales

- Verificar y exigir que todas las actividades del personal a su cargo se efectúen dentro de las normas de seguridad industrial y dentro de las normas específicas que establezca la empresa.
- Mantener las instalaciones y equipo mecánico a un nivel económico de reparaciones para conservar los activos y mantener en operación el equipo de producción un máximo porcentaje de tiempo de fiabilidad, eficiencia y utilización, mediante un efectivo mantenimiento.
- Estimular y motivar al personal para que participe en la realización de actividades que contribuyan a mejorar la productividad, eficiencia y seguridad de la planta.
- Planificar la mejora constante de los métodos de trabajo de mantenimiento y reparaciones, teniendo como objetivo fundamental lograr un trabajo de calidad a un mínimo costo.

a.3) Deberes y responsabilidades específicas

- Controlar la ejecución y rendimiento de los trabajos recomendados al personal.
- Repartir las órdenes de trabajo al personal, recibirlas y firmarlas, siendo responsable de los trabajos efectuados por el personal bajo su cargo.
- Coordinar al personal bajo su cargo para el mejor desempeño de sus labores.

b) Encargado de mantenimiento y mecánico de planta

b.1) Función

- Ejecutar las órdenes de trabajo y hojas de mantenimiento preventivo que su superior le asigne.

b.2) Deberes y responsabilidades generales

- Verificar y exigir que todas las actividades del personal del departamento se efectúen dentro de las normas de seguridad industrial.
- Evaluar las necesidades de material, equipo y herramientas indispensables para la realización eficiente de su trabajo.
- Mantener las instalaciones y equipo mecánico en operación a un máximo porcentaje de tiempo, mediante un efectivo mantenimiento planificado y correctivo.

b.3) Deberes y responsabilidades específicas

- Ejecutar las órdenes de trabajo y las hojas de mantenimiento como lo indique el planeador de mantenimiento según el programa establecido; llenarlas adecuadamente y firmarlas al concluir el trabajo.
- Hacer turnos dentro de las instalaciones de la fábrica según horarios establecidos y en todos aquellos casos donde la naturaleza de los trabajos lo ameriten.
- Pueden solicitar herramienta, siendo responsables de la misma y devolverla al concluir el trabajo.

3.2 Elaboración de rutinas de mantenimiento

Las rutinas de mantenimiento pertenecen al mantenimiento preventivo, el cual consiste en revisiones, inspecciones, mediciones e intervenciones programadas en los equipos o sus componentes. Estas actividades pueden ser periódicas o cíclicas (diaria, semanal, mensual, anual, etc.).


En todo caso, una actividad de mantenimiento preventivo puede o no tener como consecuencia una intervención correctiva o de cambio.

Actualmente en planta Arizona se realiza el siguiente chequeo una vez por turno: (Cada 8 horas)

Figura 7. Formato hoja de control de temperaturas

Fecha: _____
 _____:_____ HRS

CHECK LIST CORTO
CONTROL DE TEMPERATURAS_°C



MOLINO

Corona	
Bomba Alta Salida	
Bomba Baja Salida	
Salida	
Red H2O	
Estator	
Cojinete motor	
Reductor	
Cojinete Reductor	
Piñon	
Chumacera 1	
Chumacera 2	
Aire a Reductor	
Bomba de Aceite	
Pulverizado	
Entrada	
Entrada	
Entrada	

TRANSFORMADORES

2000	
3000	

SEPARADOR

Estator	
Cojinete motor	
Reductor	
Rotor	
Bomba de Aceite	
Motor Radiador	
Radiador	
Aire Improvisado	
Clapetas	

FILTRO PRINCIPAL

fin	
Sinfin	
Motor Exdusa	
Principal	
Chumacera 1	
Chumacera 2	

COMPRESORES

Compresor 1	
Compresor 2	

A6

Motor	
Reductor	
Chumacera Motriz 1	
Chumacera Motriz 2	
Cojinete Tensor 1	
Cojinete Tensor 2	

B1

Motor	
Reductor	
Chumacera Motriz 1	
Chumacera Motriz 2	
Cojinete Tensor 1	
Cojinete Tensor 2	

D4

Motor	
Reductor	
Chumacera Motriz 1	
Chumacera Motriz 2	
Cojinete Tensor 1	
Cojinete Tensor 2	

1. Limpieza de Chumaceras de los equipos revisados
 2. Limpieza de Cableado en bandeja de equipos revisados

Nombre: _____

Un buen plan de mantenimiento preventivo cumple con las siguientes actividades:

- **PMR's** Son programas de rutinas de mantenimiento establecidas de acuerdo a las condiciones de operación particulares de cada planta. Estas rutinas de mantenimiento deben ser además programadas en base al nivel de operación de los equipos. Dependiendo del tiempo de operación pueden ser diarias, semanales, mensuales, trimestrales o anuales.

- **Lubricación.** Programa de lubricación para cada equipo o componente de acuerdo a las especificaciones del fabricante y a las condiciones de operación del proceso.
- **Recambio periódico de partes.** Consiste en reacondicionar o sustituir a intervalos regulares un equipo o sus componentes. Independiente de su estado en ese momento.

Controles a efectuar en el Molino FEMA

a) Controles a efectuar diariamente

- Temperatura y cantidad de agua de refrigeración de las chumaceras.
- Controlar pérdida de aceite.
- Presión de aire a la entrada de la bomba y presión hidráulica de ella misma.
- Controlar nivel de aceite del depósito.
- Purgar trampas de aire del sistema.
- Comprobar presión de trabajo del compresor.
- Controlar nivel de aceite de las chumaceras.
- Controlar funcionamiento de las cuatro boquillas de inyección.
- Controlar presión de aire y aceite en las boquillas.
- Observar fugas de material.

b) Controles a efectuar semanalmente

- Observar funcionamiento y nivel de aceite del ventura.
- Controlar temperatura de las chumaceras.
- Comprobar nivel de aceite del reductor.
- Observar fugas de aceite del reductor.
- Comprobar temperatura, ruidos y vibraciones del reductor.
- Controlar nivel de aceite del carter, por sistema de barboteo al fallar la lubricación.

c) Controles a efectuar quincenalmente

- Controlar posición del temporizador.
- Controlar tiempo de operación de la bomba para lograr la presión de funcionamiento.
- Controlar el funcionamiento del termostato para el control de temperatura de aceite.
- Controlar tornillería floja en general.
- Comprobar giro de los anillos de lubricación.

d) Controles a efectuar mensualmente

- Observar ruidos, vibraciones, nivel de aceite, tortillería, tensión de las correas del compresor.
- Observar estado de los sellos de aceite del reductor.
- Control de seguridad del sistema. (Compresores)
- Revisar guardapolvos de fieltro de las chumaceras.
- Controlar bombeo suave de la bomba de lubricación.
- Controlar rodamientos, eje, piñón, con estetoscopio electrónico.

e) Controles a efectuar trimestralmente

- Comprobar estado de los rodamientos con estetoscopio electrónico. (Reductor)
- Comprobar anclajes y tortillería floja del reductor.
- Comprobar funcionamiento de bomba y filtro depurador de aceite.
- Controlar desgaste de los raibestos y graduación del embrague.
- Controlar forro de tabiques y tolva de alimentación.
- Controlar desgaste de las chumaceras, de entrada y salida.

f) Controles a efectuar semestralmente

- Controlar desgaste y observar contacto entre piñón y corona.
- Comprobar estado de los acoplamientos del reductor y alineación de los mismos.
- Controlar estado de los acoplamientos.
- Controlar holgura axial de la chumacera de salida.
- Controlar holgura de los cojinetes antifricción del motor sincrónico.

- Controlar estado de los ejes de entrada y salida superficie y posibles rajaduras.
- Controlar operatividad y posición de los interruptores simetrios de seguridad, por descenso de los ejes. (Exteriores)

g) Controles a efectuar anualmente

- Comprobar posibles rajaduras en la carcasa del reductor.
- Comprobar funcionamiento del detector de proximidad del eje de salida.
- Controlar operatividad y posición de los interruptores de seguridad por desplazamiento de los engranajes.
- Controlar estado de los rodillos de la chumacera de desplazamiento axial.
- Medir espesor del casco del molino en diferentes puntos y en toda su longitud.

h) Controles a efectuar cada dos años

- Controlar juego interno de los rodamientos del piñón y eje de transmisión.
- Medir tolerancia de rodamientos del reductor y verificar estado de los mismos.

Tabla I. Tolerancia de los cojinetes

(Todas las dimensiones en milímetros)

COJINETE O CHUMACERA DE 120 °					
DIÁMETRO NOMINAL	DIÁMETRO GORRON		DIÁMETRO COJINETE		Juego "S" entre cojinete y gorron mínimo en montaje
1.200	1.200	0 -0.165	1.200	1.40 1.80	0,30
1.400	1.400	0 -0.195	1.400	1.80 1.30	0,35
1.600	1.600	0 -0.195	1.600	1.60 1.30	0,40
1.800	1.800	0 -0.230	1.800	1.80 1.40	0,45
2.000	2.000	0 -0.230	2.000	2.00 1.63	0,50
2.240	2.240	0 -0.260	2.240	2.24 1.80	0,60
2.500	2.500	0 -0.280	2.500	2.50 2.06	0,65
2.800	2.800	0 -0.310	2.800	2.80 2.24	0,75
3.150	3.150	0 -0.330	3.150	3.15 2.61	0,85

Figura 8. Medición de tolerancia de rodamientos

"S" se mide sobre
toda la anchura.

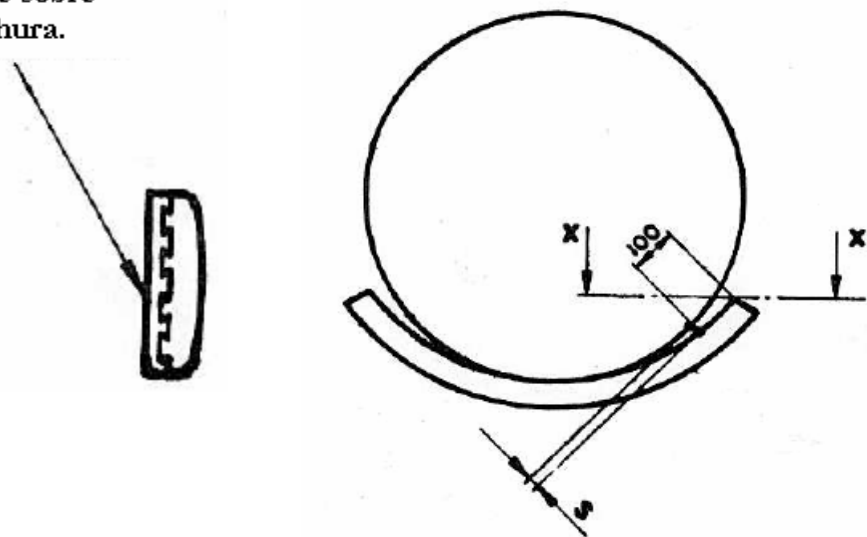


Figura 9. Posición de los pernos para sujeción radial de las chumaceras

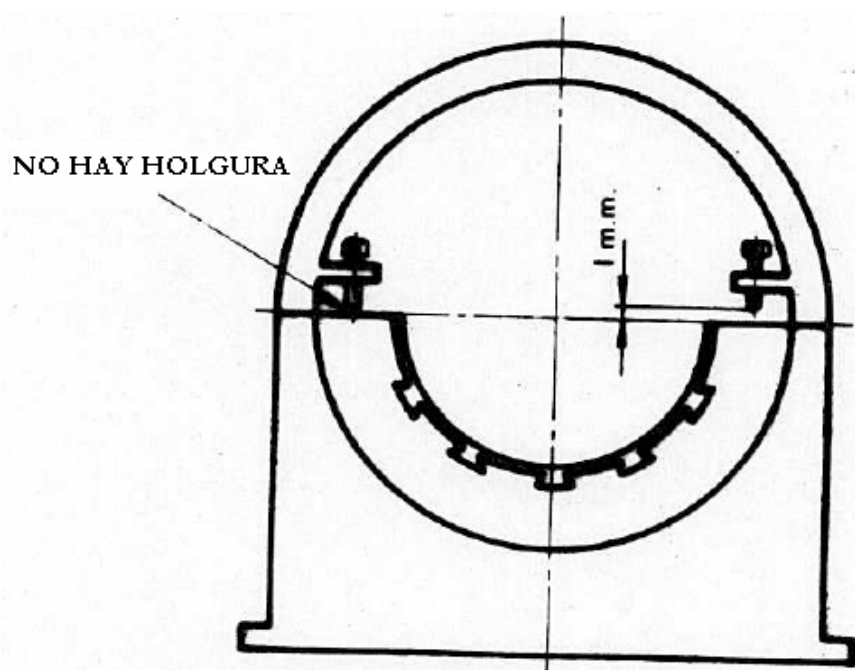
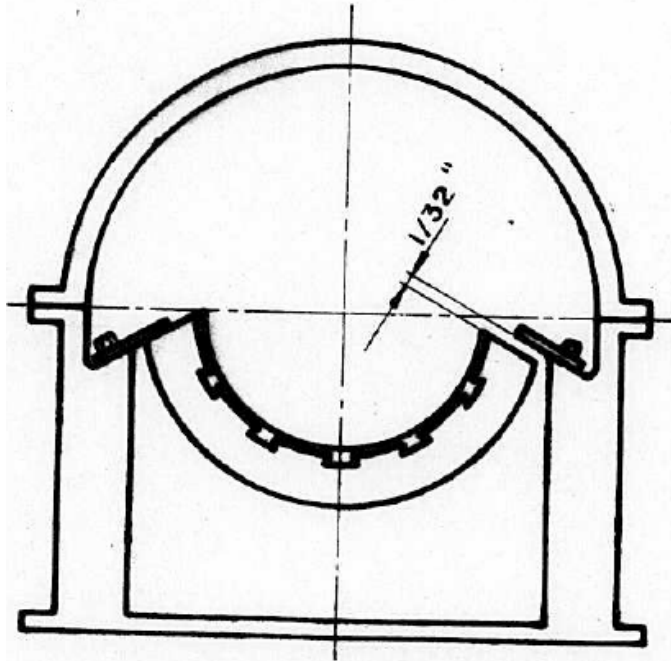


Figura 10. Posición de las planchas de tope para sujeción radial de las chumaceras



Rasqueteado de chumaceras o cojinetes

- Teóricamente el eje o gorrón solo debe apoyarse sobre el cojinete a lo largo de una generatriz en el fondo, pero en la práctica se admite que debe quedar con marcas de azul de Prusia, una superficie longitudinal de 30° .

Figura 11. Posición de apoyo del eje sobre el cojinete

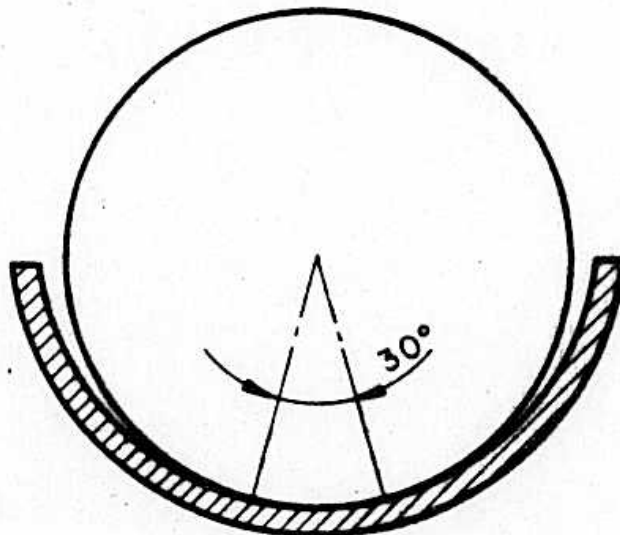
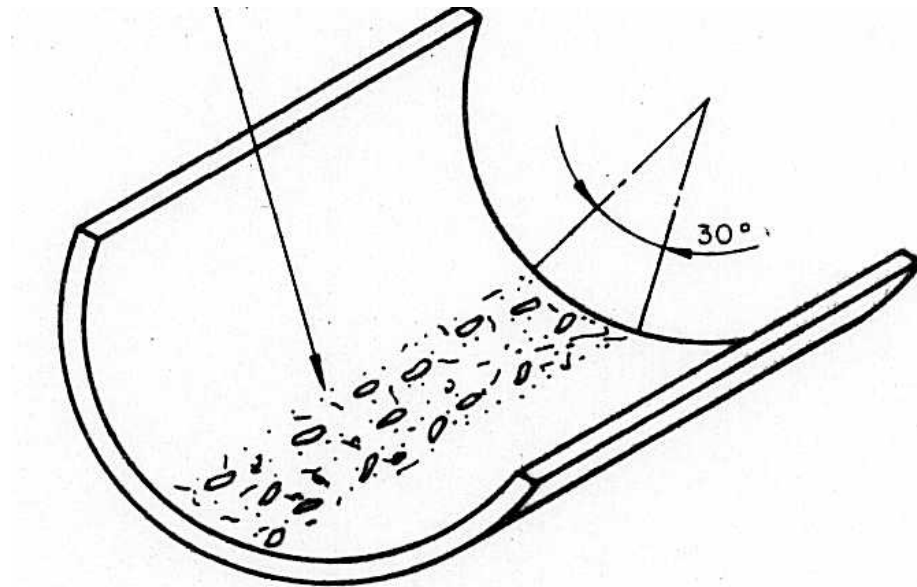


Figura 12. Marca por contacto entre eje y cojinete

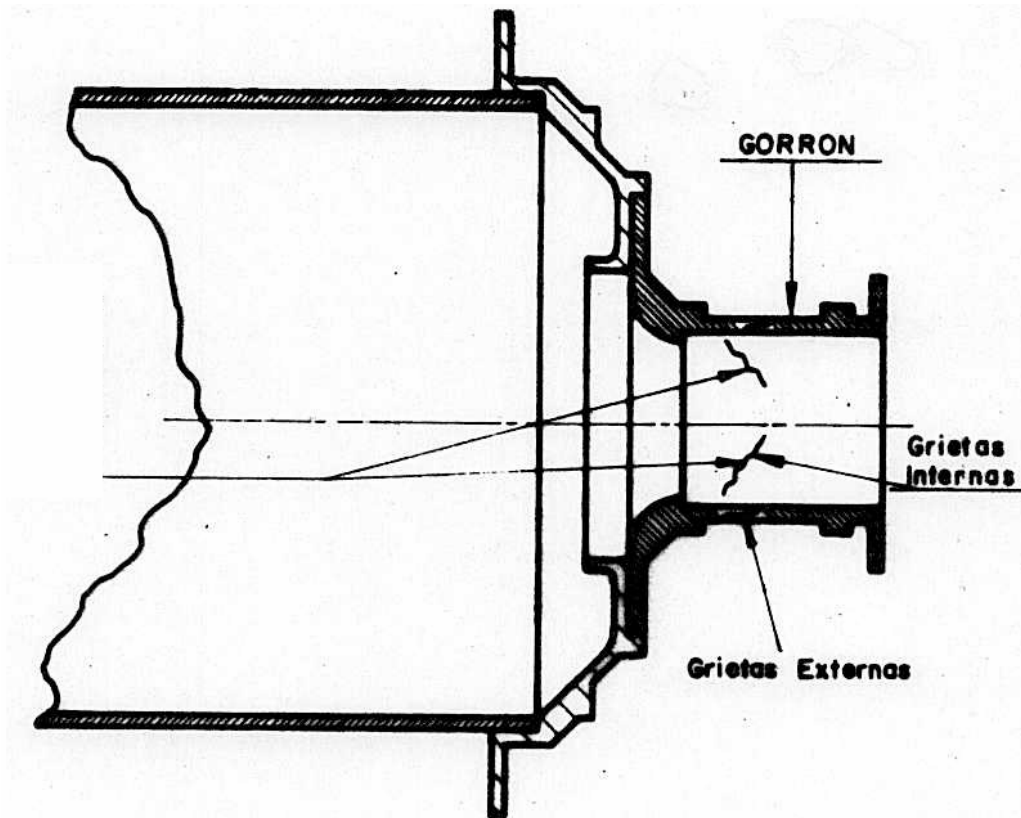


Manchas de azul de Prusia por contacto deslizante entre el eje y el cojinete.

- Observar amperaje del molino con carga.
 - Controlar giro normal de los aros de lubricación.
 - Verificar al tacto, moleteado interior de los aros.
- i) Controlar temperatura del gorron, lado alimentación y lado descarga**
- Controlar entrada de aceite en la chumacera.
 - Entrada agua de refrigeración.
 - Controlar cantidad en agua salida de refrigeración.
 - Controlar nivel de aceite chumacera y observar contaminación del mismo.
 - Observar pérdida de aceite por los sellos de la chumacera.
 - Accionar bomba de prelubricación antes de arrancar.

Figura 13. Gorron del molino

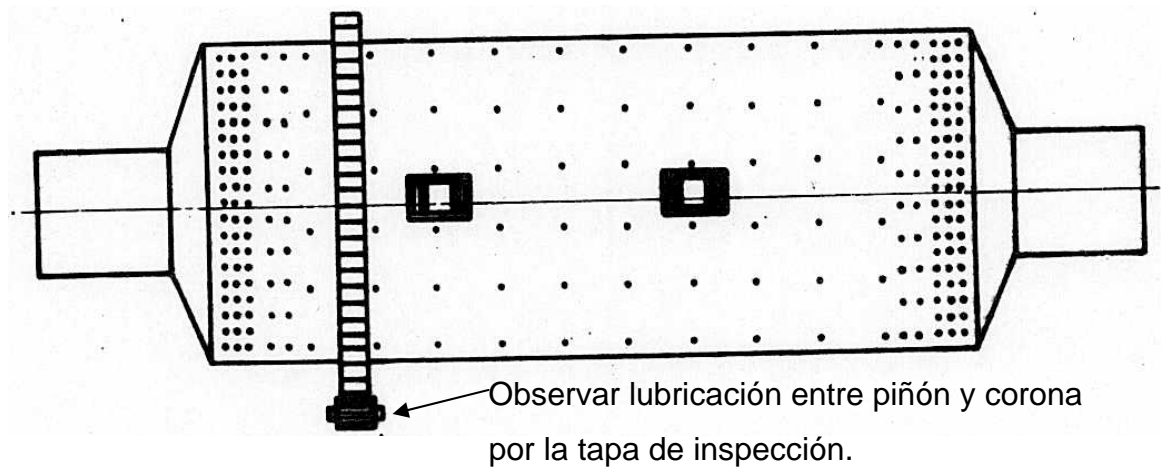
Cuando hay pérdida de aceite diario y no sale por los sellos, lo más probable es que salga a través de la grieta en el gorron.



- Revisar el gorron de entrada y salida minuciosamente por posibles grietas internas y externas.

Las externas se ven levantando la mitad de la carcasa y las internas se observan al cambiar el revestimiento interno del gorron.

Figura 14. Contacto entre piñón y corona del molino

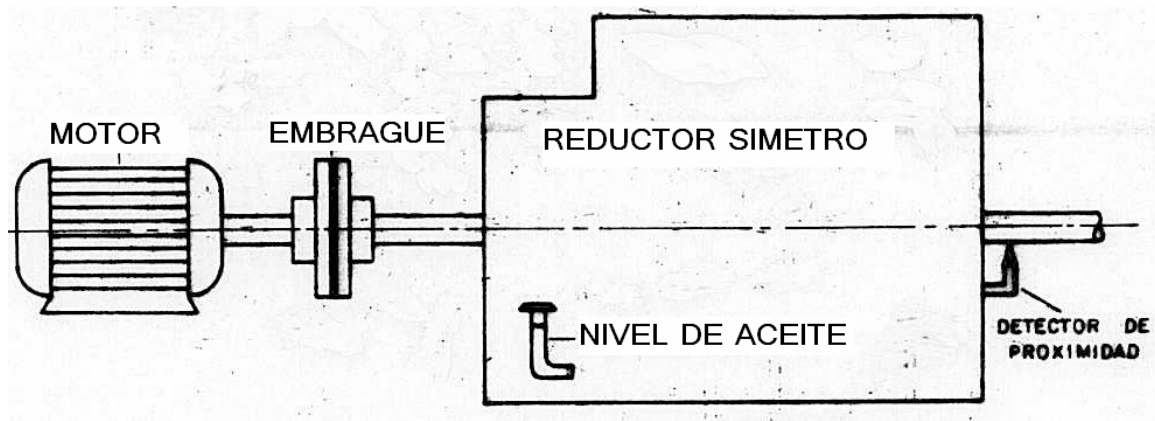


Controlar nivel de aceite en el carter de la corona.

j) Control a efectuar en sistema de lubricación por aspersion Farval

- Controlar presión de aire a la entrada de la bomba y presión hidráulica de ella misma.
- Controlar nivel de aceite del depósito.
- Purgar trampas de aire del sistema.
- Comprobar presión de trabajo del compresor.
- Controlar funcionamiento de las cuatro boquillas de inyección.
- Controlar presión de aire y aceite en las boquillas.
- Controlar posición del temporizador.
- Controlar tiempo de operación de la bomba para lograr la presión de funcionamiento.
- Controlar el funcionamiento de los termostatos para el control de temperaturas de aceite.
- Observar ruidos, vibraciones, nivel de aceite, tortillería, tensión de las correas. (Compresor Farval)
- Control de seguridades del sistema Farval.

Figura 15. Reductor simetro



k) Controles a efectuar en reductor simetro

- Verificar cada tres paradas del molino, la regulación del embrague.
- Observar desgaste de los raibestos y discos.
- Observar nivel de aceite del reductor.
- Observar fugas de aceite.
- Controlar temperaturas con la mano, ruidos, vibraciones, etc. Del reductor.
- Observar sellos de aceite del reductor.
- Comprobar el funcionamiento de la bomba del filtro depurador de aceite del reductor.
- Observar detectores de proximidad eje salida simetro.

k.1) Diario

- Verificar nivel de aceite carter caja principal.
- Verificar nivel de aceite carter eje alta velocidad.
- Verificar nivel de aceite carter eje salida baja velocidad.
- Escuchar con estetoscopio industrial ruidos anormales en la carcasa de alta velocidad y carcasa principal.
- Colocar la mano sobre el eje de baja velocidad y dar $\frac{1}{4}$ de vuelta sin levantarla para sentir posibles vibraciones anormales.
- Comprobar con pirómetro de contacto temperatura carcasa de alta velocidad. Medir sobre los rodamientos.

k.2) Semestral (con las tapas de visita abiertas)

- Sentir vibración en los anillos de guía (colocar el palo de madera rozando el aro).
- Observar posible oscilación de los aros de guía.
- Comprobar que el flujo de aceite se desborda a través de la tapa de sujeción de los rodamientos.
- Comprobar la temperatura de aceite de los cuatro cojinetes.
- Tomar muestras de aceite en el punto correcto para análisis espectométrico.
- Tomar muestras de aceite del fondo del carter para verificar si tiene agua (Prueba de plancha caliente).
- Medir excentricidad del eje de Torsión tomar la medida vertical y horizontal cerca del simetro.
- Anotar el amperaje del motor a plena producción.
- Observar juego axial del motor en la parada y el arranque.
- Parar el molino con uno de los seguros situados en los rodamientos.
- Parar el molino nuevamente con el flotador de aceite situado en la parte superior.

k.3) Anual

- Drenar el aceite y sustituirlo por aceite nuevo.
- Levantar la tapa para inspección general y colocar plástico lateralmente para evitar entrada de polvo.
- Galgar los rodamientos, observar pistas y rodillos.
- Inspeccionar los engranajes visualmente por posible pictin y tomar huella con cada uno, con papel transparente adhesivo y azul de prusia.
- Revisar todos los sistemas de seguridad.
- Verificar apriete de los pernos de anclaje (con el nivel en el punto de control).
- Comprobar nivel del eje de torsión.
Máxima desviación = 1,5 mm x 1mt.

- Medir aros guías e inspección visual de la superficie.
- Medir la posición del piñón de alta velocidad con relación a las dos ruedas que ataca.
- Revisar estado del sello del eje de torsión.
- Pintar todos los dientes de ruedas dentadas y piñones con pintura de secado rápido para chequeo posterior del contacto. Arrancar el molino y pararlo al minuto y medio máximo.
- Limpieza y lavado por aspersion con gas-oil. No debe usarse nunca estopa. Usar trapo de primera calidad sin hilachas.
- Limpiar canales de lubricación y orificios de goteo.
- Limpiar tubos de lubricación hacia los cojinetes.
- Retirar tapas de los cojinetes (rodamientos) para su limpieza interior.
- Comprobar apriete de pernos de fijación entre el núcleo y bandaje de las ruedas dentadas y rueda dentada de balance.
- Comprobar sujeción de las membranas (con martillo liviano) en rueda de balance. Verificar estado de las mismas. Posible oxidación y fisuras.
- Controlar holgura entre zapatas de contención axial de la rueda de balance. No debe ser mayor de 0,2 mm.
- Controlar altura del eje de torsión sobre bancada inferior (preferiblemente con el molino vacío).
- Controlar el apriete de los pernos de las membranas de los acoplamientos de baja y alta velocidad.
- Retirar tapa del cojinete de antifricción de la rueda de balance para su limpieza interior.
- Levantar la tapa del eje de alta velocidad para su limpieza.
- Limpiar bien el fondo del carter comprobando minuciosamente que no queda ningún cuerpo extraño.
- Cambiar el intercambiador de calor o desmontarlo para verificar que no hay obstrucción.
- Bajar la carcasa y atornillarla.

- Llenar el aceite necesario en: Cajas de rodamiento de baja velocidad, caja de cojinete de la rueda de balance y caja del eje de alta velocidad.
- Llenar de aceite nuevo carter principal observando que el aceite cae en la zona de la rueda de balance y que debe llegar al diámetro primitivo de esta rueda dentada. Aproximadamente la mitad dientes rueda balance.
- Verificar que todos los niveles ópticos tienen el aceite hasta la mitad del diámetro.
- Poner en funcionamiento la bomba de pre-lubricación y verificar el regadío sobre los engranajes.
- El acople de membranas debe chequearse una vez al año. Limpiarse, pintar con anticorrosivo y llenar de grasa exteriormente para protegerlo.
- Inspección del nivel de la caja inferior con regla especial y nivel de precisión 0,04 mm por 1 metro.
- Revisar la bomba de filtrado de aceite y cambiar el elemento.

MUY IMPORTANTE: al echar el aceite debe filtrarse a través de una tela limpia ya que en ocasiones los tambores tienen impureza.

Estas instrucciones deben ser supervisadas directamente por el ingeniero del Departamento Mecánico.

*No delegar la revisión interna en los supervisores.

3.3 Elaboración de programa de mantenimiento

La programación en un departamento de mantenimiento es vital para el desarrollo de la labor que se ejecuta, pues de esta manera se puede tener control de la ejecución del programa de mantenimiento y dependiendo de si se cumple con dicha programación así será de eficiente el uso de los recursos. El plan de trabajo no es más que el cronograma de las actividades que se deben realizar, determinando los procedimientos de mantenimiento mecánico a molinos. Esto es importante, pues de esta manera se preparan los recursos que se necesitan para la realización de las actividades correspondientes. El objetivo general debe ser conseguir la realización del trabajo en el tiempo más corto posible con la mano de obra disponible. En los siguientes párrafos encontrará de manera definida los procedimientos a seguir para el mantenimiento mecánico a molinos, así como el objetivo, base o sustentación del método de cada procedimiento y el desarrollo del mismo.

3.3.1 Control y evaluación de la alineación del molino

Objetivo y alcance, el objetivo de control es el de verificar el paralelismo del eje de torsión con el eje del molino, con los ejes del reductor simetro, así como con el motor principal.

Este procedimiento consiste en presentar métodos para efectuar el control de la alineación del molino horizontal (motor/reductor/molino).

Con un molino bien alineado, se tiene la ventaja que el mismo no se verá sometido durante la marcha a tensiones nocivas de flexión, ni gravitará en algún apoyo una parte mayor que la prevista de la carga del molino. Lo que producirá tales molestias como, por ejemplo:

daños prematuros en cojinetes, en acoplamientos de membranas, y en casos más severos en el reductor o transmisión. Además, un molino sin alineamiento correcto, exigirá un consumo de fuerza que excede de lo normal. Por lo tanto, debe realinearse el molino a tiempo, para situar los centros otra vez en una línea recta.

Bases o sustentación del método, Uno de los motivos principales por el cual se pierde la alineación de un molino, es debido a hundimientos causados por falla en las cimentaciones, o por desgastes irregulares en los soportes (o cojinetes) del molino, motor, transmisión y/o reductor.

Dentro de los métodos utilizados para el control y evaluación de la alineación del molino, existen los siguientes:

- Alineación con alambre de piano.
- Con nivel óptico de precisión.
- Mediante palancas y micrómetros.

En los dos primeros, se examina el molino en base a nivelaciones verticales y horizontales (o laterales). Después de determinar y requerir en su caso de corrección de la alineación, existen factores que se deben tomar en cuenta: El juego entre los cojinetes y el muñón del molino, el engrane de los dientes del tren de engranajes, en caso de transmisión de piñón-corona, y en caso de tener reductor colineal, se deben observar los acoplamientos.

Desarrollo del método

Equipo y herramientas a usar

- Alambre de piano
- Nivel óptico de precisión.
- Indicadores de carátula o micrómetros.

Periodicidad

El alineamiento se deberá realizar cada dos años como mínimo, o cada vez que se detecte una irregularidad en su funcionamiento, como daños prematuros en cojinetes de chumaceras del molino, en los engranes del reductor, ajustes en el reductor, etc.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

El control de alineación (motor/reductor/molino) de un molino horizontal, se puede realizar con cualquiera de los métodos siguientes:

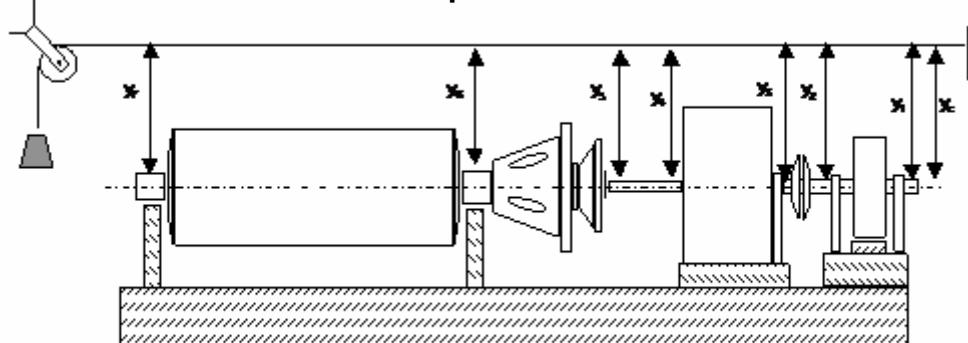
Control de alineación mediante teodolito o cuerda de piano

Este método se utiliza cuando no hay un reductor para giro lento a disposición. Se efectúa el control en el plano vertical, valiéndose del teodolito y midiendo contra caras mecanizadas con medidas diametralmente conocidas, en los tres componentes: motor/reductor/molino.

Efectuar el control en el plano horizontal del mismo modo, midiendo desde una cuerda de piano extendida, o desde el eje trazado por el teodolito, ver figura 16, los valores se anotan en la forma 16.

Con respecto a tolerancias, ver párrafo de límites condenatorios y permisibles.

Figura 16. Puntos de medición para alineación del molino



Control de alineación mediante palancas y micrómetros

Este método se utiliza cuando el molino tiene giro lento, cuenta con reductor simetro y el alineamiento de motor reductor se realiza por separado, por los métodos tradicionales.

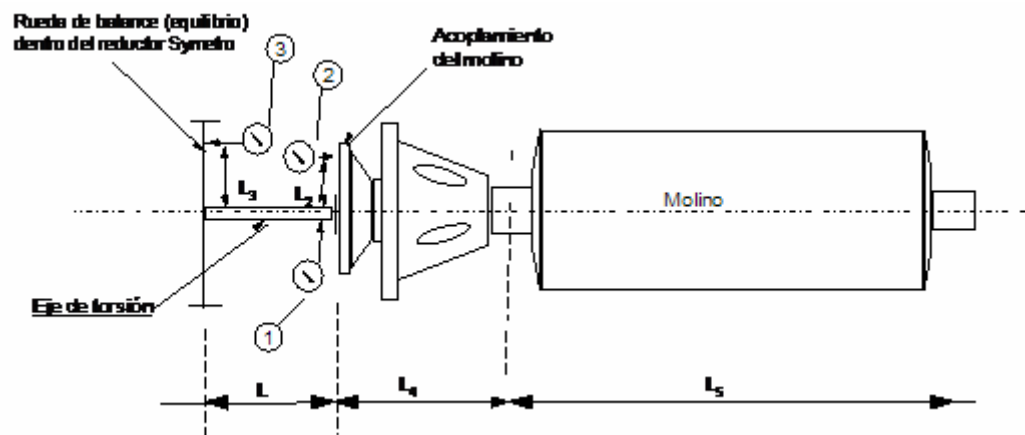
En la figura 17, se muestra como se efectúa el control.

Se fabrican dos palancas L_2 y L_3 , se sujetan alrededor del eje de torsión en el mismo nivel, ver figuras 18 y 19.

Como consecuencia de espacio, la palanca L_3 , se puede montar en el lado del motor de la chumacera intermedia.

Enseguida se monta en cada palanca un micrómetro con un área de medición de 10 mm, como mínimo. Las manecillas de los micrómetros (o indicadores de carátula), deben medir tan lejos del centro como sea posible y en un punto de medición estable, por ejemplo, los extremos de los pernos del acoplamiento, siempre que estos sean planos, de otra manera entre los pernos del acoplamiento.

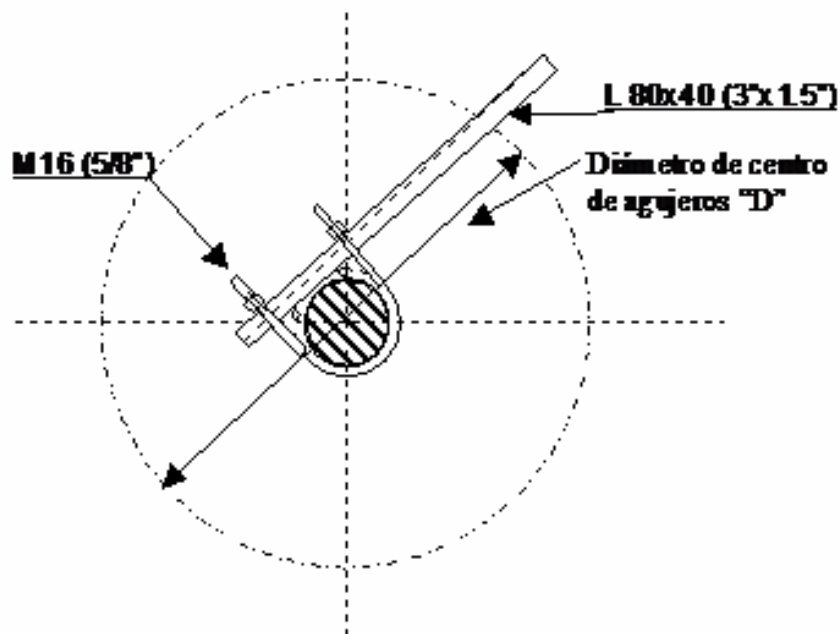
Figura 17. Control de alineación mediante palancas y micrómetros



- | | |
|----------------|--|
| Micrómetro (1) | Mide solamente la excentricidad del eje de torsión junto al acoplamiento del molino. |
| Micrómetro (2) | Mide la paralelidad entre la línea de eje de torsión y la del molino. |
| Micrómetro (3) | Mide la paralelidad entre los ejes intermedios y el eje de torsión. |

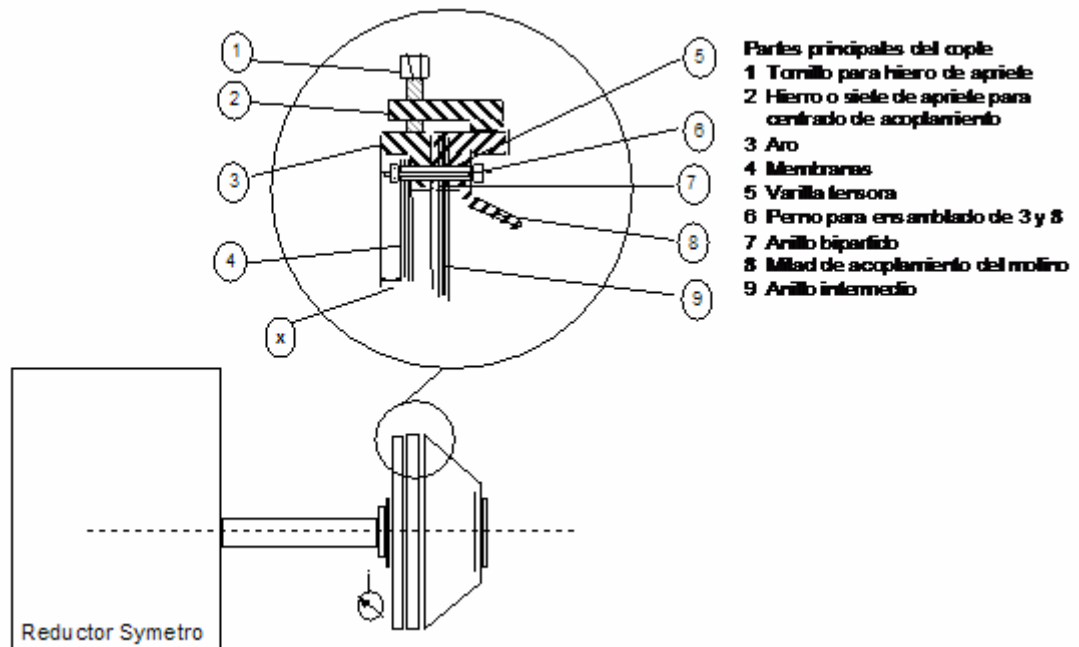
Antes de iniciar las mediciones, se deberá de girar como mínimo una vuelta, para asegurar que los micrómetros estén en contacto en toda su periferia, o si es necesario realizar un ajuste. Controlar además que el eje de torsión se centre en el molino.

Figura 18. Palanca para eje de torsión



Palanca para eje de torsión en el molino y cople de membranas.

Figura 19. Partes principales del cople



Medición práctica

Girar el eje de torsión hasta que los micrómetros (2) y (3) se encuentren en la posición superior. Leer las indicaciones de los micrómetros y anotar los valores en la forma 17.

Girar el eje de torsión 90° en el mismo sentido de rotación que antes, de manera que los micrómetros apunten hacia uno de los ejes intermedios (A-D). Leer la indicación y anotar los valores.

Girar 90° el eje de torsión hasta posicionarlo apuntando hacia abajo, y anotar los valores.

Girar nuevamente 90° de manera que los micrómetros apunten hacia el otro eje intermedio (B-C), leer la indicación y anotar los valores, de modo que las cuatro posiciones hayan sido medidas y anotadas.

Interpretación de resultados

Con base a las medidas tomadas, y después de comparar con su tolerancia, se determina, que movimientos o actividades se deberán realizar para efectuar las correcciones pertinentes, en caso de requerirse.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de maquinaria. Puesto que se requiere trabajar muy cerca de la misma, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad.

Es muy importante enterar al personal de operación del molino, así como solicitarles que participen en los movimientos del molino.

Límites condenatorios o permisibles

Los resultados de las mediciones deben utilizarse para controlar que la alineación del motor/reductor/molino se encuentra dentro de la tolerancia exigida y caso contrario, se deberá investigar cuales son las fallas de alineación en cuestión, y remediarlas.

El molino deberá estar alineado con una tolerancia de ± 0.25 mm (ver procedimiento 3.3.2). En caso de estar fuera, se deberá corregir tan pronto sea posible.

Las tolerancias de los micrómetros en las que deben medirse son:

Micrómetro (1)	± 0.25 mm
Micrómetro (2)	$2 \text{ mm/m} = 4 \times L_2$ (donde L_2 está en metros)
Micrómetro (3)	$0.4 \text{ mm/m} = 0,8 \times L_3$ (donde L_3 está en metros)

Las tolerancias deben interpretarse como la variación máxima en una rotación del eje de torsión.

Observaciones

El control de la alineación es de importancia muy relevante, ya que de esto puede detectarse fallas incipientes, que pudieran conducir al equipo a un mal funcionamiento, o a una falla mayor.

3.3.2 Control de la alineación del cople de membranas de baja velocidad del molino horizontal

Objetivo y alcance, tener alineado el cople de membranas de baja velocidad del molino para evitar daños en el mismo y obtener la velocidad de operación requerida.

Bases o sustentación del método, el cople de membranas de baja velocidad es un elemento muy importante del molino, el cual sirve para transmitir el movimiento del molino, así como para absorber algunos desalineamientos y sobrecargas de impacto pequeñas.

La flecha de torsión va unida a las membranas (normalmente por remaches), éstas a su vez se unen por medio de un aro al medio cople que une con el molino, como se puede ver en la figura 19.

En caso de que durante la revisión general mayor del molino se detectaran irregularidades, éstas deberán comprobarse mediante una revisión con más detalle siguiendo éste método de la alineación del cople para su posterior ajuste, en caso de ser necesario.

Este método solo se puede utilizar en coples de membranas en buenas condiciones, o sea si el cople presenta una corrosión (o herrumbre) excesiva, se deberán cambiar las partes del cople dañadas, y posteriormente realizar el alineamiento utilizando este procedimiento.

Desarrollo del método

Equipo y herramientas a usar

- Indicador de carátula (reloj indicador o micrómetro)
- Palanca o dispositivo (barra) para medición (ver figura 18)
- Regla recta
- Vernier

Corrección (solo en caso de ser necesario)

- Rima
- Herramienta para aflojar y apretar los tornillos

Periodicidad

El control de la alineación del cople, se realiza después de haber encontrado una desviación en la revisión mayor, lo cual se realiza cada año.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

Planicidad de membranas

Para comprobar que las membranas están libres de esfuerzos se deben examinar primero si se encuentran planas, midiendo la distancia “x” (ver figura 19) en toda la circunferencia, en cada tornillo, tanto en el interior como en el exterior, utilizando una regla recta y un vernier.

Este paso detecta inmediatamente si hay algo mal, lo cual se comprobará con una medición más precisa, de excentricidad y paralelismo de ejes.

Excentricidad del eje de torsión

Luego, por medio de un micrómetro, se revisa si el eje de torsión muestra señales de excentricidad, el cual no debe exceder de ± 0.25 mm, lo que equivale a una desviación total de 0.5 mm en el micrómetro, el centrado se ajusta de la siguiente manera:

Atornillar los cuatro hierros de apriete o sietes en la periferia de la mitad de acoplamiento a una distancia entre si de 90° . Desplazar, mediante los tornillos, el aro en relación a la mitad de acoplamiento, hasta obtener una excentricidad del eje inferior a los ± 0.25 mm. Los pernos que unen el aro deben estar aflojados durante el desplazamiento.

Paralelismo entre ejes (torsión y molino)

Este control solo se puede realizar cuando se puede girar el molino lentamente, ya sea con el motor de velocidad variable, o con reductor de giro lento.

Se monta una palanca según se muestra en la figura 18, en la cual en su extremo se monta un medidor o indicador de carátula, para medir el paralelismo entre la línea del eje de torsión y del eje del molino.

Para la medición, se gira el molino y se revisan las lecturas a cada 45° , y con esto se detecta hacia donde y cuanto es la desviación, y se compara con la tolerancia, que no debe ser mayor a 2 mm por cada dos veces el diámetro "D" entre centros de agujeros de los barrenos de unión de medios coples.

Corrección de la alineación

Para la realización de los trabajos de corrección, se requiere, en caso de no poderlo realizarlo como se menciona en el punto Excentricidad del eje de torsión, se tendrán que revisar los diámetros de los pernos o tornillos que unen el aro de membranas con el medio y cople del molino, para medir el diámetro del mismo, y del agujero, para mediante una rima agrandar el agujero, y realizar el alineamiento.

Después de que se ajuste el centrado del eje de torsión, es preciso que se revise siempre la holgura de flancos de rotación del tren de engranajes de alta velocidad. Así como es posible que sea necesario ajustar la tensión de los resortes de la chumacera flotante.

Interpretación de resultados

Los resultados que se deben tener bajo este procedimiento, deben ser positivos, y consiste principalmente en tener el eje de torsión alineado de acuerdo a especificaciones.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de una máquina. Puesto que se requiere trabajar muy cerca del mismo, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad.

Es muy importante enterar al personal de operación del molino, así como solicitarles que participen en los movimientos del molino.

Límites condenatorios o permisibles

Para la excentricidad se tiene que como máximo se permiten ± 0.25 milímetros. (ver figura 18)

Y para el paralelismo entre ejes, se tiene una tolerancia máxima de 2 mm por cada dos veces el diámetro entre barrenos de unión de medios coples, Por ejemplo, si el diámetro es de 2 mts., la tolerancia será de 4 mm. Cuando se tenga una alineación fuera de tolerancia, se deberá corregir tan pronto sea posible.

Comentarios y observaciones

Toda alineación de maquinaria requiere de alta precisión, por lo cual deberá hacerse con personal altamente calificado, y con bastante experiencia, por lo que en ocasiones, si no se dispone en planta con personal calificado, se deberá contratar o solicitar a Dirección Técnica el servicio.

Algo que se debe tomar en cuenta es que el micrómetro o reloj indicador, se deberá soportar en una estructura firme, la cual no deberá tener movimiento, para tener precisión en las mediciones.

3.3.3 Revisión general mayor del reductor simetro

Objetivo y alcance, presentar de una manera clara los diferentes puntos a inspeccionar, así como los ajustes que se deben llevar a cabo para la buena marcha del reductor simetro.

Bases o sustentación del método, como toda máquina rotatoria está sujeta a desgastes con el paso del tiempo, tal es el caso del reductor simetro, es necesario inspeccionarlo periódicamente de tal manera que se tenga control del mismo, hacer los ajustes pertinentes, y lograr con esto una mayor durabilidad de sus partes, evitando paros no planeados, así como averías o desgastes anormales.

La base principal consiste primordialmente, en efectuar mediciones y comparaciones con las mediciones originales (y/o últimas) del reductor en cuestión y evaluar y/o corregir cualquier diferencia.

Este procedimiento cubre los siguientes puntos:

Vibraciones

Se efectúa un análisis de vibraciones, para detectar síntomas anormales como: baleros dañados, desalineación, engranes defectuosos, tornillería floja, base (o cimentación) con daños, etc.

Alineación y nivelación

Se revisa que el reductor funcione dentro de tolerancia (motor/reductor, reductor/molino), para evitar daños en engranes, baleros, etc.

Por ejemplo, se controla la alineación y nivelación de precisión de la caja del reductor (o marco de fondo), con el fin de revisar que las generatrices inferiores de todos los orificios interiores taladrados de las cajas de los cojinetes se encuentren exactamente horizontales. Además de la nivelación del eje de baja velocidad (o eje de torsión).

Aceite

Se hace una revisión de las condiciones del aceite, su calidad, nivel y temperatura, así como su funcionamiento de bomba y filtro en caso de tenerla.

Sistema de seguridad

El reductor tiene varios sistemas de seguridad, algunos mecánicos/eléctricos y otros además mecánicos/electrónicos, a los cuales se les revisa su funcionamiento y calibración.

Engranes

Se hace una revisión de la posición axial de los engranes, holgura (*backlash*) de flancos de rotación, y en las caras de trabajo de los dientes de los engranes, se revisa su superficie, contacto y estado de perfiles.

Además se chequea el estado del anillo guía, tanto en sus claros laterales, como en su condiciones de superficie.

Desarrollo del método

Equipo y herramientas a usar

- Calibrador de lánas
- Medidor/analizador de vibraciones
- Medidor (comprobador o reloj) de carátula
- Regla recta
- Regla recta especial

- Nivel de burbuja de 0.04/1000 mm/m
- Nivel de burbuja de 0.10/1000 mm/m
- Cinta adhesiva transparente
- Pintura (puede ser al oleo) para marcar color azul de prusia o rojo
- Linterna o lampara de mano de pilas.
- Manta

Periodicidad

La inspección general, se debe efectuar por lo menos una vez al año, con personal capacitado, por lo que se deberá consultar con Dirección Técnica para determinar la persona que hará la inspección.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

Inspección visual (con molino en marcha o en operación)

La inspección visual de la marcha del reductor, es la más simple e importante que se debe hacer para saber las condiciones del reductor, siendo las básicas las siguientes:

- Primero se inspecciona el nivel de aceite en el carter, en la caja de cojinete del eje de alta velocidad y en la caja para el cojinete de equilibrio en la flecha de salida.

Hay que tomar en cuenta que cuando el reductor está en marcha, el aceite se reparte en todo el reductor, y por consiguiente la superficie del aceite en el reductor se hallará un poco por debajo de la marca. Una vez fuera de operación se revisará de nuevo el nivel de aceite. Quitando las tapas de los baleros, (teniendo cuidado de que no salpique aceite hacia el exterior), para revisar el flujo de aceite en los rodamientos, verificando que sea constante y suficiente.

- Ver, oír y tocar para comprobar toda clase de anomalías. Reportar si el sonido del reductor no es normal.
- Examinar las juntas de las bridas y la caja de prensaestopas para ver si hay aceite escurrido o fugas.
- Revisar el apriete y que tenga toda la tornillería y pernos de tapas de inspección y cimentación.
- Revisar la operación del sistema de seguridad, y comprobar su funcionamiento. Esto se pudiera realizar (la prueba de paro), cuando se vaya a realizar el paro del molino para continuar con la revisión mayor.

Inspección de control con molino en marcha (o en operación)

Esta inspección se realiza con equipo de medición, y es tan importante como la efectuada visualmente, revisando (ver figura 20) principalmente:

Vibraciones

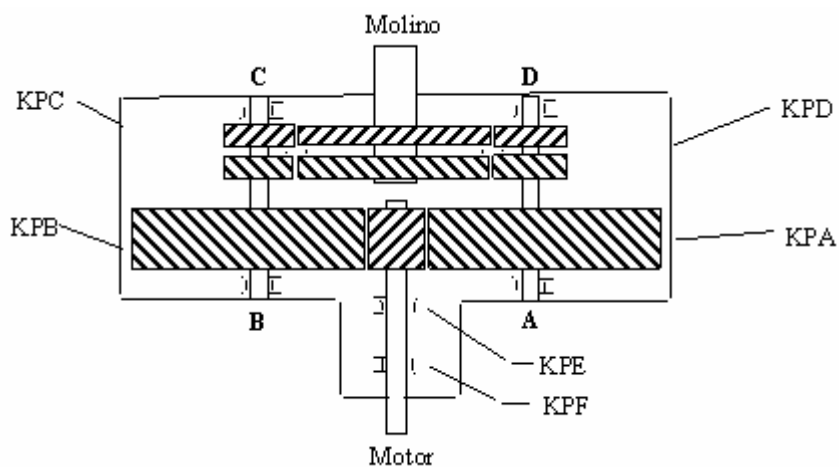
Efectuar medición del nivel de vibración en los cojinetes de alta velocidad y eje intermedios, registrando las lecturas.

Los resultados obtenidos se grafican en un espectro en frecuencia, donde la ordenada es la aceleración (m/seg^2) o velocidad (mm/seg), y en la absisa se gráfica la frecuencia (Hz o CPM).

Eje o flecha de baja velocidad (eje de torsión)

Revisar la excentricidad de la flecha o eje de baja velocidad, y anotarla en la forma 3.3.3, donde una desviación mayor a ± 0.25 mm indicará que requiere de su corrección, ver procedimiento 3.3.2.

Figura 20. Inspección de control con molino en marcha



Inspección de control con el molino parado (fuera de operación)

Aceite

Se inspecciona el nivel de aceite en el carter, en la caja de cojinete del eje de alta velocidad (E-F), en las cajas de los cojinetes A, B, C y D para ejes intermedios y en la caja para el cojinete de equilibrio en la flecha de salida, así como en el carter de aceite del marco de fondo.

Es de suma importancia mantener correcto el nivel de aceite. Si es insuficiente puede causar daños en el reductor, en tanto que un nivel demasiado alto dará lugar a un calentamiento exagerado, y con ello a pérdida de energía.

Medir la temperatura del aceite en el cárter y en las cajas de los cojinetes. Durante la marcha normal, la temperatura del aceite queda superior a la temperatura del aire o ambiente alrededor del reductor, en los grados siguientes:

25-30 °C en el carter del marco de fondo

30-45 °C en las cajas de los cojinetes intermedios

35-45 °C en la caja del cojinete del eje de alta velocidad

La temperatura del aceite nunca debe ser inferior a 5°C, puesto que al pasar por debajo de este límite, el aceite sería demasiado espeso para proporcionar una lubricación eficaz.

Revisar la calidad del aceite, enviando a analizar al laboratorio una muestra para determinar que no haya desmerecido en su calidad, y que contenga los aditivos de extrema presión así como antiespumantes, etc.

Control de la inclinación y posición del eje de baja velocidad o eje de torsión

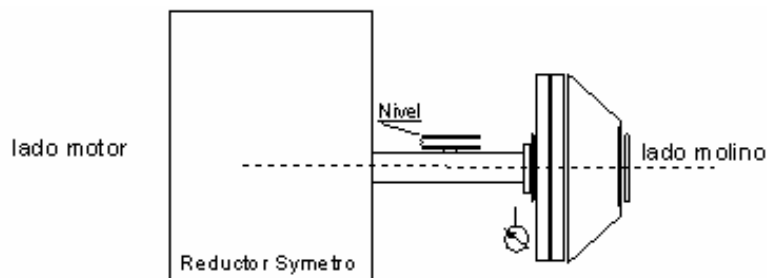
Para la determinación de la inclinación del eje de torsión se requiere de un nivel de burbuja de 0.10 mm/m, asegurando que el eje de torsión, se encuentre libre de pintura polvo o suciedad, se coloca el nivel en la parte central del eje (ver figura 21), y la inclinación se compara con las mediciones que se hicieron en la última inspección, registrando dichas lecturas en la forma 3.1. La tolerancia en la inclinación del eje de torsión es cero.

Para la revisión de la excentricidad, se monta el micrómetro debajo del eje, como se muestra en la figura 21 (con el fin de tener un punto más rígido de sujeción como lo es el marco de fondo). Se arranca el reductor y se lee la altura del eje de torsión durante servicio, y se compara con la medida en la inspección anterior, para tomar alguna acción si es necesario.

Si la posición del eje de torsión difiere de su tolerancia, se deberá revisar detenidamente la posición entre el molino, reductor y motor, y programar su inmediata corrección.

*Anotar resultados y comentarios.

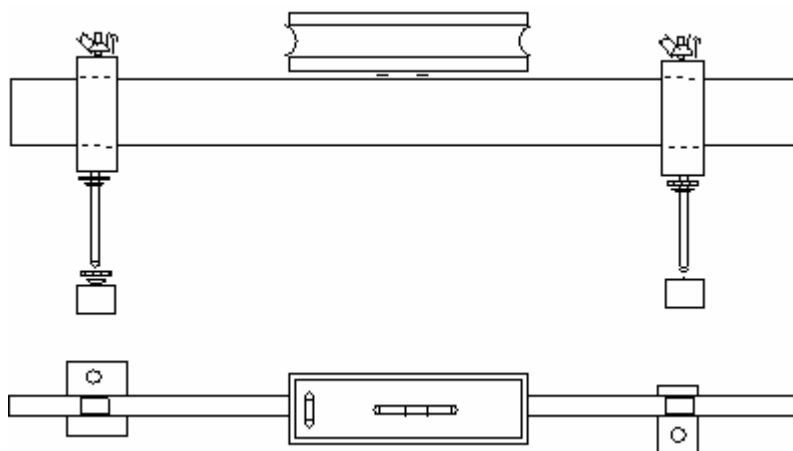
Figura 21. Posición entre molino, reductor y motor



Control de la alineación del reductor

El control de la alineación del marco de fondo del reductor se efectúa por medio de una regla recta especial. Ver figura 22.

Figura 22. Control de la alineación del reductor



En la placa superior del marco de fondo hay cuatro puntos de control KPA, KPB, KPC y KPD (ver figura 20), y además la caja de cojinetes E-F va provista de dos salientes alisados KPE y KPF que se utilizan en las mediciones a hacer con la regla recta y nivel de precisión de burbuja.

Antes que se proceda a la medición, se quitan los tapones protectores de los puntos de control, y se ajusta la regla recta especial (en cada suministro montado, se suministra una regla larga y una corta con sus respectivos niveles de precisión ver figura 22) de acuerdo a lo siguiente:

Esta regla especial, está dotada de un nivel de precisión de burbuja, normalmente de 0.04/1000 mm/m, y dos soportes o consolas, en las cuales se puede fijar un pie ajustable que remata en una bola. La regla recta viene con dos pies cortos y dos largos, sin embargo solo se utilizan los pies largos para las mediciones en los puntos de control (los cortos se utilizan en el montaje).

Antes de usar la regla es preciso ajustarla de forma siguiente:

Sujetar las consolas o soportes desplazables por tornillos en la regla recta manteniendo con una distancia entre ellas que corresponda a la distancia entre el medio de los dos puntos de control cuya posición se desea controlar. Se debe cuidar además que el nivel de burbuja se sitúe en el medio entre las consolas.

Colocar la regla recta sobre los bloques de ajuste, de modo que la bola reposa en el tornillo de ajuste del bloque, mientras la bola reposa en el bloque.

Desplazar ahora la burbuja del nivel por medio del tornillo de ajuste en el bloque.

Volver luego la regla de modo que la bola repose en el bloque y la bola en el tornillo de ajuste. Si por ello el nivel se desplaza de la posición media, se puede volver a centrarla girando la bola y el tornillo de ajuste uniformemente y en el mismo sentido, el cual dependerá de la posición de la burbuja.

Volver otra vez la regla de modo que vuelva a la posición mostrada en el croquis y corregir el nivel de precisión, como ya citado. Ahora se giran igualmente tanto la bola como el tornillo. Continúe ajustando hasta que la burbuja permanezca en la posición media cuando se vuelva la regla.

Después de cada desplazamiento o ajuste de las consolas o soportes en la regla recta, ésta debe ser controlada otra vez, y ajustarse de la manera descrita.

Para examinar si el marco de fondo del reductor, se ha desplazado en relación a su posición primitiva, sin que haga falta desmontar el reductor, se mide la posición de cada par de puntos y de los salientes de control (con la regla recta y nivel de precisión), para luego comparar el resultado con las medidas que se hicieron y anotaron en la última inspección.

Si por estas mediciones se desprende que el marco de fondo ha cambiado de posición (pudiendo deberse a eventuales asentamientos de la base), hay que comprobar el contacto entre los dientes del tren de engranajes de gran velocidad, y si no está como se debe, hay que avisar a Dirección Técnica para proceder a efectuar su corrección.

Inspección de la cara de los dientes

Cuando presenten las caras o flancos de presión de los dientes, marcas de presión o picaduras (o *Pitting*), esta irregularidad se registra y se anota, para lo cual deben estar limpios, se aplica (o unte) una mano (capa de pintura) fina de color de marcado (pudiera ser pintura al oleo color azul de prusia), se coloca una cinta adhesiva transparente sobre el diente coloreado, en donde se imprimen las imperfecciones, que luego se desprende la cinta adhesiva transparente y se coloca en un cartón que se archiva junto con el reporte para comparar con la siguiente revisión.

No olvidar de que deben se los flancos o caras de dientes de presión o trabajo en el sentido de rotación actual. A derechas o a izquierdas, visto desde el motor.

Inspección del contacto de los dientes

Al igual que en la inspección de la cara de los dientes, se unta con una capa delgada de tinta para marcar algunas caras de trabajo de dientes del piñón. Se gira inmediatamente el piñón media vuelta (en el sentido de rotación actual del molino), con lo que se traslada tinta para marcar del piñón a las caras de los dientes de las ruedas intermedias. Se gira de nuevo media vuelta para atrás de manera que sea factible observar la mancha en los dientes de las ruedas intermedias.

Se toman a continuación, una impresión de la mancha dejada en las ruedas intermedias, utilizando para ello una cinta adhesiva transparente (debe tener el ancho adecuado al ancho y longitud del diente), frotando cuidadosamente la cinta con un dedo a fin de obtener contacto perfecto con la superficie de la cara del diente.

Se quita la cinta adhesiva del diente, y con sumo cuidado se pega en un papel blanco.

Se efectúa el control en cuatro lugares de la rueda intermedia, equidistantes 90° entre cada posición.

Si la alineación del reductor es correcta, las tiznaduras o manchas en las ruedas intermedias deberán indicar que hay contacto en todo el ancho de la rueda en las cuatro posiciones para ambas ruedas intermedias.

Control del ajuste axial de las ruedas (ejes) intermedios

Para mantener el correcto engranaje de los dientes del juego de ruedas de baja velocidad, es indispensable que el ajuste axial de los ejes intermedios coincida exactamente con la posición que tenían estos desde su montaje.

Esto se controla indirectamente por una medición de la posición axial de las ruedas intermedias y del piñón de alta velocidad.

Las medidas se comprueban mediante una regla recta y un calibrador de láminas o lánas, se anotan y se comparan las medidas con las obtenidas en la última medición, y si el resultado no corresponde a las medidas obtenidas, se deberá avisar a Dirección Técnica, para determinar el origen de esta diferencia.

Revisión de holgura (*backlash*) de rotación de dientes de engranes

Comprobar si hay holgura de rotación en los flancos de los dientes. Este método se realiza de la siguiente manera. (ver figura 23)

En un tren de ruedas dentadas fabricadas y montadas con la correcta distancia entre centros, siempre hay un juego entre flancos, lo que se puede medir con un calibrador.

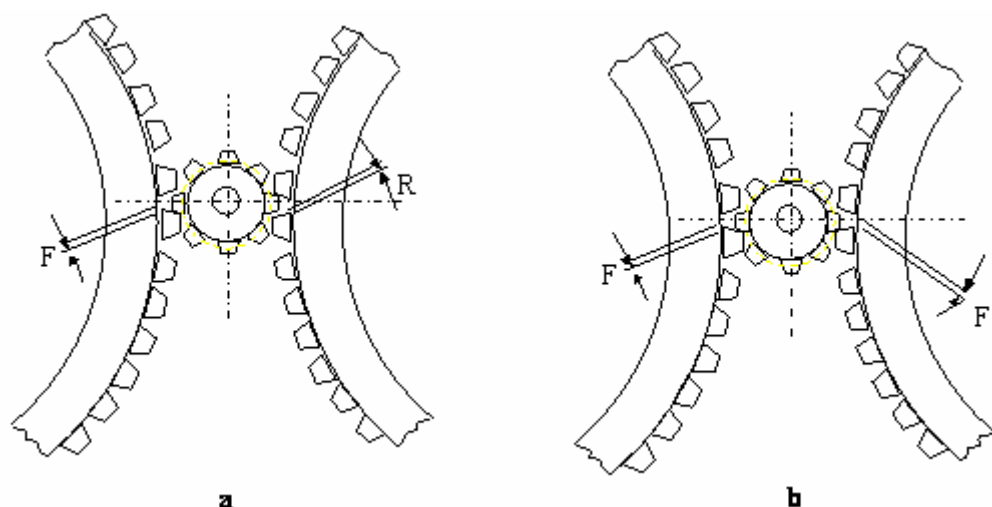
Como consecuencia de la construcción especial del reductor simetro (un piñón y dos ruedas intermedias), la holgura de flancos medida no es idéntica a la llamada holgura de flancos en rotación, lo que puede definirse como el movimiento libre que se puede apreciar entre los dientes en engrane cuando se gira el eje de marcha rápida hacia adelante y hacia atrás.

La figura 23a, representa las ruedas intermedias detenidas en una posición tal que la movilidad del piñón (el juego entre flancos, en rotación) solamente resulta igual a "R". La figura 23b muestra las dos ruedas intermedias detenidas en otra posición, y ahora el piñón se halla bloqueado, lo que significa que no se puede comprobar ninguna holgura de flancos en rotación, a pesar de la holgura entre flancos "F", lo que se desprendió de la medición con toda claridad.

Se mide la holgura entre flancos " F " que se anota para comparar posteriormente.

Para obtener la holgura entre flancos, en rotación las siguientes condiciones deben estar cumplidas:

Figura 23. Juego entre flancos del piñón en rotación



Los resortes de la chumacera flotante del eje de torsión deben estar tensados de modo que la rueda de equilibrio se encuentre en el nivel correcto.

El eje de torsión debe estar centrado.

Los ejes intermedios y el eje de torsión deben hallarse en plano horizontal.

La zapata del cojinete de equilibrio ha de encontrarse en posición horizontal.

Hay que tener presente, que debido a la fricción interior en las columnas de resortes (la fricción entre cada resorte de disco), la altura de la rueda de equilibrio puede variar un poco al estar parado el reductor, ya que después de un movimiento los resortes no se pondrán siempre exactamente en la misma posición de reposo.

Si entonces puede ser difícil comprobar un juego entre flancos, en rotación, esto puede deberse a la rueda de equilibrio, que a causa de dicha fricción entre los resortes, no se encuentra en su altura normal, a pesar del ajuste correcto de la tensión del resorte.

Si durante estos exámenes se comprueban cosas que indiquen alteraciones en la alineación primitiva del reductor, es preciso consultar a la Dirección Técnica.

Revisión de rodamientos (o baleros)

Revisar si existen marcas o desgastes irregulares en los rodamientos a rodillos, y comprobar su calibración de acuerdo al manual del fabricante de baleros.

Examinar si los rodamientos a rodillos están desgastados.

*Se deben notar resultados y comentarios.

Sistema de seguridad

Se deberán comprobar que los sistemas de seguridad (de niveles de aceite y de vibraciones) estén funcionando correctamente.

En los reductores con acelerómetro para vibraciones, se deberá revisar su calibración de acuerdo al instructivo del fabricante.

Interpretación de resultados

Los resultados que se deben tener bajo este procedimiento, deben ser positivos, y consiste principalmente en tener el reductor Simetro trabajando correctamente.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de una máquina. Puesto que se requiere trabajar muy cerca de la misma, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad.

Por seguridad para la inspección interior, se deberán emplear lámparas portátiles con cable, cuyo voltaje no exceda de 42 VCA, o de 65 VCC, provistas de vidrio impermeable, rejilla de protección y mango de lámpara sin interruptor. En lugar de las lámparas también se recomienda en lo posible utilizar mejor linternas de mano de pilas.

Al trabajar cerca del reductor ya sea abierto o cerrado, no se deben emplear luces de llama, soldar, ni fumar, debido a las cualidades explosivas de los vapores del aceite.

Durante la limpieza del reductor debe estar bien ventilado.

Límites condenatorios o permisibles

Los valores permisibles (o aceptables) y condenatorios son:

<u>Aceite</u>	-Con calidad al especificado (AGMA 250.04), limpio y sin espuma (ASTM D892 <i>Foam test</i>).
<u>Flecha de Baja velocidad</u>	-Excentricidad +/- 0.25 mm.
<u>Rodamientos</u>	-Juego dentro de las tolerancias del fabricante.
<u>Sist. de seguridad</u>	-Operando correctamente.
<u>Engranaje</u>	-Sin <i>pitting</i> (o picaduras), marcas de opresión y con ajustes de acuerdo a especificaciones originales.
<u>Alineación (eje de torsión)</u>	-Tolerancia +/- 0.25 mm.
<u>Nivel de Vibración global</u>	-Mayor o igual a 4 mm/seg.
<u>Temperatura del aceite</u>	-No debe ser superior a la del ambiente alrededor del reductor, en los grados siguientes: <ul style="list-style-type: none">• 25-30 °C en el carter del marco de fondo.• 30-45°C en las cajas de los cojinetes intermedios.• 35-45 °C en la caja del cojinete del eje de alta velocidad.

Comentarios y observaciones

En ocasiones es necesario inspeccionar un reductor simetro sin giro lento, y esto se remedia, realizando los giros manualmente, colocando un brazo de palanca en la mitad del acoplamiento en el eje de alta velocidad.

Durante la revisión, en todo momento, se debe comprobar el apriete de todos los pernos y tornillos.

La revisión mayor de los reductores Simetro, requiere efectuarse con personal altamente calificado, y con bastante experiencia, por lo que en ocasiones, si no se dispone en planta con personal calificado, se deberá contratar o solicitar a la Dirección Técnica el servicio, para que ellos asignen a un proveedor externo.

Es muy importante y necesario contar con una historia o bitácora técnica de cada reductor, para poder darle seguimiento, y comparar los resultados actuales con los anteriores, y con esto tomar decisiones para corregir cualquier anomalía.

3.3.4 Revisión del contacto de chumaceras y muñon del molino

Objetivo y alcance, este procedimiento va dirigido a molinos horizontales, en donde el cuerpo del molino va montado en una chumacera fija y una móvil, y el objetivo es el de dar una guía para la revisión del contacto de los cojinetes (o chumaceras) con el muñon, principalmente será necesario cuando se realice el cambio de cojinete o chumacera.

Bases o sustentación del método, los cuerpos de los molinos horizontales, normalmente van montados en un soporte fijo y uno deslizable.

Soporte principal fijo

Este va montado al extremo del accionamiento del molino, es un soporte de guía. La parte inferior va sujeta a la placa de base mediante tornillos. Entre el soporte y la placa de base del soporte tiene colocado un suplemento o lana para permitir un ajuste posterior de las alturas de soportes, en caso de que ocurra un asentamiento de las bases.

Soporte principal móvil

Este reposa sobre rodillos colocados en la placa base, de modo que el soporte pueda moverse según la dilatación térmica del cuerpo del molino. Cuando se realiza el montaje se toma en cuenta esta dilatación. La dilatación máxima del cuerpo del molino está indicada en el plano de montaje del mismo.

Desarrollo del método

Equipo y herramientas a usar

- Calibrador de lanas para espesores
- Calibrador de lanas para curvaturas
- Pintura para marcar (puede utilizarse pintura al oleo color rojo o azul de prusia).
- Rasquetas manuales (no se recomiendan las motorizadas)
- Equipo necesario para realizar la maniobra de desmontaje y montaje

Periodicidad

La revisión del contacto entre cojinetes (o chumaceras) y el muñón, se realiza eventualmente, y su ejecución depende del cambio y/o ajuste de cojinete debido a daño del mismo.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

Ajuste del cojinete

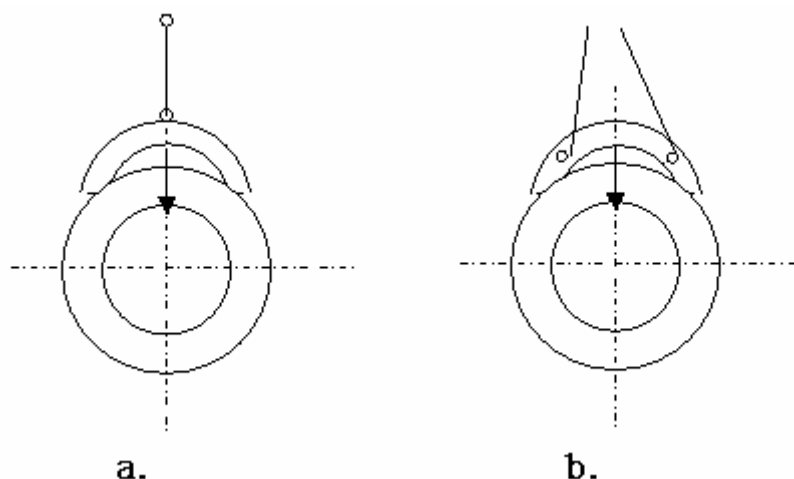
El soporte está provisto de un cojinete móvil (cojinete inferior) fabricado con una forma exactamente cilíndrica en el interior y con una sobremedida en relación al diámetro del muñón.

Por ello, teóricamente, el cojinete sólo debe apoyar a lo largo de una generatriz en el fondo del soporte.

Después del desmontaje del cojinete que va a ser inspeccionado, al muñón se le aplica una fina capa de pintura para marcar (puede ser pintura al oleo de color rojo o azul de prusia), y el cojinete se coloca sobre el muñón de la manera mostrada en la figura 24a, que es para los tipos antiguos de soportes, o como se muestra en la figura 24b, para los tipos nuevos.

Debe haber puntos de apoyo distribuidos a todo lo largo de una generatriz (apoyo teórico). En la práctica la cara de apoyo tiene cierta extensión en el sentido circular. La cara de apoyo debe estar paralelo a las generatrices del cojinete.

Figura 24a y 24b. Colocación del cojinete sobre el muñón

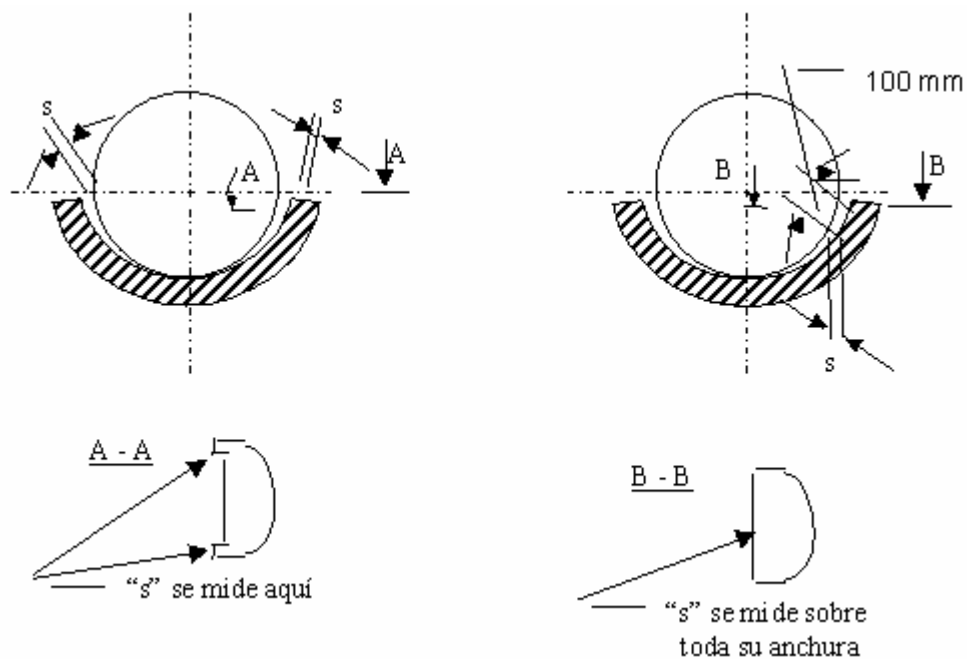


Si el marcado sólo muestra puntos de apoyo a los cantos del soporte o en su parte central (quiere decir que el muñón o el cojinete no son completamente cilíndricos), por lo que hay que rasquetear (o rascar) ligeramente el cojinete, para obtener una cara de apoyo paralela (evitando en lo posible alterar la forma cilíndrica del cojinete). Debe comprobarse que el juego “s” entre el muñón y el cojinete sea del valor mínimo requerido, se mide según se muestra en la figura 25a y 25b, y sus valores, se muestran en la tabla II para cojinetes de 180° y de 120°.

Se debe controlar también el juego longitudinal “e”. Los valores están indicados en la tabla III.

Se debe comprobar además que los cantos circulares del cojinete y del muñón están con la redondez correcta. El radio “ R “ está indicado en la Tabla II, ver figura 25c.

Figura 25a y 25b. Juego “s” entre el muñón y el cojinete



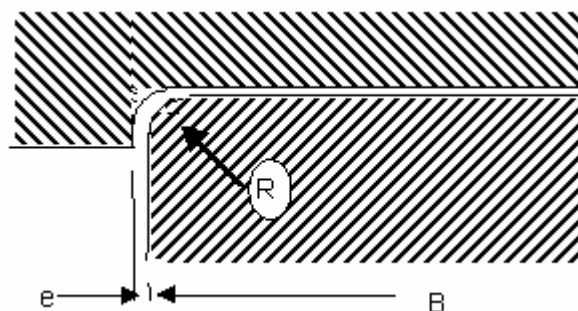


Figura 25c. Radio “R” de redondez del canto circular del cojinete y del muñón

Tabla II. Valores permisibles del juego “s” y radio “R” de redondez entre el muñón y el cojinete

TABLA II							
Soporte	COJINETE DE 180°		COJINETE DE 120°		Medirse "s" según Figura 25	Medirse " R " (mm) según Fig. 25c	
	Juego "s" (mm)		Juego "s" (mm)			Muñón	Cojinete
	Teórico	Mínimo	Teórico	Mínimo			
500	0.29-0.40	0.45			a	12	13
550	0.30-0.41	0.45			a	12	13
650	0.31-0.44	0.50			a	12	13
800	0.30-0.40	0.45			b	12	13
1000	0.30-0.40	0.45			b	12	13
1100	0.30-0.41	0.45			b	12	13
1200	0.36-0.47	0.50	0.21-0.28	0.30	b	12	13
1400	0.46-0.60	0.65	0.24-0.32	0.35	b	12	13
1600	0.32-0.44	0.50	0.25-0.35	0.40	b	17	18
1800			0.29-0.41	0.45	b	17	18
2000			0.34-0.46	0.5	b	17	18
2240			0.39-0.54	0.6	b	17	18
2500			0.44-0.60	0.65	b	17	18
2800			0.50-0.68	0.75	b	17	18
3150			0.58-0.78	0.85	b	17	18

Tabla III. Valores permisibles de juego axial “e” entre cojinete y muñón

TABLA III		
Juego axial entre cojinete y muñón (o gorrón) (ver fig. 25c)		
Ancho del soporte (B) (en mm)		Juego (mm) " e "
de	a	
180	250	0.170-0.427
250	315	0.190-0.481
315	400	0.210-0.529
400	500	0.230-0.577
500	630	0.260-0.650
630	800	0.290-0.735
800	1000	0.320-0.820
1000	1250	0.350-0.935
1250	1600	0.390-1.085

Es muy importante que se respete las tolerancias, ya que un juego insuficiente puede dar lugar a un recalentamiento del soporte, y por ende puede sufrir un daño.

Por consiguiente, en caso de recalentarse el soporte, hay que comprobar el juego, y quizás ajustar por rasqueteado los costados del cojinete para procurar un mayor juego y así facilitar la formación de una película de aceite (cuña de aceite) lo suficientemente gruesa.

Si el soporte va provisto de un dispositivo para arranque por aceite de alta presión, la zona alrededor del orificio para aceite debe reducirse por rasqueteado dentro de un círculo, cuyo diámetro sea $1/4$ del ancho del cojinete, de tal forma que el muñón (o gorrón) de soporte no venga a tocar el cojinete dentro de dicha zona.

Movilidad del cojinete

El cojinete inferior reposa en un asiento esférico y debe poder moverse libremente. Como las caras de apoyo del cojinete y de la parte inferior están fabricadas con superficies esféricas, el cojinete puede ajustarse según el muñón cuando el molino es colocado en soportes, aunque los soportes no estén montados de manera horizontal y perpendicular al eje del molino.

Montaje del cojinete o chumacera

Antes de realizar el montaje, las superficies esféricas del cojinete deben engrasarse con grasa "*Molykote*", o con un lubricante similar.

En cada lado del soporte, hay un perno de retención que impide que el cojinete gire.

Entre el cojinete y el perno de retención debe haber de 1-2 mm.

Interpretación de resultados

Los resultados que se deben tener bajo este procedimiento, deben ser positivos, y consiste principalmente en realizar el montaje perfecto para tener una buena durabilidad del cojinete.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de maquinaria. Puesto que se requiere trabajar muy cerca de la misma, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad.

3.3.5 Cambio de virola (sección) del cuerpo del molino

Objetivo y alcance, en este procedimiento se muestran los pasos a seguir para cuando sea necesario el cambiar una virola (sección o sector) del cuerpo (tubo) del molino. Este procedimiento va dirigido a molinos horizontales, en donde el cuerpo del molino va montado en una chumacera fija y una móvil.

Bases o sustentación del método, los cuerpos de molino cuando han sufrido daño en el mismo, principalmente cuando se dañan las placas de blindaje, el cuerpo del molino sufre desgastes, que cuando sobrepasan cierto límite (consultar con fabricante), se deberá recurrir al cambio de la sección del tubo dañado.

Existen otros daños como grietas, que ponen en peligro el molino, en que también será necesario cambiar la sección de molino dañada (en caso de no tener reparación), al mismo tiempo que se deberá analizar el origen y causa de las grietas para corregir de raíz el problema.

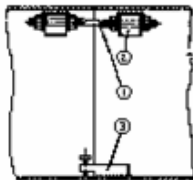
Desarrollo del método

Equipo y herramientas a usar

- Dos micrómetros de carátula con su portaimán.
- Equipo de ultrasonido (para detectar irregularidades en la placa de acero del cuerpo del molino).
- Equipo de corte automático portátil de oxiacetileno, con todos sus implementos, como rieles o guías, soplete o pistola, tanques de oxígeno, etc.
- Equipo para soldar de 600 amperes, con sus aditamentos.
- Punzón.
- Punta trazadora con bastidor.
- Sietes o hierros de alineación o gatos o pernos, ver figuras 25, 36 y 37.
- Angulos de montaje o consolas angulares con sus tornillos de ajuste, ver figura 25.
- Plantilla (o escantillón) para calibración del refrentado del canto de placa y achaflanado exterior, ver figura 26.
- Vigas soporte, para soportar la virola, que pudieran ser durmientes de ferrocarril, etc., en caso de no disponer del soporte rodante.
- Soporte (o caballete) rodante del molino, ver figura 27.
- Dos bastidores de vigas en "U" para medición de alineación (sobre medida, según tamaño de molino), ver figura 28. Incluyendo cada uno, su calza de madera, placa de acero de 25 mm (1").
- Hierros de distancia (ángulo de 3mm de espesor por 100 mm de longitud).
- Pulidor o gramil de disco.
- Regla recta de 1 (un) metro.
- Taladro magnético con broca de 4 mm de diámetro.
- Soplete ranurador o arco aire con aditamentos.

- Cepillo de alambre (cerdas de acero).
- Angulo de 3" y placa de 1/4" de espesor p/fabricar cruces de refuerzo.

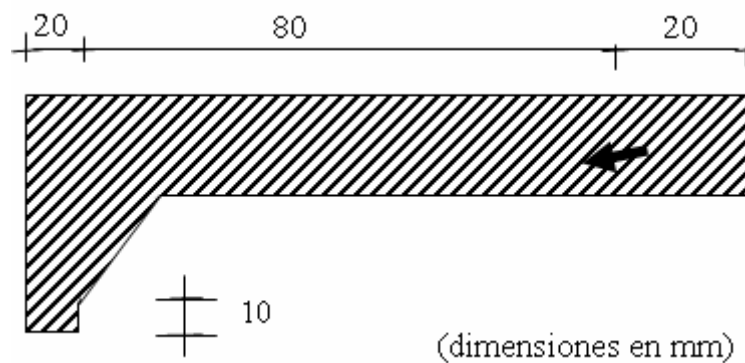
Figura 26. Pernos tirantes, hierros de montaje y de ajuste



- 1) Pernos tirantes
- 2) Hierros de montaje
- 3) Hierros de ajuste

Diámetro del molino (m)	Número de pernos	Número aprox. de hierros de ajuste
1.8 a 2.1	8	12
2.25 a 3.15	12	18
3.3 a 4.15	16	24
4.35 a 4.75	20	30
5.0 a 6.3	24	36
6.6 a ____	28	42

Figura 27. Plantilla para calibración del refrentado del canto de placa y achaflanado exterior



Equipo y material de apoyo

- Plano o dibujo de posición del molino.
- Plano o dibujo de disposición, orificios para instalaciones interiores, etc.
- Grúa para efectuar maniobras, que pueda soportar las virolas o secciones del molino.

- Andamio para colocar alrededor del molino para acceso del personal.
- Gato hidráulico de 300 toneladas para maniobras.

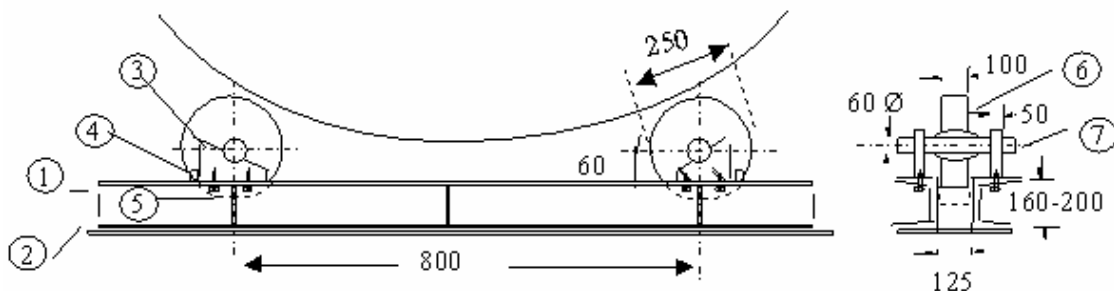
Materiales de trabajo y consumo

- Soldadura (ver párrafo de especificación de electrodos)
- Manta para limpiar los cojinetes (no utilizar estopa, porque puede perjudicar la tubería de lubricación).
- Película de polietileno de 0.600" para cubrir los cojinetes del polvo.
- Aire comprimido.
- Tiza, crayón y/o marcador de tinta para metales.

Partes del soporte de rodillos para molino

- 1 Viga como marco de fondo
- 2 Placa de base
- 3 Soporte o chumacera (de bronce ú otro material)
- 4 Bloque de retención, fijado por soldadura
- 5 Perno o tornillo
- 6 Rodillo
- 7 Eje para rodillo

Figura 28. Soporte rodante del molino



(Dimensiones en mm)

Periodicidad

Este procedimiento, solo se sigue en el evento remoto, de existir la necesidad del cambio de una sección de tubo del molino.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

Primero se determina el tamaño de la virola o sección de tubo de molino a cambiar, se fabrica, se quita la virola dañada, y se coloca la nueva. Enseguida se describen las actividades con mayor detalle.

Determinación de la medida de la sección del tubo de molino dañado.

- 1.- Se determina el diámetro, y largo de la virola, y con estas dimensiones, y apoyados en el dibujo del molino. Se deberá tener cuidado en la consideración de barrenos, soldaduras bombeadas, cubrejuntas, etc.
- 2.- Con las dimensiones de la virola o sección del molino, ya se podrá mandar a fabricar una nueva.

Fabricación y manejo de la virola nueva

La virola o sección del molino se manda fabricar de acuerdo a las especificaciones de material, barrenos y espesor indicados en el dibujo del fabricante, considerando las dimensiones obtenidas en el párrafo anterior.

Se debe inspeccionar al recibirla, midiendo el diámetro en los extremos mediante una regla asegurando que esta venga perfectamente circular, y provista con una cruz de refuerzo, para evitar se dañe durante el transporte y montaje. Si la virola es muy larga (mayor a 2.85 m), debe llevar una cruz extra colocada en el medio.

Se recomienda que la cruz de refuerzo quede en su sitio en la virola, hasta que ésta esté unida por los ángulos y pernos o perros de alineación con la virola adyacente. Tan pronto se han colocado los pernos o gatos para unión de las virolas, y una vez centrada la junta mediante los hierros de ajuste, se pueden cortar ya las cruces de refuerzo, o se pueden dejar hasta después de terminado el primer cordón de fondo.

Si la forma circular de la virola nueva ha sido deformada antes del montaje, se cortan las viguetas de las cruces de apuntalamiento antes de proceder a la unión de las virolas. Deberán utilizarse gatos o pernos tirantes para obtener que la virola vuelva a su forma circular. Si este trabajo se realiza durante el montaje, se emplean exclusivamente pernos tirantes.

Las cruces de apuntalamiento situadas en el medio de una virola muy larga, no deberá ser quitada sino hasta terminar el montaje y soldado de la misma totalmente.

Cuando se vaya a utilizar la virola, se deberán limpiar perfectamente los chaflanes provistos para las juntas de soldadura. Se deberá quitar la pintura que al quemarse producirá gases que reducen la calidad de la soldadura.

Preparativos

Antes de proceder al retiro de la virola dañada, y a la colocación de la virola nueva, es preciso examinar:

- a) Las posibilidades para poder transportar las piezas, antes y durante el retiro de la virola dañada, y el montaje de la nueva.
- b) Los dispositivos de elevación disponibles, como grúas, gatos hidráulicos, etc.

- c) Las posibilidades para poder girar el molino durante la alineación y la soldadura. Se recomienda efectuar los giros con el dispositivo de giro lento, y en caso de utilizar aparejos o torno, cuidar de que la tracción se efectúe en el sentido hacia arriba para reducir la fricción en los cojinetes.

Retiro de la virola dañada y preparación de superficies

Primero se deberá vaciar el molino (bola y material), y quitar las partes superiores (tapas) de los soportes (chumaceras) principales.

En una extensión conveniente alrededor del lugar de reparación se quitan el blindaje (o placas de desgaste), y las instalaciones interiores.

Control de la alineación del molino

Se fabrican y se colocan los bastidores de vigas en “U”, como se muestra en la figura 29. Son dos bastidores uno sobre cada soporte, los cuales se sujetan firmemente al piso mediante pernos.

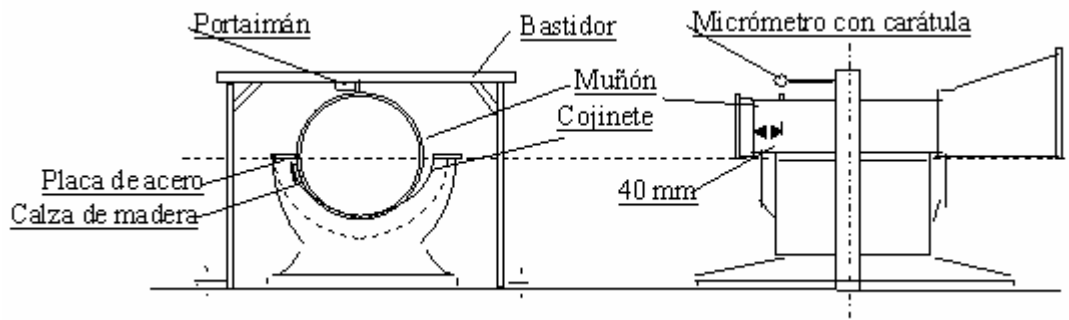
Se coloca una calza de madera, sobre el cojinete móvil, así como se sujeta ésta con una placa de acero, de 25 mm (1”) de espesor a fin de impedir que el cojinete se mueva cuando se gire lentamente el molino.

De esta manera es factible medir la alineación del cojinete independientemente de eventuales movimientos del soporte principal.

Se monta un micrómetro con carátula junto a cada soporte principal (ver figura 29). Se deberá cuidar de colocar los micrómetros en el mismo lugar al efectuar cada medición.

Se desconecta completamente el motor principal del molino, para impedir que persona alguna arranque el molino en forma imprevista.

Figura 29. Control de la alineación del molino



Se utiliza el giro lento, para realizar los giros, y en caso de que no tenga giro lento, se deberá habilitar un mecanismo para realizar los giros, como se mencionó anteriormente.

Se gira el molino 360° y al mismo tiempo, se limpian y secan los cojinetes con trapos (o manta) limpios. Colocando aceite limpio en los mismos.

En los molinos F. L. Smidth, en su fabricación se le coloca una marca “M” y una “N”, que servirán como referencia, en caso dado que no las tenga, habrá que utilizar las que se usaron de referencia para fabricar la sección del tubo de molino, pero de preferencia asignarles las letras M y N, ya que se utilizan como referencia posteriormente.

Se procede a girar el molino hasta que la marca “M” (línea M-N del molino) esté a tope. Se debe procurar que la lubricación sea perfecta cada vez que el molino se gire.

Se colocan los dos micrómetros a cero. Se efectúa la medición de control de la manera siguiente:

Se gira el molino 1/12 de vuelta a la vez, se leen los micrómetros y se anotan los resultados en la forma que se muestra en la figura 26.

Cuando la marca M nuevamente se encuentre a tope: los micrómetros deben indicar cero otra vez. Esto servirá además para ratificar que los micrómetros han sido montados correctamente.

Este control de medición, recién efectuado, resultará ilustrativo para comparar la correcta alineación del molino al final cuando se termine el cambio de sección del molino.

Desmontaje de piezas del molino

Virola acoplada al fondo de entrada

Cuando el sector de tubo de molino va comprendido el fondo de entrada, se deberá desmontar la tova de entrada, el dispositivo de paletas y todas las piezas de revestimiento (o blindaje) en aquella parte del molino que ha de sustituirse. Desmontar además las dos filas de placas de revestimiento más próximas al lugar donde ha de practicarse el corte, en aquella parte del molino que ha de seguir utilizándose.

Virola acoplada al fondo de salida

Cuando el sector de tubo de molino va comprendido el fondo de salida, se deberá desmontar la salida, las rejillas para el fondo de salida y todas las piezas de revestimiento en aquella parte del molino que ha de sustituirse. Desmontar además las dos filas de placas de revestimiento más próximas al lugar donde ha de practicarse el corte, en aquella parte del molino que ha de seguir utilizándose.

Prueba de ultrasonido de la zona de corte en el tubo del molino

Efectuar una prueba ultrasónica en aquella zona del tubo del molino donde ha de practicarse el corte. Dicha zona debe prolongarse aproximadamente. 50 mm de cada lado de la línea de corte y la prueba de ultrasonido debe efectuarse alrededor de todo el tubo del molino.

La prueba deberá determinar si la zona donde ha de practicarse el corte existen estratificaciones (o laminaciones) en el material de la placa.

En el caso de excepcional que se constataran estratificaciones (o laminaciones), se deberá informar inmediatamente al Departamento Técnico, para ello se deberá indicar con precisión en que sitio del tubo del molino se han descubierto estratificaciones y el tamaño de las mismas y aguardar el recibo de instrucciones detalladas del Departamento Técnico al respecto.

En el caso de que la prueba de ultrasonido confirme que no existen estratificaciones (o laminaciones) en el material de la placa , se deberá proseguir con los trabajos como va descrito en el presente procedimiento.

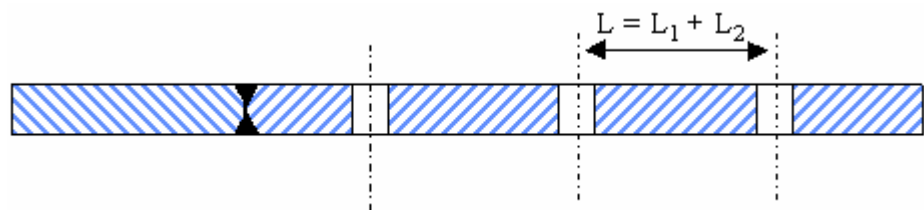
Marcación

Antes de efectuar el corte del molino

En la Figura 30, se muestra el tubo del molino antes de efectuado el corte. Donde “L” es la distancia desde los centros de agujeros, entre dos filas de agujeros, entre las cuales se practicará el corte del tubo del molino, y es la suma de $L_1 + L_2$. Ver también las figuras 31 y 32.

Se efectúa una marcación con crayón o tiza para marcar metales en toda la circunferencia exterior del tubo del molino en forma de una banda de aprox. 200 mm de ancho. Dicha banda debe trazarse entre las dos filas de agujeros en el tubo del molino en donde ha de practicarse el corte. Ver figura 31 y 32.

Figura 30. Marcación antes de efectuar el corte del molino

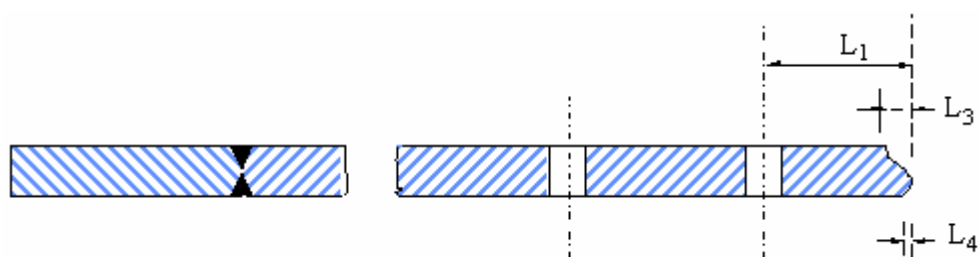


Se mide la distancia “L” en milímetros entre las dos filas de agujeros, ver figura 30, y se anota la medida. Esta medida resultará orientativa para la posterior evaluación de la contracción que se produce como consecuencia de los trabajos de soldadura.

Presentación para soldar

La Figura 31 muestra la sección de tubo original y el sector de tubo nuevo. Donde “ L_1 ” es la distancia desde el centro del agujero en la fila extrema de agujeros hasta el canto del tubo del molino. El canto ha sido achaflanado con miras a los trabajos de soldadura que han de llevarse a cabo. Las dimensiones “ L_3 ” y “ L_4 ” son las medidas para achaflanados.

Figura 31. Presentación para soldar el tubo del molino



Marcación de corte del tubo original

La figura 32 muestra la marcación que debe hacerse en el tubo de molino original. El ancho de la ranura de corte ha sido calculada a 4 mm (estándar según experiencia), ver figura 32.

A esto se añade una demasía o exceso de material para el mecanizado de 2 mm, o sea para esmerilado en la parte utilizable del tubo de molino existente.

Las marcas “A” y “B” muestran la colocación de la línea de corte y de la línea de control, respectivamente. Estas dos líneas deben dibujarse en el tubo del molino.

El ancho total de la ranura de corte debe hacerse en aquel sector del tubo del molino que ha de desecharse.

Se marca la línea de corte con la distancia $L_1 - 4$ mm, medida desde el centro de agujero en la fila de agujeros en el sector de tubo de molino que se desechará, ver figura 32.

Se deberá observar para encontrar la medida L_1 en milímetros por medir en el nuevo sector de tubo.

Se marca la línea de control en el sector utilizable del tubo del molino. La línea de control debe estar a 84 mm de la línea de corte.

Figura 32. Marcación de corte del tubo original del molino

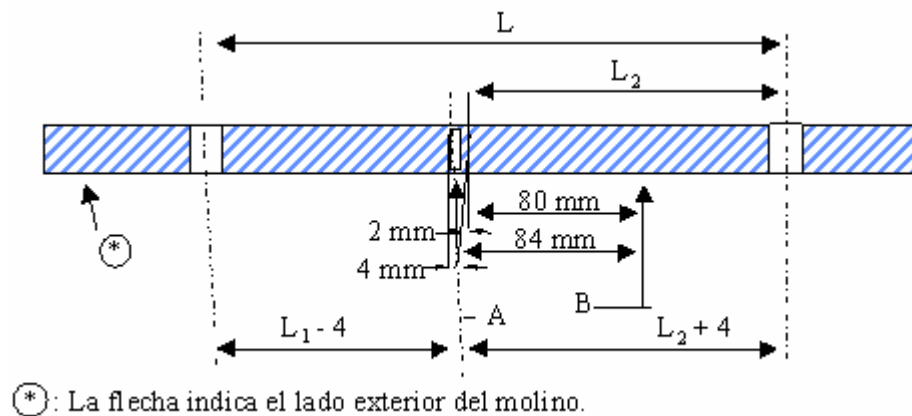
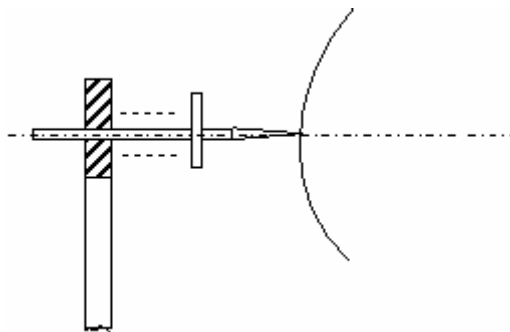


Figura 33. Colocación del bastidor para marcar líneas de corte



Para marcar la línea de corte y la línea de control en la banda pintada en el tubo del molino, se siguen los pasos siguientes:

- Se coloca un bastidor, que esté firmemente sujetado, con una punta trazadora, asegurándose que quede bien fija, ver figura 33. Se debe tener cuidado de que la punta trazadora sólo oprima contra el tubo del molino con una leve presión de resorte.
- Se arrancan las bombas de alta presión de lubricación de los soportes del molino, y se gira el molino. Se deja que la punta trazadora dibuje las dos líneas en el tubo del molino.
- Se efectúa un control de inspección para comprobar que las dos líneas estén correctamente dibujadas.
- Se marcan con punzón las dos líneas en toda la circunferencia del tubo del molino.

- e) Se marcan 6 puntos en la línea de corte, cuidando de mantener igual distancia entre éstos, procurando que uno de estos puntos quede exactamente en la línea M del molino.
- f) Se taladran en cada uno de los 6 puntos marcados un agujero de 4 mm de diámetro, (que equivale al ancho de la ranura de corte) a través del tubo del molino. Se deberá cuidar de que los agujeros queden perpendiculares en el tubo del molino.

Sustentación del tubo del molino

Antes de continuar con el corte, el tubo del molino se deberá sustentar o soportar el mismo, pudiendo hacerse de dos maneras fija y rodante.

Sustentación rodante.

Esta forma de sustentación es la más recomendable. La sustentación rodante debe utilizarse durante todo el proceso de corte del tubo del molino.

La figura 28 muestra en forma de croquis, una propuesta para la construcción en campo de un caballete a rodillos. Se requieren dos soportes a rodillos.

Los soportes o caballetes a rodillos se deberán colocar a cada lado y a una distancia adecuada del lugar donde ha de practicarse el corte del tubo del molino. Se deberá cuidar que los caballetes sustenten la carga firmemente cuando el sector de tubo cortado descansa sobre éstos.

Sustentación fija.

Esta forma de sustentación se debe colocar en forma definitiva hasta que se haya alcanzado a la fase final del proceso de cortado del tubo del molino.

La construcción de la sustentación fija se puede construir de lo siguiente:

- a) Estructura de acero (hierro perfilado), o
- b) Durmientes de ferrocarril, o
- c) Maderas pesadas.

Se deberá observar que el molino esté libre de sustentación fija durante la mayor parte del proceso de cortado de manera que el giro lento necesario pueda llevarse a cabo sin dificultad.

La construcción de una sustentación fija no debe terminarse hasta que el molino haya girado por última vez y justamente antes que se corte la sexta parte de la circunferencia del tubo del molino. Es imprescindible que el tubo del molino esté firmemente sustentado durante la fase final del proceso de cortado.

Cortado del tubo del molino

Rieles de guía para soplete de avance mecánico

Los rieles guía para conducción del soplete de avance mecánico se utilizan en varias modalidades, una para el cortado del tubo del molino, otra para el achaflanado para las juntas a soldar en el lado exterior del molino, y uno más para el achaflanado de la junta a soldar en el lado interior del tubo del molino.

Con respecto al riel de guía para cortado y achaflanado exterior del tubo del molino se tiene que observar lo siguiente :

- La forma del riel de guía depende del carro de avance para el soplete cortante y también del diámetro exterior del molino.

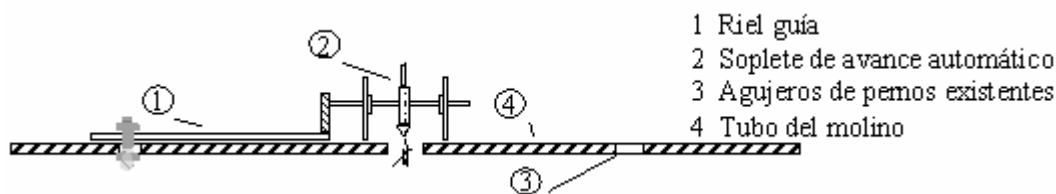
Debe poder guiar el soplete de avance mecánico de modo tal que la incisión resulte rectilínea y perpendicular al eje del molino.

- Se debe procurar que el riel de guía sea tan largo que al practicar la incisión pueda efectuarse un corte parcial de aproximadamente 60° de la circunferencia a la vez.

La forma del riel guía para el achaflanado del lado interior del canto de placa del tubo del molino, depende del carro de avance del soplete cortante y también del diámetro interior del tubo del molino.

Si el riel guía no es del tipo de sujeción magnética, se pueden utilizar los agujeros de los tornillos existentes en el tubo del molino para sujeción del riel. Ver figura 34.

Figura 34. Rieles de guía para soplete de avance mecánico



Realización del corte del tubo

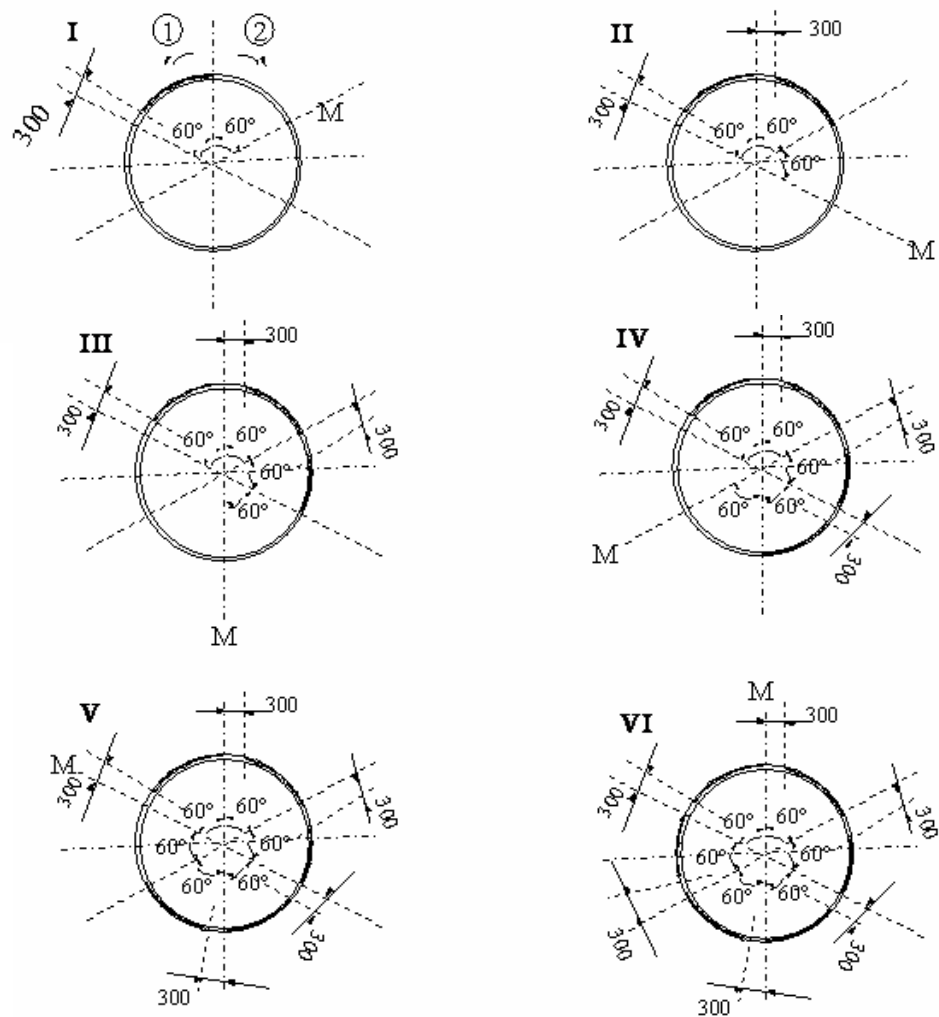
El cortado del tubo del molino debe realizarse en 6 tiempos. Ver figura 35, de la siguiente manera:

- 1) Se gira el molino de manera que el agujero de 4 mm de diámetro, de la línea M, esté girado 60° del punto tope. Ver figura 35 núm. I.
Observar que el sentido de corte (1) y el sentido de giro (2) están orientados opuestamente.

- 2) Se coloca el riel de guía, para el soplete de avance mecánico, en el tubo del molino de manera tal que el corte por avance mecánico pueda iniciarse en el agujero de 4 mm de diámetro que se encuentra en el punto tope después del giro lento.

Se alinea el riel de guía para que el medio de la tobera del quemador (o soplete), quede posicionada justamente encima de la línea de corte marcada en el tubo del molino.

Figura 35. Realización del corte del tubo



Dimensiones en mm, Sentidos : 1 de corte, 2 de giro lento

- 3) Efectuar el primer corte parcial con el soplete de avance mecánico. Dicho corte debe extenderse desde el agujero de 4 mm de diámetro en el punto tope del tubo del molino, hasta aproximadamente 300 mm antes del próximo agujero de 4 mm de diámetro. Debe haber en total seis tramos no cortados, cada uno de aproximadamente 300 mm equidistantes, que se cortarán posteriormente.
- 4) Se desplaza el riel de guía al lugar donde ha de practicarse el próximo corte parcial y se gira el molino 60°. Utilizar el agujero de 4 mm de diámetro siguiente como punto de partida para el próximo corte parcial. Dejar nuevamente una distancia de 300 mm aproximadamente sin cortar antes del agujero de 4 mm siguiente. Ver figura 34, núm. II.
- 5) Continuar con esta secuencia de trabajo hasta que el corte parcial número 5 haya sido cortado. Se gira el molino de nuevo hasta que el agujero de 4 mm de diámetro, en la línea M del molino, se encuentre en el punto tope otra vez.
- 6) En este punto, se debe tener instalada la sustentación o apoyo del molino antes de proceder al corte parcial número 6. En caso de utilizarse sustentación fija. Tener cuidado de terminar la construcción de la misma y procurar que el apoyo o calzo sea tan resistente que no ceda cuando el último sector del tubo del molino sea cortado completamente.
- 7) Efectuar el corte parcial número 6 con el soplete de avance mecánico, y cortar los tramos de 6 x 300 mm que fueron dejados al efectuar cada corte parcial.

- 8) Quitar aquel sector del tubo del molino que ha de sustituirse, teniendo cuidado al retirarlo en no tocar la sección o secciones de molino que se va a quedar, para evitar desajuste en la alineación o alabeo.

Apuntalamiento del tubo del molino

Después de efectuado el corte, inmediatamente, se debe colocar una cruz de refuerzo en aquella parte del tubo del molino que será utilizada. La cruz sirve para impedir que el tubo del molino adquiera forma ovalada después de practicado el corte. Esta cruz se deberá atornillar (no soldar) en la primera o segunda fila de agujeros a contar del lugar del corte.

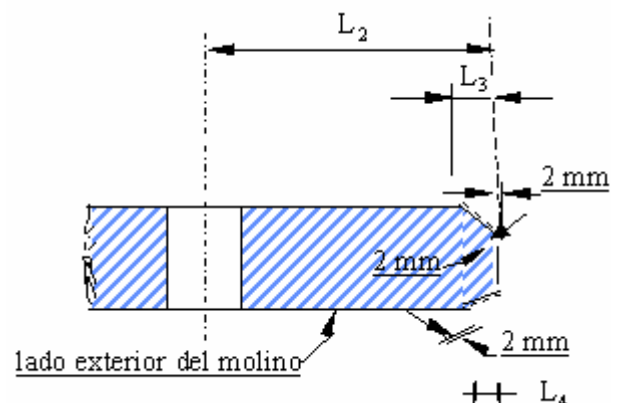
Achaflanado o refrentado del tubo del molino

Una vez realizado el corte, se retira la sección dañada, y se procede a hacer el achaflanado en el canto de la sección de tubo original.

La forma del riel de guía para el achaflanado, depende del carro de avance del soplete cortante y también del diámetro interior o exterior del tubo del molino.

La figura 35 muestra como debe achaflanarse y esmerilarse el canto (orilla) en la parte utilizable del tubo del molino. La cantidad de material por esmerilarse, se ha calculado en 2 mm.

Figura 36. Medición en el sector del tubo nuevo



La dimensión L_2 es la distancia desde el centro refrentado y esmerilado del tubo hasta el centro del agujero en la fila de agujeros más próxima. Las dimensiones L_3 y L_4 son las medidas para los achaflanados que deben ser idénticos en los dos sectores de tubos de molino que han de unirse por soldadura.

Se deberán medir las dimensiones L_3 y L_4 en el sector de tubo nuevo. Anotar las medidas, por ejemplo en la figura 36.

Plantilla o escantillón para achaflanado y refrentado

Se fabrican dos plantillas o escantillones de placa de acero, una para control del refrentado y achaflanado del lado exterior del molino, y otra para el control del achaflanado del lado interior. Ver figura 27.

En la fabricación de la plantilla o escantillón, observar lo siguiente:

- a) La flecha en la plantilla indica la marca de control que debe señalar exactamente en la línea de control trazada en el tubo del molino, cuando el canto de la placa y el achaflanado han sido definitivamente refrentados y esmerilados.
- b) Encontrar las medidas para las dos plantillas por medir en el sector de tubo de molino nuevo que ha sido achaflanado antes de suministrarse, o mediante cálculo.

Primer refrentado del canto de placa del tubo del molino

Se debe controlar la distancia entre el canto de placa y la línea de control en toda la circunferencia del tubo del molino.

El canto de placa debe estar a una misma distancia de la línea de control en toda la circunferencia, o sea a 80 mm más una demasía de 2 mm para refrentado.

Enseguida se enrasa el canto de placa por esmerilado.

Achaflanado

- a) Entizar aproximadamente los últimos 30 mm de canto, a contar desde el canto de chapa, tanto en el lado exterior como en el interior del tubo del molino y en toda la circunferencia.
- b) Marcar las líneas de corte para el achaflanado exterior e interior en el tubo del molino en toda la circunferencia. Utilizar por ejemplo un pulidor. Marcar luego con punzón las dos líneas dibujadas.
- c) Colocar los dos rieles de guía en el lado exterior del tubo del molino, respectivamente. Cortar con el soplete de avance mecánico los achaflanados con las plantillas de placa. Procurar que las caras de corte resulten lo más limpias posible.

Refrentado definitivo del canto de placa y achaflanados

- a) Enrasar el canto de placa y los achaflanados definitivamente por esmerilado. Controlar con las plantillas el perfil y la distancia de los achaflanados a la línea de control, en el tubo del molino, que sean correctos en toda la circunferencia.
- b) Procurar que las caras refrentadas sean lisas y que estén completamente exentas de rugosidades. No debe haber quemaduras dejadas por el corte con soplete.

Montaje del sector nuevo del tubo de molino

Ensamblado

Se coloca el nuevo sector de tubo del molino en su lugar. Teniendo cuidado de que la distancia entre los cantos de placa de los sectores de tubo sea de aproximadamente de 3 mm, y que las líneas M-N en los sectores de tubo se encuentren exactamente en línea. Se deberá tener cuidado en que los agujeros de los pernos, para las piezas de revestimiento, estén a nivel unas con otros.

Inmediatamente sustentar o soportar firmemente el extremo de sector de tubo nuevo.

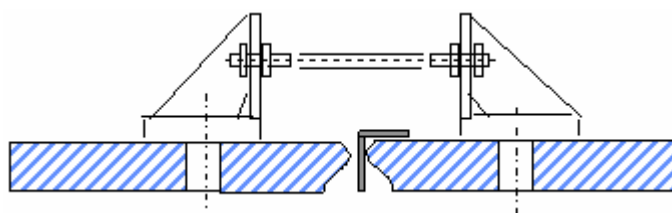
Sujeción de las secciones de tubo

Consolas

Se colocan las consolas angulares, en el lado exterior de los sectores de tubos. Se sujetan con pernos de montaje en los agujeros previstos para la fijación de las piezas de revestimiento. Se colocan los tirantes, ver figura 37.

Las consolas después de colocadas, se sueldan con soldadura discontinuas los ángulos de placa de 3 mm de espesor, entre los cantos de placa junto a cada tirante. Los ángulos son de 3 mm de espesor por 100 mm de longitud.

Figura 37. Sujeción de las secciones del tubo

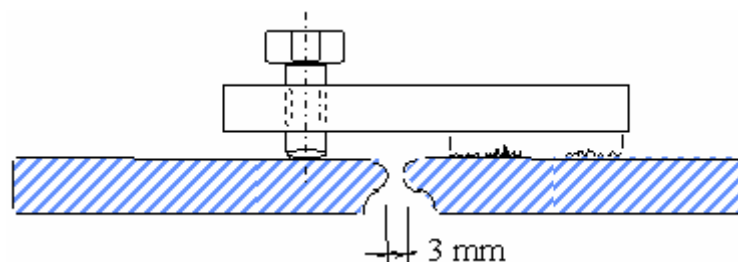


La distancia entre los agujeros de pernos, en aquella zona donde el tubo del molino ha sido cortado, resultará 3 mm mayor que la medida definitiva pretendida ya que se estima que la contracción, después del ensamblado por soldadura, tendrá esta dimensión.

Hierros de alineación o sietes.

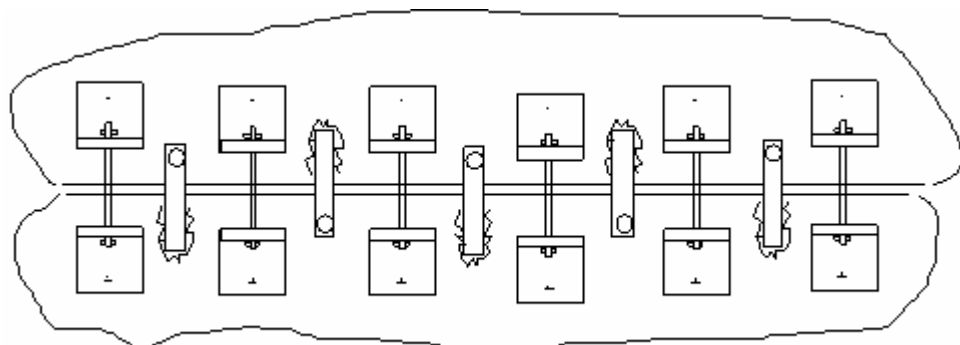
Se fijan por soldadura los hierros de alineación o sietes en la parte exterior del molino, según sea necesario, ver la figura 38.

Figura 38. Hierros de alineación



Se sueldan los sietes o hierros de alineación alternadamente en ambos extremos del tubo, ver la figura 39, de modo que continuamente pueda presionarse en aquel extremo del tubo que sea preciso forzar hacia adentro para conseguir que los sectores de tubo queden a nivel.

Figura 39. Soldadura de los hierros de alineación



Se aprietan los tirantes de manera que los cantos de placa apoyen firmemente contra los hierros angulares (o ángulos).

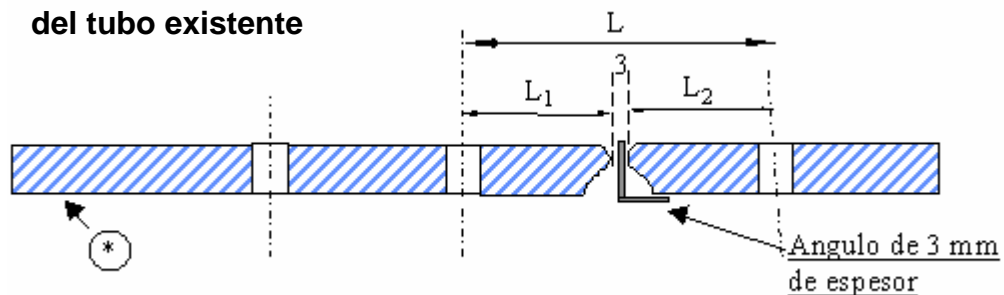
Si los cantos de placa, en algunas partes no tienen buen contacto con los hierros angulares: Colocar suplementos extras a fin de obtener un contacto firme.

Ajuste de distancias

La figura 40 muestra el sector de tubo nuevo con la parte utilizable del tubo del molino existente, cuando las piezas han sido alineadas en relación las unas de las otras antes de ser unidas por soldadura.

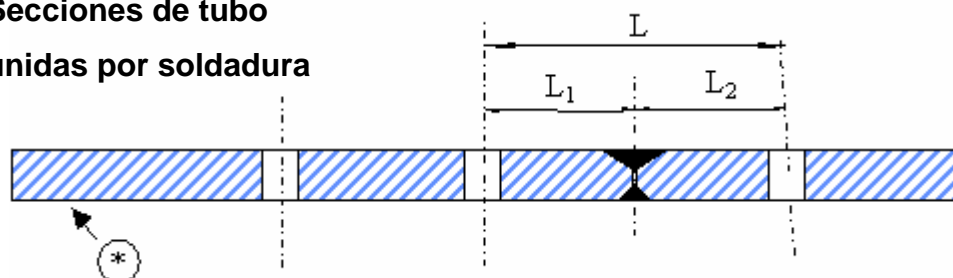
Los cantos de placa deben estar a una distancia de 3 mm, el uno del otro, a fin de compensar por la contracción del tubo del molino durante los trabajos de soldadura. Los hierros de distancia tienen por misión asegurar que esta distancia sea observada alrededor de toda la circunferencia del tubo del molino.

Figura 40. Sector de tubo nuevo con la parte utilizable del tubo existente



En la figura 41, se muestran las secciones de tubo unidas por soldadura, la medida "L" surge como consecuencia de una contracción de 3 mm en sentido longitudinal del tubo del molino.

Figura 41. Secciones de tubo unidas por soldadura



Alineación

Se alinean las secciones de tubo de molino con los hierros de alineación de modo tal que las caras exteriores queden a nivel unas con otras. Efectuar un control con regla recta.

Se deberá quitar toda sustentación fija, para que sea factible girar el molino. Se arrancan las bombas de alta presión del molino y se gira el molino hasta que la línea M se encuentre a tope.

Los micrómetros de los muñones (ver figura 29) también deben encontrarse en la parte superior, y se deben ajustar a cero.

Se gira el molino 30°, se lee en los micrómetros y se anotan los resultados de las mediciones como se indica en la figura 26.

Se continúa girando escalonadamente a cada 30° del molino, y se anotan los resultados de las mediciones. Los micrómetros deben indicar cero cuando la línea M regrese a donde están los micrómetros.

Se coteja con la primera medición de control de alabeo de los muñones que se efectuó antes del corte del tubo del molino.

La medición de control muestra si los muñones giran concéntricamente después del ensamblado de los sectores de tubo. El alabeo en los muñones debe ser de 0.2 mm como máximo.

Si la medición de control muestra que el alabeo en los muñones es mayor al admisible, se deberá efectuar una mejor alineación del molino. Se colocan suplementos junto a los hierros angulares de distancia donde fuera necesario. Enseguida se realiza una nueva medición de control.

Es factible efectuar una menor corrección de la alineación del tubo del molino durante los trabajos de soldadura.

Trabajos de soldadura

Para realizar los trabajos de soldadura solo podrán ser empleados soldadores que hayan aprobado un examen según las exigencias de la norma para soldadura en calderas. ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*).

Equipo de soldadura

Se recomienda utilizar equipo de soldadura normal y equipo especial para acanalado de juntas. Se debe utilizar para ranurado, electrodos de carbón de 8 mm de diámetro, con máquina de soldadura de 600 amperes. Se deben utilizar electrodos totalmente secos.

Se debe procurar una buena aspiración efectiva de los gases que produce la soldadura.

La conexión a tierra, debe colocarse en el tubo del molino. Nunca en otros lugares.

Todos los trabajos de soldadura, en el tubo del molino, deben hacerse en la posición de arriba abajo (nunca sobre cabeza, por la dificultad que reviste). Se deberá girar el molino de manera que esta exigencia sea cumplida todo el tiempo.

Velocidad de aplicación de la soldadura

Debido a variaciones en la velocidad de aplicación de la soldadura, es factible que sea necesario el corregir la alineación del molino.

Al efectuar la soldadura a baja velocidad, se desarrolla más calor en el lugar de soldadura que al efectuarla a una velocidad mayor. Esto significa que se produce una contracción mayor cuando es más baja la velocidad de soldadura.

En consecuencia, es preciso calcular, durante todo el proceso de aplicación de soldadura, basándose en las mediciones de control efectuadas del alabeo de los muñones, cómo ha de variarse la velocidad de aplicación de soldadura a fin de observar las exigencias a la alineación del tubo del molino.

Aplicación de la soldadura.

Para la colocación recíproca de cada uno de los cordones de soldadura, se debe desplazar el punto de partida de cada nuevo cordón de soldadura aproximadamente 100 mm en relación al del cordón anterior. Esto se hace para suprimir el riesgo de acumulación de inclusiones de escoria.

Un cordón de soldadura empezado, debe terminarse completamente a fin de reducir en lo posible las tensiones de soldadura. El trabajo no debe interrumpirse antes de que el cordón esté soldado en toda la circunferencia del molino.

Se deberá tener especial cuidado de no dejar defectos ni quemaduras en la superficie del molino.

Cuando se esté realizando cada cordón de soldadura, se deberá quitar cualquier remanente de escoria. Se debe cincelar y/o esmerilar. Cuidando de que todas las caras de los cordones de soldadura estén completamente limpios.

Cada vez que se termine la aplicación de un cordón en toda la circunferencia del tubo del molino, se deberá revisar el alabeo del mismo en los muñones, esto es con el fin de controlar que las piezas giran concéntricamente. Se deben anotar los resultados de las mediciones como lo muestra la figura 26, comparando la nueva lectura con la anterior.

Para los ajustes en el alabeo, se deberá controlar la velocidad del molino, como se dijo anteriormente.

Todos los cordones de soldadura deben aplicarse de manera que puedan obtener la característica IIW 4 (azul) según “*The International Institute of Welding Code*”. Para esto, se debe revisar con ultrasonido la calidad de la soldadura, ya sea con personal de Cemex o externo. En caso de contar con ultrasonido, utilizar rayos Gama o X.

Secuencia de trabajo para aplicación de los cordones de soldadura

Se deben arrancar las bombas de aceite de alta presión, y se deben dejar en funcionamiento durante todo el tiempo que sea necesario girar el molino. Así como se deberán tener los muñones limpio y bien lubricados.

El siguiente método, se refiere a soldadura discontinua:

- 1) Utilizar electrodo básico de 4 mm de diámetro. La longitud de cada tramo de soldadura discontinua es de 200 mm aproximadamente.
- 2) Soldar por puntos el cordón “a” (ver figura 42) en el primer tramo en el interior del tubo del molino y girar 180°. Aplicar la siguiente soldadura discontinua en sentido diametralmente opuesto y girar el molino 90°. Soldar por puntos y girar el molino 180°. Soldar por puntos en sentido diametralmente opuesto al cordón discontinuo últimamente mencionado.

- 3) Continuar esta rotación angular aplicando un cordón discontinuo en sentido diametralmente opuesto al cordón anterior en el tubo del molino.
- 4) Después de aplicada la soldadura discontinua, se debe girar el molino en escalones de 30°. Controlando que los muñones giren concéntricamente y que el alabeo esté dentro de tolerancia. Que en caso de ser satisfactorios los resultados, se deberá continuar con la secuencia de trabajo.

En caso de que las mediciones de control muestren que los muñones no giren concéntricamente, se deberá quitar las soldaduras discontinuas mediante quemado, para proceder a alinear el horno con mayor exactitud. Es posible una menor corrección de la alineación durante los trabajos de soldadura.

- 5) Enseguida se aplica el cordón de fondo “a” en los estrechos entre los hierros angulares que se encuentran instalados entre los cantos de la placa. Se debe utilizar el mismo tipo de electrodo para la soldadura por puntos.

Al ir avanzando, se pueden quitar los ángulos de distancia, esmerilándolos o cincelandos los puntos dejados por la soldadura discontinua.

Se debe terminar el resto de la aplicación del cordón de fondo “a”.

- 6) Para la junta interior, se aplica el cordón “b” utilizando el electrodo básico de 5 mm. Ver figura 42.

Se continúa el llenado de la junta aplicando cordones “c” utilizando electrodos básicos de 6 mm.

Se debe suspender la soldadura, cuando se tengan aplicados 2/3 de cordones en la junta interior (por el lado interior del molino), a fin de evitar que las contracciones que se produzcan por la soldadura formen contracción en la zona de soldadura.

Inmediatamente, se procede a soldar por el lado exterior del molino.

- 7) Para el soldado de la junta exterior del molino, se deben quitar los hierros angulares de alineación, también los pernos y los hierros de alineación esmerilando los puntos por soldadura. Se debe esmerilar perfectamente, de modo que la superficie quede completamente limpia.

Se procede a quitar esmeradamente la raíz del cordón de fondo interior (fondeo) mediante soplete ranurador (arco aire), utilizando electrodo de carbón de 8 mm tipo "d".

En el caso de no disponer de una máquina de soldar de 600 amperes para el arco aire, se puede limpiar la ranura mediante esmerilado.

- 8) La aplicación de soldadura definitiva, se realiza aplicando el cordón de fondo exterior "e", enseguida el cordón siguiente "f". Ver figura 42.

Posteriormente se llena la junta exterior, aplicando cordones "g". Una vez llenada la junta exterior, la convexidad debe ser de 1 mm como máximo, la cual se quita por esmerilado de modo que el cordón de soldadura quede a nivel con el tubo del molino.

La junta interior se llena en su tercera parte faltante, con electrodos "c". Y cuando la junta interior haya sido llenada, la convexidad debe ser de 1 mm como máximo, la cual se quita por esmerilado de modo que el cordón de soldadura quede a nivel con el tubo del molino.

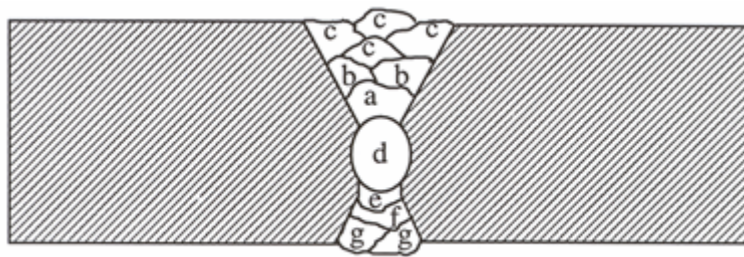
Especificación de electrodos.

Con respecto a los tipos de electrodos a utilizar se especifican los siguientes (ver figura 42).

Para soldadura interior del tubo del molino:

- a. Electrodo básico de 4 mm de diámetro
- b. Electrodo básico de 5 mm de diámetro
- c. Electrodo básico de 6 mm de diámetro

Figura 42. Especificación de electrodos



Para el acanalado o ranurado de juntas y soldadura en el exterior del tubo del molino:

- d. Electrodo de carbón revestido de cobre de 8 mm de diámetro (para acanalado o fondeo).
- e. Electrodo básico de 6 mm de diámetro
- f. Electrodo básico de 6 mm de diámetro
- g. Electrodo básico de 6 mm de diámetro

Trabajos finales

Efectuar una medición de control del alabeo de los muñones, anotando los resultados.

Inspeccionar el tubo del molino para comprobar si hay marcas o mordeduras dejadas por la soldadura o por el desmontaje de los distintos hierros empleados para el montaje. Quitar por esmerilado cualquier marca que hubiera alisando totalmente la superficie del tubo del molino a fin de conseguir una transición lisa y uniforme.

Eliminar, con cepillo de alambre de acero, todo resto de pintura quemada y pintar las zonas soldadas.

Proseguir ahora con los demás trabajos de montaje.

Interpretación de resultados

Los resultados que se deben tener bajo este procedimiento, deben ser positivos, y consiste principalmente en realizar el cambio de una sección de tubo de molino exitosamente.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de maquinaria. Puesto que se requiere trabajar muy cerca de la misma, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad, etc.

Límites condenatorios o permisibles

La unión de la sección de tubo original con la nueva, deberá quedar colineal.

Durante todo el tiempo, se deberá vigilar que la chumaceras del molino permanezcan dentro de la tolerancia de ± 0.2 mm de albeo máximo.

Comentarios y observaciones

El cambio de sección de un molino se debe realizar con personal altamente calificado, y con bastante experiencia, por lo que en ocasiones, si no se dispone en planta con personal calificado, se deberá contratar o solicitar al Departamento Técnico el servicio.

3.3.6 Cambio de piñón de alta velocidad del reductor simetro

Objetivo y alcance, presentar los pasos a seguir para cuando sea necesario cambiar el piñón de alta velocidad del reductor simetro.

Bases o sustentación del método, cuando como resultado de la revisión general del reductor o un diagnóstico en un análisis de vibraciones, o fallas por rotura, o fallas visuales (como grietas, etc.), se determina que hay necesidad de cambiar el piñón de alta velocidad del reductor Simetro, es imperante y necesario reemplazarlo a la brevedad posible, ya que de lo contrario dañará a otras piezas del reductor, como los ejes intermedios, etc.

El método presentado se basa en el cambio del conjunto de piñón montado en su flecha y con baleros o rodamientos nuevos. En el conjunto hay que tener cuidado que sea para el tamaño de reductor en cuestión, que tenga el mismo número de dientes, y que haya sido fabricado con las mismas especificaciones (número de serie del reductor) con el que se fabricó el piñón que se tiene montado.

En caso dado que se quiera solo girar el piñón (y éste solo presenta desgaste en una cara de los dientes), se sigue el mismo procedimiento. Solo que hay que calentar el piñón en un baño de aceite, extraerlo, volverlo a calentar y montarlo en forma invertida, con el fin de poner a trabajar los nuevos flancos o caras de los dientes.

Si lo que se desea, es solo cambiar el piñón, dejando la misma flecha o eje, hay que tener cuidado de que el piñón que se tiene de repuesto es para éste reductor en particular (mismo número de serie), ya que cada reductor aún siendo del mismo tamaño, relación, y número de dientes, el ajuste en la flecha y el maquinado de los dientes son diferentes para cada reductor en particular.

Desarrollo del método

Equipo y herramientas a usar

- Dos micrómetros de carátula con su portaimán.
- Calibrador de lánas.
- Mazo de bronce.
- Llaves de mano y de golpe.
- Micrómetro para medición de interiores y exteriores. En caso de utilizar el mismo eje o flecha.
- Extractor de piñón, en caso de utilizar el mismo eje o flecha. (ver figura 45).

Equipo y material de apoyo

- Grúa de 10 toneladas con estrobos y durmientes de ferrocarril, para desmontar y montar la tapa y piñón de alta velocidad del reductor Simetro.
- Baño con aceite para calentar el piñón, en el caso de utilizar el mismo eje o flecha.
- Lámpara de baterías o linterna.

Materiales de trabajo y consumo

- Manta para limpieza.
- Película de polietileno de 0.600" y lona para cubrir reductor.
- Diesel.
- Tiza, crayón y/o marcador de tinta para metales.
- Aceite para un posible cambio (cantidad según tamaño del reductor)

Periodicidad

Este procedimiento solo se sigue en el evento remoto de existir la necesidad de cambiar el piñón de alta velocidad del reductor Simetro.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

Trabajos previos

Antes de proceder a programar el cambio de rotación del molino, se deberá mandar a fabricar el conjunto del piñón (piñón, eje, rodamientos y sus sellos) con el fabricante, teniendo cuidado de indicar el número de serie del reductor para que se fabrique de acuerdo a las tolerancias con las que se fabricó originalmente; el piñón deberá estar montado en su flecha y con sus baleros.

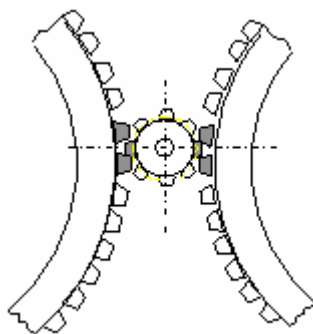
En caso de que solo se pueda adquirir el piñón (sin eje ni rodamientos) o sea imperante el giro del mismo por querer utilizar la otra cara del diente, ver el punto cambio y/o giro del piñón que se menciona más adelante.

Preparativos

Los pasos a seguir en esta fase comprenden de lo siguiente:

- 1.- Extraer o vaciar el aceite de reductor Simetro, mandando analizar una muestra para determinar las condiciones del mismo, y saber si todavía está en condiciones de seguir trabajando.
- 2.- Quitar o desmontar la tapa o cubierta del reductor Simetro, levantarla unos 30 cms arriba del engrane intermedio para que no pegue por ningún motivo en los flancos o caras de los dientes de los engranes. Dejarla en el piso sobre durmientes.
- 3.- Se marcan referencias de engranamiento del eje de alta velocidad (ajuste axial etc.), eje intermedio y baja velocidad tomar medidas para el montaje posterior. Ver figura 43.
- 4.- Obtener referencias de posición del cojinete de equilibrio del eje de baja velocidad o de torsión.

Figura 43. Referencias de engranamiento del eje de alta velocidad



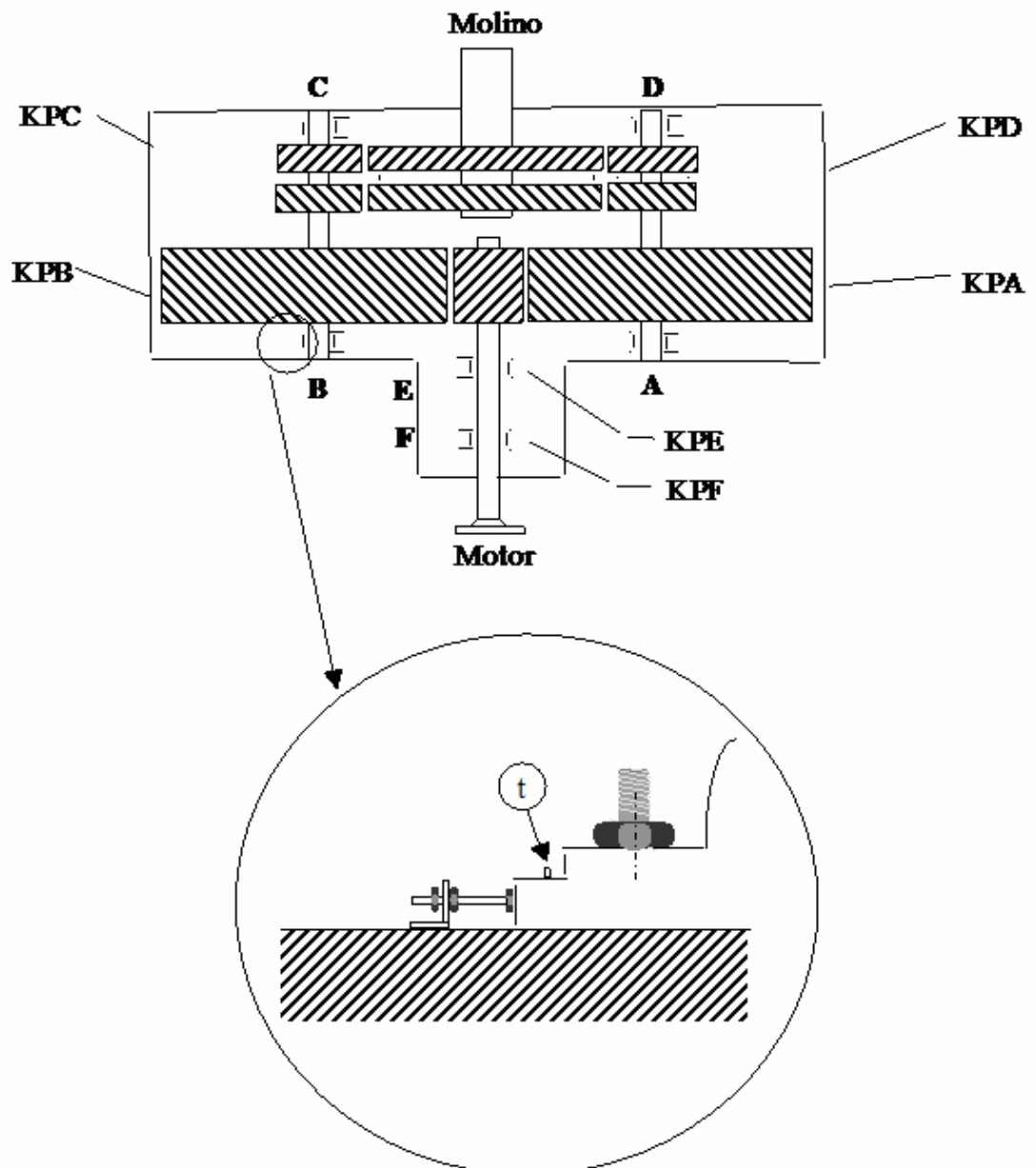
Desmontaje

Existen dos procedimientos a seguir para el desmontaje y montaje del piñón, el que conviene seguir, dependerá del espacio que hay entre motor y reductor, y si se tiene giro lento o no.

Desmontaje por desplazamiento axial del eje de alta velocidad

Se puede desmontar el eje de alta velocidad sin desplazar previamente los ejes intermedios. Sin embargo, para hacer esto, será preciso -una vez suelto el acoplamiento- que el motor se desplace tanto que la caja de soporte con el eje y el piñón pueda desengranarse, en el sentido axial, de las ruedas intermedias. Para esto se quitan las tapas de la caja de soporte en dos partes E/F (ver figura 44).

Figura 44. Desmontaje del eje de alta velocidad



Desmontaje por desplazamiento de los ejes intermedios

- 1.- Se terminan de sacar las charolas inferiores de retención de aceite de los engranes intermedios.
- 2.- Se desengranan los dos ejes intermedios sacando con cuidado las espigas o pernos guía "t" (véase fig. 44) de las bridas de base de las respectivas cajas de soporte (A/D ó B/C) y se quitan los tornillos de sujeción de las chumaceras o cojinetes.
- 3.- Por medio de las tuercas de ajuste (véase fig. 44) se llevan ambos soportes, simultáneamente, hacia atrás, de forma que los dientes de las ruedas intermedias se desengranen de los dientes del piñón.
- 4.- Se suelta el acoplamiento y se quitan las tapas de la caja de soporte en dos partes E/F, pudiéndose sacar verticalmente el eje de alta velocidad.

Montaje

Para iniciar el montaje, primero se limpia perfectamente el eje y los rodamientos o baleros. Se quita toda rebaba que pudieran tener los dientes del piñón nuevo.

Si se deben montar rodamientos nuevos, esto se efectúa habiendo calentado los soportes en aceite hasta una temperatura de 75°.

Montar la mitad de acoplamiento (medio cople) del motor principal (o giro lento, si lo tiene), calentándolo a 150°C en un baño de aceite, para su montaje.

Colocar los componentes en la caja de cojinetes E-F, tapas, juntas, etc., y montar luego la parte superior de la caja de cojinetes.

Antes de que se proceda al montaje de la caja de cojinetes, el lado inferior de ésta y la cara de contacto del marco de fondo deben limpiarse y untarse de aceite.

La caja de cojinetes se coloca en su sitio, y se ajusta con tanta precisión cuidando que las espigas de guía se deslicen por gravedad en sus agujeros, después de lo cual se terminan de introducir firmemente, dándoles un golpe ligero con un mazo de bronce, y se sujeta la caja de soporte.

Montaje por desplazamiento axial del eje de alta velocidad

Si el desmontaje se hizo mediante deslizamiento axial, después de colocar el piñón en su sitio, el motor se empuja hasta quedar en su posición y se unen los medios acoplamientos. La alineación del cople entre reductor/motor, se realiza, una vez que el piñón se coloca en su sitio tomando como base las medidas de referencia que se tomaron antes del desmontaje.

Montaje por desplazamiento de los ejes intermedios

Si el desmontaje se hizo mediante desplazamiento de los ejes intermedios, después de colocar el piñón en su sitio, se deslizan los ejes intermedios hasta que las cajas de cojinetes queden en su sitio y se ajustan con tanta precisión cuidando que las espigas de guía se deslicen por gravedad en sus agujeros, después de lo cual se terminan de introducir firmemente, dándoles un golpe ligero con un mazo de bronce y se sujeta la cajas de soporte, es preciso tomar como base las medidas de referencia.

Ajuste y calibración

Después del montaje, se comprueba mediante una regla recta y calibrador de lanas, si la posición axial de los ejes intermedios es la debida (ver lecturas tomadas antes del desmontaje).

Si el desplazamiento axial (si existe) no es el prescrito, se puede desplazar el eje intermedio un poco en el sentido axial, desplazando sus rodamientos en las cajas soporte. Para tal fin sirven los tornillos de ajuste de las cajas de cojinetes de los rodamientos, después de realizado el ajuste, se deben asegurar las tuercas respectivas.

Armado final

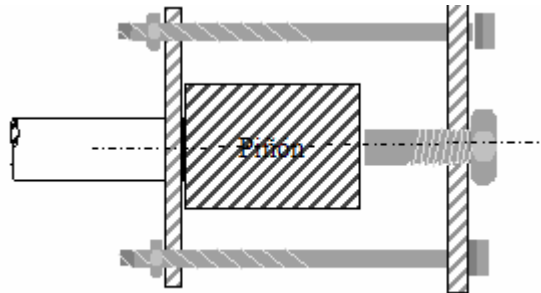
Una vez ajustado el reductor, se coloca en su sitio la cubierta, cuidando de que se coloquen las empaquetaduras entre la parte superior y el marco de fondo, y entre las paredes laterales de la parte superior y las tapas de los soportes para los ejes de alta y baja velocidad.

Se carga de nuevo con aceite (si es aceite aún es de calidad cuidar que sea filtrado) la caja del reductor y los soportes. Además se echa aceite hasta rebosar en los soportes intermedios A, B, C y D.

Cambio y/o giro del piñón

Cuando por algún motivo se llegara a utilizar el mismo piñón girándolo para que trabaje la otra cara de sus dientes, o se quiera cambiar el piñón por uno nuevo, se siguen los mismos pasos anteriores, con la salvedad de preparar el conjunto armado.

Figura 45. Extracción del piñón utilizando un extractor



Extracción del piñón

Para el desmontaje del piñón, se calienta éste y se extrae utilizando para ello un extractor (ver figura 45), teniendo cuidado de no forzar la extracción evitando con esto el arrastrar el piñón con el eje, con el fin de no dañar la flecha o eje, ni el barreno interior del piñón.

Si por alguna causa se dañó el eje o el barreno del piñón, estos se pueden reparar siempre y cuando el daño no exceda del 5% del total y su profundidad sea inferior a 0.003", para ello se deberá lijar cuidadosamente la parte afectada.

Montaje del piñón

Antes de montar el piñón en la flecha o eje, se deben medir los diámetros de ambos. **El montaje no debe hacerse a golpes**, ya que este procedimiento podría dañar las piezas.

Para montar el piñón, se requiere un baño o depósito con aceite, el cual se debe calentar a fuego directo hasta 75°C. En éste depósito de aceite, se coloca el piñón, y se calienta hasta alcanzar una temperatura de 150° C.

Entonces al alcanzar esta temperatura se mide el agujero o barreno del piñón, y se compara con el de la flecha, para que no exista interferencia para el montaje.

Cuando se tiene seguras las dimensiones de montaje, unas 0.005" de holgura (en caliente), entonces se procede al montaje, haciendo este en un solo paso, cuidando que quede en su posición.

Hay gran riesgo de formación de grietas en el piñón, si durante el calentamiento, surgieran diferencias de temperatura, por lo que hay que procurar que el calentamiento no sea brusco o repentino.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de maquinaria. Puesto que se requiere trabajar muy cerca de la misma, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad, etc.

Los engranes y ejes son piezas que requieren de un manejo especial, por lo que siempre deben colocarse sobre madera blanda (pudieran ser durmientes de FFCC), nunca sobre algo duro como pudiera ser el piso de concreto, etc., para evitar que se dañe.

Por seguridad para la inspección interior se deberán emplear lámparas portátiles con cable, cuyo voltaje no exceda de 42 VCA, o de 65 VCC provistas de vidrio impermeable, rejilla de protección y mango de lámpara sin interruptor. En lugar de las lámparas también se recomienda en lo posible utilizar mejor linternas de mano de pilas.

Al trabajar cerca del reductor ya sea abierto o cerrado no se deben emplear luces de llama, soldar, ni fumar, debido a las cualidades explosivas de los vapores del aceite.

Durante la limpieza del reductor, debe estar bien ventilado.

Límites condenatorios o permisibles

Los pernos guía o espigas de guía que se sacan de las bases soporte, deben tratarse con el mayor cuidado, toda vez que será muy difícil determinar su localización exacta de los soportes si las espigas o pernos se deforman.

Durante todo el tiempo, se deberá vigilar que la chumaceras del molino permanezcan dentro de la tolerancia de ± 0.2 mm de albeo máximo.

Comentarios y observaciones, el cambio de piñón del reductor Simetro se debe realizar con personal altamente calificado y con bastante experiencia, por lo que en ocasiones, si no se dispone en planta con personal calificado, se deberá contratar o solicitar al Departamento Técnico el servicio.

3.3.7 Cambio de membranas del cople de baja velocidad de molino tipo horizontal

Objetivo y alcance, presentar los pasos a seguir para cuando sea necesario el cambio de membranas del cople de baja velocidad de molino tipo horizontal.

Bases o sustentación del método, el acoplamiento de membranas es un dispositivo mecánico de transmisión de movimiento, típicamente usado entre reductor y molino, el cual tiene la capacidad de absorber cierto desalineamiento e impactos. Consta de un juego de membranas que van remachados a un eje de torsión y sujetas a dos cubos de acoplamiento mediante pernos. Ver figura 46.

Las membranas son los elementos que sufren fatiga por la operación, y muchas veces se les encuentra con deformación ó herrumbre, por lo que debe considerarse su sustitución para efectos de confiabilidad en la operación del equipo.

Desarrollo del método

Equipo y herramientas a utilizar

- Micrómetro de carátula con su portaimán.
- Aditamento para montaje y desmontaje de rueda de balance, ver figura 46.
- Soporte para eje de torsión o baja velocidad, ver figura 47.
- Torquímetro de 150 Kgs- mts. mínimo.
- Herramienta de mano y golpe.
- Taladro vertical.
- Guía para taladro vertical de 1/2".
- Broca de 34.1 mm de diámetro.
- Broca de 3/32" de diámetro.
- Rima de 34.5 mm de diámetro.

Equipo y material de apoyo

- Plano o dibujo de posición del molino.
- Estructura para quitar eje de torsión armado.
- Silleta soporte para flecha de baja velocidad.
- Estructura con gato hidráulico de 300 tons. para extraer mamelón.
- Gato hidráulico de 30 tons. para montar membrana con eje de baja velocidad.
- Grúa o polipasto para efectuar maniobras, que pueda soportar el eje de baja velocidad con membrana.

- Grúa de 10 toneladas con estrobos y durmientes de ferrocarril, para desmontar y montar, tapa y rueda de balance del reductor Simetro.
- Andamios y escaleras para facilitar maniobras acceso.
- Linterna o lámpara de mano.

Materiales de trabajo y consumo

- Manta para limpieza.
- Película de polietileno de 0.600" y lona para cubrir reductor.
- Diesel o dielectrol.
- Tiza, crayón y/o marcador de tinta para metales.
- Pintura para proteger/cubrir membrana nueva.
- Alambre en tramos de 1.5" de plomo.

Periodicidad

Este procedimiento, solo se sigue en el evento remoto, de existir la necesidad de cambiar la membrana de baja velocidad del molino.

Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

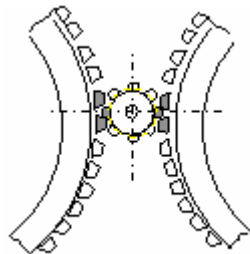
Preparativos

Los pasos a seguir en esta fase comprenden de lo siguiente:

- 1.- Extraer o vaciar el aceite de reductor Simetro, mandando analizar una muestra para determinar las condiciones del mismo, y saber si todavía está en condiciones de seguir trabajando.
- 2.- Quitar o desmontar la tapa o cubierta del reductor Simetro, levantarla unos 30 cms. arriba del engrane intermedio para que no pegue por ningún motivo en los flancos o caras de los dientes de los engranes, dejarla en el piso sobre durmientes.

- 3.- Extraer la bola del molino.
- 4.- Marcar el eje de baja velocidad y tomar medidas de referencia. Esto consiste en identificar los dientes que están haciendo contacto marcándolos con pintura (ver figura 45), así como su posición axial respecto a los ejes intermedios antes de iniciar cualquier movimiento.

Figura 46. Referencias de engranamiento del eje de baja velocidad



- 5.- Obtener referencias de posición del cojinete de equilibrio del eje de baja velocidad.

Figura 47. Soporte para colocación del eje



Desmontaje

- 1.- Se desmontan los tornillos de fijación del cojinete de equilibrio

- 2.- Bajar el eje de baja velocidad al piso, colocándolo en el soporte destinado para ello.
- 3.- Quitar la membrana dañada y extraer el mamelón, con los tornillos extractores o utilizando un gato hidráulico de 300 toneladas.
- 4.- Enviar el mamelón a un taller con taladro vertical para instalar la nueva membrana.

Instalación de membrana

El eje con la membrana una vez en el taller se realizan las actividades siguientes:

- a) Limpiar y maquinar media cara lateral del mamelón, para poder centrarse la membrana. La tolerancia del centrado del mamelón es +/- 0.005 mm (0.1 mm total).
- b) Para centrar el mamelón se hace un empalme o "*sandwich*" con los tres platos y birlos **preparados con anterioridad**.
- c) Perforar 8 agujeros y colocar la tornillería anterior para después cambiar el plato inferior, por la contraparte del mamelón y de esta manera proseguir perforando y rimando esta vez para colocar y torquear a 1,450 Nt-mt. la tornillería nueva.

Las perforaciones se realizan de la siguiente manera:

- Colocar la guía de 1/2" para efectuar un orificio de 1/2" de diámetro, para que sirva de guía a la broca de 34.1 mm de diámetro y posteriormente rimar, con la rima de 34.5 mm de diámetro.
- Al terminar un agujero se coloca la tornillería y se torquea para asegurar que no se pierda el centrado del mamelón.

- Al terminar con las 2 hileras de perforaciones que tiene el mamelón, se le da 1/2 vuelta para proseguir con las del centro; procurando de no dañar la rosca que tienen interiormente.
- Se tornea de nuevo toda la tornillería y se les hace un candado, perforando entre el tornillo y la tuerca con broca de 3/32" de diámetro e introduciendo con 1.5" de longitud, alambre de plomo.
- Se monta la nueva membrana con el mamelón al eje de baja velocidad usando tornillos y al final un pequeño gato hidráulico de 30 toneladas, se introducen los *clinser* entre flecha y el mamelón.

Montaje de membrana

Antes de montar las mitades de acoplamiento (o mamelones) en los ejes, debe efectuarse una medida de control tanto del maquinado de los mamelones como de los ejes. Los mamelones o medios coples nunca deben encajarse a golpes, ya que este procedimiento podría estropear los ejes.

Para los mamelones (o cubos) fijados por chaveta, el maquinado y el medio cople (o gorrón) deben hacerse con un ajuste tal que el puedan encajarse justamente sobre el eje. Luego hay que adaptar la chaveta.

Para los mamelones (o cubos) fijados por lengüeta, se utiliza un ligero ajuste prensado. En tal caso el eje debe fabricarse con cierta sobremedida que debe hallarse dentro de los límites en la tabla IV. Antes de colocarlo, debe calentarse el mamelón (o cubo) entero hasta una temperatura de 150°C arriba de la temperatura del eje.

Después de lograr esta temperatura en el mamelón o cubo, se podrá montar fácilmente sobre el eje en su posición.

El medio cople puede calentarse en baño de aceite, siguiendo el mismo método que se emplea para rodamientos. También puede hacerse el calentamiento en un horno convencional, teniendo cuidado, que la pieza no toque el fondo ni las paredes.

Tabla IV. Valores de sobremedida permisibles para fabricación de ejes

Tabla IV

Diámetro del eje (mm)		Sobremedida (mm) (+)	
Superior	Hasta incl.	máx.	mín.
10	18	0.024	0.005
18	30	0.028	0.006
30	50	0.033	0.006
50	80	0.039	0.007
80	120	0.046	0.009
120	180	0.054	0.011
180	250	0.061	0.012
250	315	0.070	0.015
315	400	0.075	0.014
400	500	0.082	0.015

Montaje

Una vez terminado en el taller el cambio de la membrana dañada por la nueva en el eje de baja velocidad del molino, se procede al montaje del mismo en el molino, siguiendo los pasos siguientes:

- Se monta el eje de baja velocidad, respetando las marcas y referencias anteriormente anotadas.
- Se chequea con un cordón tirante la concavidad de la membrana ya instalada.
- Se checa la alineación para dejar dentro de tolerancia ± 0.125 mm.

Se riman 4 barrenos guía en el cople de membranas y se fabrican 4 pernos según medida, y se colocan apretandolos a 157 Kg o 1570 Nm

d) Torquear los tornillos a 80 Kg-mt.

Alineación de membrana

Para el alineamiento de membrana, es necesario seguir las instrucciones que se indican en el módulo correspondiente al control de la alineación de membranas de baja velocidad.

Trabajos finales

Antes de poner a operar la máquina debemos asegurarnos de que tenemos bien bloqueados tornillos y tuercas de los elementos que se trabajaron, esto para asegurar que las vibraciones normales de la máquina en operación, aflojen éstos elementos de sujeción.

Los pernos de sujeción de las membranas deben estar bloqueados por una espiga de cobre que atraviese la tuerca y el tornillo.

Para evitar desperdicio de aceite, asegurarse tener buenas empaquetaduras en los siguientes puntos:

- a) Entre el indicador de nivel de aceite y la pared de chapa.
- b) En cada lado de los agujeros para pernos, entre el marco de fondo y la parte superior.
- c) Entre los topes y las cajas de los cojinetes A, B, C y D se aplica parte para juntas.

Cargar de aceite el reductor con aceite limpio y de la calidad indicada en el manual del fabricante.

Se carga el molino con la bola correspondiente.

Trabajos adicionales

- 1) A las ocho (8) horas de operación, se recomienda reapretar la membrana, y así sucesivamente cada 8 horas hasta que los tornillos dejen de aflojarse.
- 2) Hacer una medición de control a la planicidad de las membranas en el proceso de reapriete de tornillería, midiendo con una recta la distancia “x” y “y” que deben mantenerse con la misma dimensión.

Interpretación de resultados

Los resultados que se deben tener bajo este procedimiento, deben ser positivos.

Los valores de x y y, obtenidos en las mediciones finales y durante el reapriete de los tornillos de membrana, nos indicarán un buen montaje.

Aspectos de seguridad

Siempre es peligroso trabajar cerca de maquinaria. Puesto que se requiere trabajar muy cerca de la misma, se deberá utilizar la ropa adecuada, lentes de seguridad, zapatos de seguridad, guantes y casco de seguridad, etc.

Por seguridad, para la inspección interior del reductor Simetro, se deberán emplear lámparas portátiles con cable cuyo voltaje no exceda de 42 VCA, o de 65 VCC, provistas de vidrio impermeable, rejilla de protección y mango de lámpara sin interruptor. En lugar de las lámparas también se recomienda en lo posible utilizar mejor linternas de mano de pilas.

Al trabajar cerca del reductor ya sea abierto o cerrado, no se deben emplear luces de llama, soldar, ni fumar, debido a las cualidades explosivas de los vapores del aceite.

Límites condenatorios o permisibles

Se deben seguir lo mencionado en el procedimiento 3.3.2, o sea, para la excentricidad se tiene como máximo permitido ± 0.25 mm (0.50 mm total).

Para el paralelismo entre ejes se tiene una tolerancia máxima de 2 mm por cada dos veces el diámetro entre barrenos de unión de medios coples. Por ejemplo, si el diámetro es de 2 mts., la tolerancia es de 4 mm.

3.3.8 Alineación de embrague principal tipo neumático

Objetivo y alcance, generalmente un embrague utilizado en cualquier tipo de transmisión, debe tener características de diseño y fabricación bien definidas. En el caso de los embragues utilizados en los equipos de molienda, estas características serán para trabajo severo, donde existen cargas muy altas y deslizamientos interrumpidos que tienden a reducir la eficiencia del embrague y su vida útil. (Ver figura 48.)

El objetivo de éste documento es el de dar una guía para el alineamiento de éste tipo de embragues, hecho fundamental para alargar la vida útil de éstos equipos.

Base o sustentación del método, un equipo rotativo con defectos en su alineación, siempre provocará problemas. En los embragues neumáticos utilizados en los molinos de bolas, podemos detectar el tipo de desalineamiento de la manera siguiente:

- Desgaste irregular de balatas: un desgaste angular en la superficie de la balata indica un tambor gastado y con mala alineación.
- Desgaste de las zapatas de aluminio, el desgaste en los extremos de las zapatas por la fricción contra los platos laterales, es indicación de un mal alineamiento. Si el desgaste se concentra en un solo extremo y uniforme en todas las zapatas de aluminio, un tambor desgastado podría estar causando que las zapatas carguen sobre el elemento cuando esté embragando, si el desgaste existe en ambos extremos de la zapata, la causa podría ser un desalineamiento excesivo.

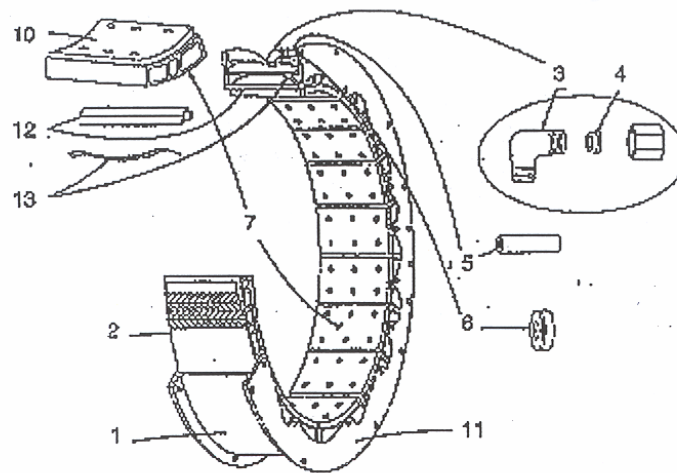
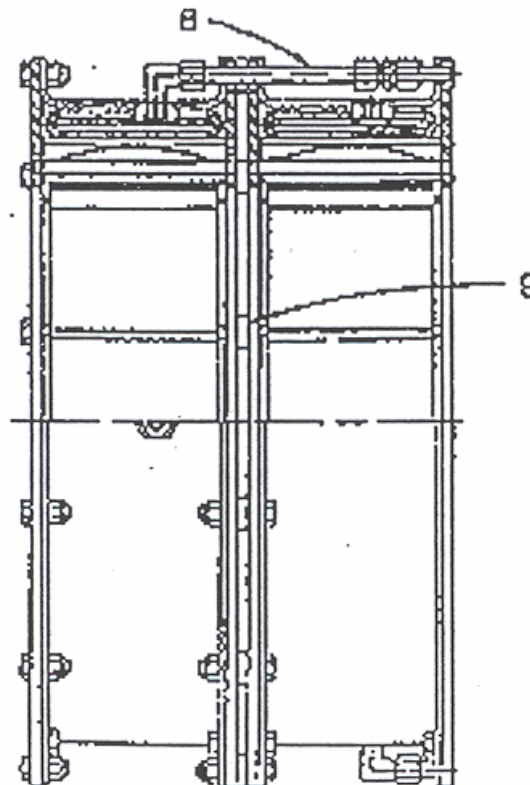


Figura 48. Descripción de las partes del embrague neumático

1. Orilla / Pestaña
2. Tuvo / Apriete
3. Codo de ensamble
4. Anillo de compresión
5. Tuvo de conexión de aire
6. Empaque
7. Zapata de fricción
8. Grupo de tubería de Aire
9. Grupo de espaciadores
10. Camisa de fricción de reemplazo
11. Barra de torsión
12. Resorte de Lanzamiento



Una ligera marca en la cavidad de la barra de torsión es normal, sin embargo, si la marca aparece en un extremo corto, revisar la alineación de flecha.

Barras de torsión y muelles.- Desgaste excesivo en los extremos de las barras de torsión en donde los muelles hacen contacto, indica un desalineamiento paralelo excesivo.

Desarrollo del método

Equipo y herramienta a usar

- Reloj indicador base magnética. Escala 1 mil.
- Lainómetro en mils de pulgada. (1/2")
- Micrómetro de 0 a 1". plg.
- Block escala de 24"
- Micrómetro de interiores de 0 - 1" plg.

Periodicidad

El embrague usado en molienda, tipo neumático *Air - Flex.*, son del tipo autoajutable y absorben cierto desalineamiento y desgaste del tambor.

El alineamiento debe ejecutarse cada dos años como mínimo ó cada vez que sea detectada alguna irregularidad en un funcionamiento y/ó los desgastes previamente mencionado en el apartado anterior.

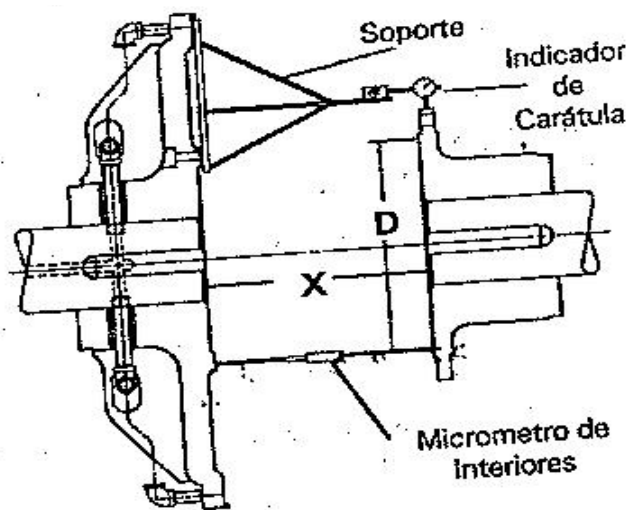
Procedimiento, métodos de cálculo y resultados

Alineación de la flecha

Las flechas deberán tener un ajuste a una distancia "x", como se muestra en la figura 48. Esta distancia de reparación entre flechas, será determinada por el tamaño de embrague utilizado.

Hay que fabricar un soporte rígido para sostener el indicador de carátula. Este soporte a su vez deberá fijarse firmemente al medio cople de la araña, como se muestra en la figura 48.

Figura 49. Alineación de la flecha



Alineación radial

Limpie perfectamente el diámetro exterior de la brida, en la cara de la masa del tambor donde se tomarán las lecturas con el reloj indicador.

Se gira la araña y se toman las lecturas en cuatro puntos, distanciados 90°. El pivote del reloj indicador, deberá estarse deslizando libremente sobre el diámetro exterior de la brida. Si ambas flechas, tienen la facilidad de guiarse a la vez, es lo más recomendable para evitar los defectos de lectura por la irregularidad en la superficie de la brida. Ver fig. 48.

Alineación angular

Con el cople perfectamente limpio, se procede a hacer las mediciones para el alineamiento angular, midiendo la separación (x) que hay entre la araña y la cara de la masa del tambor, utilizando para ello, un micrómetro de interiores.

Se puede medir con un reloj indicador de carátula y considerar los rangos de desviación permisibles que se mencionan en el apartado de tolerancia.

Si se usa un reloj indicador para tomar éstas lecturas debemos asegurarnos de corregir cualquier movimiento axial de la flecha.

Para reducir la influencia de cualquier irregularidad en la superficie de chequeo, deberán de tomarse lecturas a cada 90° . Se recomienda tomar al menos cuatro series de lecturas y promediarlas para sacar el valor de corrección.

Interpretación de resultados

Una vez que se tienen las lecturas, se analizan y se deciden los movimientos a realizar. Estos movimientos deberán hacerse en la chumacera lado móvil, normalmente esta chumacera es la del lado motor.

Ya que se tiene la alineación deseada, se asegura la posición de las bases con reapriete de tornillería en forma definitiva y se toma nuevamente una corrida a las lecturas de alineamiento y estas son las lecturas que deberá anotarse en el record de la máquina.

Aspectos de seguridad

Todo el equipo rotativo deberá estar protegido, siguiendo las normas de seguridad aplicables.

La operación del embrague con un tambor demasiado desgastado ó que ha sido maquinado a un diámetro menor que los mínimos permisibles, puede causar daños a los componentes del elemento.

No intentar usar solvente para remover aceite y grasa con el equipo instalado, existe peligro de incendio por el calor generado durante el deslizamiento.

Solo personal calificado deberá mantener y reparar estas unidades. Fallas técnicas al ajustar y/ó armar, podría causar daños al personal ó al equipo.

Comentarios y observaciones

En algunas aplicaciones el incremento de temperatura del molino ó del reductor, pudiera afectar la alineación en condiciones normales de operación. Es buena práctica, hacer una alineación en caliente, revisando y reajustando si es necesario.

3.4 Evaluación de la situación actual y análisis de resultados

En base a la implementación del programa de mantenimiento preventivo propuesto anteriormente y al seguimiento de cada una de las tareas indicadas y resultados obtenidos, se debe elaborar una guía de mantenimiento a detalle para cada área de la planta y específicamente para cada máquina.

Se debe registrar en hojas técnicas la cantidad de fallas por área y analizar y comparar con la frecuencia de fallas antes de implementar el programa, para así poder cuantificar los beneficios obtenidos.

3.4.1 Evaluación de la situación actual

Cultura

En la planta Arizona de CEMEX Guatemala se puede observar un estado de motivación positiva, deseo de cooperación y participación del personal, lo cual es beneficioso para la implementación de cualquier proyecto y es un factor el cual se puede aprovechar para el mejoramiento de la planificación del mantenimiento.

En los niveles jerárquicos superiores se percibe una cultura de adaptación a los cambios, y al uso de tecnologías y herramientas de avanzada que permitan a la empresa posicionarse en un nivel de competencia acorde a las exigencias de los nuevos mercados, con clientes más exigentes. Están en la disposición de hacer la inversión de los recursos necesarios para el éxito de los proyectos siempre que estos se justifiquen adecuadamente.

Se tiene claro que existen otros competidores y que la manera de mantener la participación en el mercado es cumpliendo con las exigencias de los clientes y siendo innovadores en cuanto a nuevos y mejores productos que cumplan con los estándares de calidad y precios que permitan ser una buena y mejor opción para el cliente.

En cada uno de los demás niveles se percibe un clima de receptividad de las obligaciones asignadas para el desarrollo de las actividades necesarias con el objetivo de lograr que tengan el éxito propuesto.

Es notorio el compromiso de los equipos de trabajo para con el cumplimiento de las metas para que éstas logren su mayor alcance.

Organización

En la estructura de la planta se encuentran centralizadas las actividades de mantenimiento como actividades de lubricación, análisis de aceites, gestión eléctrica y de instrumentación, lo cual permite al departamento de planeación y mantenimiento tomar decisiones sobre las actividades respectivas que les corresponden y obtener un mejor control de las mismas.

Capacitación

El aprendizaje hasta ahora se puede decir que no tiene límites, cada día que pasa tiene eventos nuevos de los cuales aprendemos. El mantenimiento mecánico es un ambiente en el cual cada día existen nuevas herramientas de las cuales si hacemos un correcto uso y lo adaptamos a las necesidades particulares de nuestra organización podemos lograr el máximo desempeño. Esto hace que en la planta existan algunas necesidades de capacitación, de manera que es necesario implementar un sistema para capacitar a cada miembro en su especialidad ya que no basta con la motivación y el deseo para desempeñar con eficiencia sus funciones, también es necesario que tengan los conocimientos.

3.4.2 Evaluación de equipos

Entre los puntos mas importantes para el mejoramiento de las actividades de mantenimiento se propone lo siguiente:

Programa de visualización

Cada uno de los equipos que cuentan con instrumentos de medición de sus diferentes funciones, deben estar claramente identificados y marcados para que cualquier persona pueda distinguir los niveles normales de operación. Se deben identificar por ejemplo los niveles máximos y mínimos de aceite, presión, temperatura, etc.

Esta tarea requiere una estrecha cooperación de las áreas de proceso, con el fin de determinar los valores de operación aceptables para los distintos dispositivos.

Análisis de vibraciones

Una de las variables más importantes para el análisis del comportamiento de los equipos son las vibraciones, una correcta medición e interpretación de los resultados puede ser la base para un buen programa de mantenimiento preventivo.

Para completar y mejorar las actividades de mantenimiento se debe tomar en cuenta factores tales como la criticidad de los equipos y la frecuencia de fallo de algunos de ellos y adicionar al programa de mantenimiento todo aquel equipo que por criterio requiera la integración a dicho programa, con esto se puede mejorar el desempeño y la disponibilidad de los equipos principales.

Análisis de aceite

Para determinar los equipos a los cuales se les debe practicar un análisis de aceites se debe tomar en cuenta la criticidad y el tamaño de los depósitos.

Luego de considerados estos aspectos y comparados con el costo de análisis, se debe agregar al programa de mantenimiento, aquellos equipos que necesiten integrarse.

Una vez que se disponga de información de referencia (luego de un año de monitoreo) y en función de los resultados, las frecuencias deben optimizarse.

Los resultados de las muestras analizadas son recibidos por el responsable de inspección predictiva, el cual analiza y correlaciona la información con los demás rubros como vibraciones, temperaturas, etc. Con esto se puede hacer un análisis completo del equipo y en coordinación con el responsable de lubricación y el encargado del área a la que pertenezca el equipo respectivo, ejecutar las acciones necesarias para mejorar el desempeño. Es necesario definir los puntos óptimos donde se extraerán las muestras y que se marquen dichos puntos.

Termografía

Para lograr un mayor beneficio es recomendable hacer un análisis profundo en equipos mecánicos y de proceso para extender esta técnica, como por ejemplo reductores principales tales como molinos y hornos, chumaceras de hornos y ventiladores importantes, precalentador y ducto de aire terciario, por mencionar algunos.

Esta parte del programa de mantenimiento se maneja bajo el rubro de servicio de externos, de acuerdo a los resultados obtenidos es necesario replantear las frecuencias de inspección buscando primeramente 6 meses y después un año como objetivo.

Datos

Durante una visita al campo se pudo apreciar que no existen puntos marcados para la toma de vibraciones, lo cual es necesario para asegurar que cada lectura sea lo más similar a la anterior en el sentido de eliminar el error de medición. Como resultado de esta apreciación física se puede ver que los equipos no son monitoreados y no incluyen los puntos marcados, lo que ocasiona un cierto riesgo de que se produzca la falla en alguno de estos y no sea detectada en sus etapas tempranas. Es necesario marcar puntos de medición para evitar que esto pase.

3.4.3 Evaluación financiera y análisis de resultados

En cuanto a las estrategias para conseguir la disminución de los costos totales de mantenimiento se considera que con la implementación de un programa de mantenimiento preventivo se puede hacer más eficiente el mantenimiento mismo. Además conseguir una disminución de mantenimiento correctivo.

Actualmente se considera disminuir los costos totales por tonelada en un 5% por de bajo del presupuesto asignado.

El total de horas de paro por fallas mecánicas desde la alimentación de materia prima hasta la molienda de cemento en el periodo estimado de julio 2007 a julio 2008 es de 137.80, según se considera por el tipo de fallas que con la aplicación de las técnicas que componen el programa de mantenimiento se podrá evitar un 13% del total de fallas mecánicas. Lo que nos permite considerar un resultado de disminución de 17.914hrs. Si multiplicamos este resultado por la producción promedio nos queda de la siguiente manera: $17.914\text{hrs.} \times 60\text{TM/hr de cemento} = 1074.84\text{TM de cemento producido}$. Encontramos que tendremos un aumento aproximado de 1074.84TM/año.

Al analizar los resultados obtenidos podemos decir que la Planta Arizona se encuentra en una posición que se puede considerar aceptable, esto como resultado de los esfuerzos que se han echo para la mejora de los programas de mantenimiento que le permitan ser una planta competente, y concientes de que el mantenimiento es una fuente de ingresos cuando los recursos son administrados en forma eficiente y las actividades son efectivas y eficaces.

Desde luego, existen aspectos en los que se puede mejorar, causa por la cual se han hecho los estudios de las condiciones actuales de desempeño del programa de mantenimiento y sus resultados y como consecuencia se han hecho las recomendaciones respectivas en secciones anteriores.

De la implementación de las recomendaciones anteriores y de la disposición de cada uno de los integrantes de la organización para realizar las actividades correspondientes, depende el avance que se pueda tener en lo que respecta al plan de conservación.

CONCLUSIONES

1. En la planta del molino FEMA se presentan frecuentemente paros por fallas de maquinaria y equipo, debido a la falta de un programa eficiente de mantenimiento preventivo bien administrado y enfocado desde el punto de vista económico.
2. El programa de mantenimiento preventivo presentado y propuesto en este trabajo, proporciona el camino a seguir en cuanto a las labores de mantenimiento necesarias, cuyo beneficio se reflejará en una producción asegurada y garantizada, y una vida más larga de maquinaria y equipo.
3. Las labores de mantenimiento indicadas y programadas en este trabajo deben tener prioridad ante los trabajos planificados de ampliación, reconstrucción o modificación, debido a que pretenden mantener en óptimas condiciones la maquinaria y equipo y solo deben estar subordinadas a las labores de producción.
4. Una administración efectiva de las actividades de mantenimiento de la empresa necesita un programa que le dé soporte, por medio de una base de datos que contenga toda la información respectiva para cumplir con dichas actividades; de esta manera será posible estructurar un plan específico para el mantenimiento de los equipos de la empresa. El establecimiento de las rutinas de mantenimiento y sus frecuencias serán fundamentales para lograr que las actividades de tipo preventivas representen el mayor porcentaje del total de actividades que realice el personal de mantenimiento.

RECOMENDACIONES

Al Gerente

1. Aprobar la implementación del programa de mantenimiento y velar porque se ejecute con una responsabilidad fundamental para lograr obtener los objetivos deseados.
2. Desempeñar un papel indispensable en cuanto al óptimo rendimiento y resultados que deben obtenerse sobre la inversión de maquinaria, equipo, materiales y recurso humano; los cuales se lograrán a través de una labor de mantenimiento bien administrada.
3. Direccionar el departamento de mantenimiento con bases firmes y concretas y enfocarlo desde el punto de vista económico, para que de esta manera se logren resultados más concretos, tangibles y cuantificables.

Al Jefe de Mantenimiento

4. Orientar los trabajos y labores de mantenimiento, conservar la calidad del servicio que presta la maquinaria y equipo, no el aspecto “mecánico” de su funcionamiento.
5. Implementar correctamente el programa de mantenimiento propuesto, para garantizar la operación y el servicio que presta la maquinaria, y así disminuir los costos de reparaciones y venta perdida, cuyo beneficio será reflejado en un aumento de la rentabilidad.

6. Direccionar al personal de mantenimiento a practicar y respetar el principio fundamental del mantenimiento, el cual consiste en que “toda maquinaria debe ser intervenida lo menos posible y toda intervención debe ser basada en un diagnóstico bien elaborado”.
7. Crear e implementar programas de capacitación sobre cursos básicos como electricidad, soldadura, mecánica industrial, etc., dirigidos al personal de operación y mantenimiento, para que así se obtengan los conocimientos necesarios y criterios adecuados de cómo actuar en los casos más comunes de mantenimiento y en los casos críticos o especiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. ELONKA, Steve. Equipos industriales, guía práctica para reparación y mantenimiento. 3ª. Edición (1ª. en español). México. Editorial McGraw-Hill, 1989. Tomos 1 y 2.
2. MARKS. Manual del ingeniero mecánico. 8ª. Edición (2ª. en español). Volumen 2.
3. RHONER, Arthur. Mecánica para molineros. A. Manzarieque. Suiza 1.988.
4. VILLANUEVA, Enrique Dounce. La Administración en el Mantenimiento. 2ª. Edición. México. Cia. Editorial Continental, S.A., 1,973.
5. Manual de Mantenimiento, División Sector Industria y de la Construcción, Divulgación Tecnológica Santa Fe de Bogotá, 1991.