



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

**GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y  
ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP  
MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE  
MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO**

**VÍCTOR HUMBERTO AYALA MATUS**

Asesorado por el Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y  
ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP  
MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE  
MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**VÍCTOR HUMBERTO AYALA MATUS**

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

Guatemala, octubre del 2010

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 de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Agr. José Alfredo Ortíz Herincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Julio César Campos Paiz
EXAMINADOR	Ing. Carlos Anibal Chicojaj Coloma
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne 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:

**GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y  
ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP  
MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE  
MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 12 de marzo de 2009.



Víctor Humberto Ayala Matus

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería



UNIDAD DE E.P.S.

Guatemala, 31 de mayo de 2010  
REF.EPS.DOC.689.05.10.

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

Estimada Ingeniera Sarmiento Zeceña.

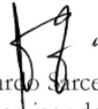
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Victor Humberto Ayala Matus** de la Carrera de Ingeniería Mecánica, con carné No. **200412585**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO”**.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todas”*

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

c.c. Archivo  
EESZ/ra



*Universidad de San Carlos de Guatemala*  
*Facultad de Ingeniería*



**UNIDAD DE E.P.S.**

Guatemala, 31 de mayo de 2010  
REF.EPS.D.432.05.10

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

Estimado Ingeniero Campos Paiz:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado "**GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO**" que fue desarrollado por el estudiante universitario, **Victor Humberto Ayala Matus** 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 Ileana Sarmiento Zecena de Serrano  
Directora Unidad de EPS

NISZ/ra



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación de la directora del Ejercicio Profesional Supervisado, E.P.S., al trabajo de Graduación titulado GUÍA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO, del estudiante Víctor Humberto Ayala Matus, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSAÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz  
**DIRECTOR**

*Julio César Campos Paiz*  
*Ingeniero Mecánico*  
*Colegiado 2701*

Guatemala, Septiembre 2010

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

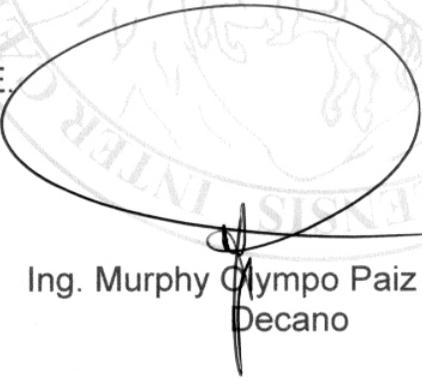


Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.300 -2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **GUIA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, DESARME Y ARMADO DE REDUCTORES DE VELOCIDAD TIPO KMP MARCA FLENDER UTILIZADOS EN EL ACCIONAMIENTO DE MOLINOS VERTICALES PARA LA FABRICACIÓN DE CEMENTO**, presentado por el estudiante universitario **Víctor Humberto Ayala Matus**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano



Guatemala, octubre de 2010

/cc  
cc. archivo

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>A DIOS</b>	Por ser fuente de sabiduría y amor, quien ilumina mi vida.
<b>A MIS PADRES</b>	Víctor Manuel y Thelma Beatriz  Por su apoyo incondicional y esfuerzos que han realizado para lograr mis metas.
<b>A MIS HERMANOS</b>	Marlon Alexis y Vanesa Beatriz Con mucho cariño.
<b>A MI TIA LUPITA</b>	Con mucho aprecio y cariño
<b>A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO</b>	Por nuestra gran amistad
<b>A PETÉN</b>	El lugar más bello del mundo

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**A DIOS** Por todas sus bendiciones y permitirme llegar hasta aquí.

**A LOS INGENIEROS** Ernesto Trujillo, por la oportunidad y apoyo en mi formación como ingeniero. Emilio Porras, por sus consejos, apoyo y compartir sus experiencias durante mi desarrollo profesional. Enrique López, por darme la oportunidad de realizar este trabajo de graduación.

**A LA EMPRESA** Cementos Progreso S. A., por brindarme la oportunidad y colaboración en la realización de este trabajo.

**A MI ASESOR** Por apoyarme con su conocimiento y brindarme su apoyo.

**A LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**A LA FACULTA DE INGENIERÍA**

**A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>OBEJETIVOS</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
<b>1. DESCRIPCIÓN GENERAL</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes de la empresa	1
1.2. Visión y misión	2
1.3. Estructura de la organización	2
1.4. Estructura del departamento de mantenimiento mecánico	4
1.5. Proceso de producción de cemento	7
1.5.1. Molinos verticales para la fabricación de cemento	11
1.6. Tipos de mantenimiento	14
1.6.1. Mantenimiento correctivo	14
1.6.2. Mantenimiento preventivo	15
1.6.3. Mantenimiento predictivo	18
1.7. Requerimientos fundamentales para la efectividad del mantenimiento preventivo	18
1.7.1. Planeación	19
1.7.2. Programación	19
1.8. Reductores de velocidad	20
1.9. Descripción de diferentes tipos de engranajes utilizados en reductores de velocidad	21

1.9.1. Engranajes cilíndricos	21
1.9.2. Engranajes helicoidales	22
1.9.3. Engranajes helicoidales dobles	23
1.9.4. Engranaje de rueda dentada cónica	24
1.10. Fallas en los dientes de engranaje	24
1.10.1. Fatiga superficial	25
1.10.2. Desgaste	28
1.10.3. Ralladura	31
1.10.4. Flujo plástico	31
1.10.5. Rotura de dientes	32
1.11. Sistema de lubricación	32
1.11.1. Por salpique	33
1.11.2. Por circulación	34
1.11.3. Por salpique y circulación	37
1.12. Tipos de lubricantes utilizados	38
1.13. Sistema de enfriamiento para reductores	40
<b>2. FASE DE INVESTIGACIÓN (ANÁLISIS DE RIESGOS)</b>	<b>41</b>
2.1. Seguridad industrial	41
2.2. Política de salud y seguridad	41
2.3. Norma OHSAS: 18001	42
2.3.1. Reglas cardinales de OH&S	44
2.4. Evaluación de riesgos	44
2.5. Tipos de riesgos	45
2.5.1. Físicos	45
2.5.2. Químicos	45
2.5.3. Biológico	46
2.5.4. Ergonómico	46
2.5.5. Psicosociales	46

2.6. Fases de la evaluación de riesgos	46
2.6.1. Análisis del riesgo	47
2.6.2. Valoración del riesgo	48
2.6.3. Control del riesgo	49
2.7. Evaluación de condiciones de trabajo	50
2.8. Señalización industrial	51
2.9. Inspecciones de seguridad	53
2.9.1. Lista de identificación de peligros	54
2.9.2. Rombo NFPA	56
2.10. Equipo de protección personal	57
2.11. Medidas de seguridad tomadas por el personal	60
2.12. Técnicas de seguridad aplicadas a los reductores	61
2.12.1. Aislamiento y bloqueo de equipo	61
2.13. Medias de prevención a adoptar frente a los peligros localizados en el área de reductores	63
2.14. Disposiciones generales de seguridad de reductores	64
<b>3. FASE TÉCNICO PROFESIONAL (GUÍA DE MANTENIMIENTO)</b>	<b>67</b>
3.1. Reductor planetario KMP	67
3.2. Descripción técnica	68
3.3. Elementos mecánicos del reductor KMP	69
3.3.1. Carcasa	70
3.3.2. Piezas dentadas	71
3.3.3. Rodamientos	74
3.3.4. Sistema de lubricación	78
3.3.5. Acople	83
3.4. Lineamientos para rutinas de mantenimiento preventivo	84
3.4.1. Registros sistemáticos	84
3.4.2. Existencias de repuestos	85

3.4.3. Inspección durante producción	85
3.4.4. Inspección durante la parada de molino	86
3.4.5. Sistema de seguridad	87
3.4.6. Búsqueda de fallos generales	88
3.5. Acciones basadas en la vigilancia sistemática de la condición del reductor	90
3.5.1. Límites	91
3.5.2. Acción en la siguiente parada	91
3.6. Recomendaciones sobre las acciones de mantenimiento preventivo	92
3.6.1. Temperatura	92
3.6.2. Vibración	93
3.6.3. Inspección “VOSO”	93
3.7. Herramientas utilizadas para el desarme y armado del reductor	95
3.7.1. Instrumentación para elevación de piezas	95
3.7.2. Instrumentación para medición y calibración	95
3.7.3. Instrumentación para el montaje y desmontaje piezas	96
3.8. Procedimiento para desarme del reductor	97
3.8.1. Elevación de rodillos moledores	97
3.8.2. Elevación de la mesa de molturación	98
3.8.3. Extracción del reductor del molino	100
3.8.4. Extracción de anillo de deslizamiento	101
3.8.5. Extracción de engranajes planetarios	105
3.8.6. Extracción de piñón central y acople	108
3.8.7. Extracción de eje de alta velocidad	109
3.8.8. Extracción de corona central	112
3.9. Procedimiento para armado del reductor	114
3.9.1. Ensamblaje de corona central	114
3.9.2. Ensamblaje de eje de alta velocidad	117

3.9.3. Ensamblaje de acople y piñón central	122
3.9.4. Ensamblaje del sistema planetario	123
3.9.5. Ensamblaje del anillo de deslizamiento	127
3.9.6. Alineación y acoplamiento con motor principal	130
3.9.7. Puesta en servicio	130
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>133</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>135</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>137</b>



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Organigrama a nivel gerencial	3
2. Organigrama del departamento de mantenimiento mecánico	6
3. Las etapas del proceso de producción de cemento	11
4. Molino vertical de rodillos utilizado para la molienda de carbón	13
5. Reductor de velocidad	21
6. Engranajes Cilíndricos	22
7. Engranaje y piñón helicoidal	23
8. Engranaje y piñón doble helicoidal	23
9. Engranaje de rueda dentada cónica	24
10. Picadura destructiva	27
11. Descostrado en engranaje cónico de dientes rectos	28
12. Desgaste normal	29
13. Desgaste abrasivo producido por partículas relativamente grandes y duras.	29
14. Desgaste destructivo	30
15. Desgaste corrosivo severo	30
16. Rayado ligero	31
17. Flujo plástico	32
18. Rotura de dientes	32
19. Reductor de velocidad lubricado por salpicadura	34
20. Reductor lubricado por circulación bajo presión propia	35
21. Utilización de boquillas para lubricación de los engranajes	36
22. Sistema centralizado de lubricación por circulación de aceite	37

23. Gestión de riesgos	47
24. Valoración del riesgo	49
25. Señalización industrial	53
26. Diagrama de inspección de seguridad	54
27. Rombo NFPA 704	56
28. Reductor planetario KMP	67
29. Placa de datos técnicos	68
30. Dibujo de las partes internas del reductor KMP	69
31. Carcasa de un reductor KMP	70
32. Identificación del eje de alta velocidad y engranaje cónico	72
33. Acoplamiento de doble engranaje	73
34. Sistema planetario de un reductor KMP	74
35. Rodamientos de rodillos cónicos apareados cara a cara	75
36. Rodamientos de rodillos a rótula	76
37. Identificación del rodamiento de rodillos cilíndricos	76
38. Identificación del cojinete de empuje axial	78
39. Equipos para lubricación del reductor	79
40. Sistema de lubricación del reductor	80
41. Tuberías de lubricación del reductor	81
42. Tubería de lubricación para el eje de alta velocidad	81
43. Cojinete de empuje axial y anillo de lubricación	82
44. Deslizamiento de la brida de salida	83
45. Acople flexible con amortiguadores de plástico	84
46. Giro hacia fuera del rodo	98
47. Elevación de la mesa con bases de anclaje y polipastos	99
48. Extracción con polipastos del reductor	100
49. Soporte provisional de seguridad para la mesa	101
50. Medición de la distancia entre el eje y tapadera	102
51. Método para extraer la tapadera del reductor	103

52. Elevación de la tapadera del reductor	104
53. Zapatas y tubería de lubricación	105
54. Elevación del sistema planetario	106
55. Método de extracción de los ejes planetarios	107
56. Extracción del cojinete del engrane planetario	108
57. Piñón sol y acople de doble engranaje	109
58. Procedimiento para extraer el eje de alta velocidad	110
59. Extracción del eje de alta velocidad de su alojamiento	111
60. Elevación de la corona central	112
61. Procedimiento de extracción de tapadera de la corona central	113
62. Corona central	114
63. Rodamiento de rodillos cónicos apareados cara a cara	116
64. Procedimiento para ensamblaje de la corona central	116
65. Procedimiento para ensamblaje del reductor	118
66. Ensamblaje del eje de alta velocidad	119
67. Fórmula que se utiliza para sacar el paso diametral	120
68. Tabla del paso diametral	121
69. Huellas de los contactos de los dientes	122
70. Piñón sol y acople de doble engranaje	123
71. Engranaje planetario, rodamiento y seguros	124
72. Ejes planetarios sumergidos en nitrógeno líquido y etanol	126
73. Colocación del sistema planetario en el reductor	127
74. Colocación de la tapadera base de las zapatas	128
75. Montaje del anillo de deslizamiento	129
76. Alineación del reductor y motor eléctrico por láser	130

## TABLAS

I. Criterios para que el daño se materialice	48
II. Control de riesgos	50
III. Factores determinantes de las condiciones de trabajo	51
IV. Lista de identificación de peligros	55
V. Averías, causas y remedios	88

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>EHL</b>	lubricación elastohidrodinámica
<b>EP</b>	Extrema presión
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Organización Internacional para la Estandarización)
<b>OHSAS</b>	Occupational Health and Safety Management Systems (Sistemas de Gestión de Salud y Seguridad Laboral)
<b>OH&amp;S</b>	Occupational health and safety (Salud ocupación y seguridad)
<b>NFPA</b>	National Fire Protection Association (Asociación Nacional de Protección contra el Fuego)
<b>°C</b>	Grados centígrados



## GLOSARIO

<b>Abrasión</b>	La eliminación de la superficie del material de cualquier sólido a través de la acción de fricción de otro sólido, un líquido un gas o ambos.
<b>Alojamiento</b>	Un recinto o caja para cubrir y proteger a una estructura o un dispositivo mecánico.
<b>Carga axial</b>	Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un miembro estructural aplicada al centroide de la sección transversal del mismo, y produce un esfuerzo uniforme.
<b>Carga radial</b>	La fuerza que actúa perpendicularmente al eje de un rodamiento.
<b>Corrosión</b>	Se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
<b>Eslinga</b>	Cuerda fuerte con ganchos que se usa para levantar grandes pesos.
<b>Estrobo</b>	Cable de acero unido por sus extremos, que sirve para colgar cosas pesadas o sujetar el remo de una barca.

<b>Flange</b>	Es el elemento que acopla dos componentes, permitiendo ser desmontado con facilidad, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.
<b>Herrumbre</b>	Óxido de hierro, en especial en la superficie de hierro en contacto con la humedad.
<b>Juego interno</b>	Es la distancia total que pueden desplazarse uno de los aros con relación al otro, en dirección radial o en dirección axial.
<b>Polipasto</b>	Es una combinación de poleas fijas y móviles recorridas por una sola cuerda que tiene uno de sus extremos anclado a un punto fijo.

## RESUMEN

El presente trabajo de graduación se enfoca en el mantenimiento preventivo y explica detalladamente el desarme y armado de los reductores de velocidad tipo KMP marca Flender utilizados para el accionamiento de los molinos verticales.

El primer capítulo describe información generalizada sobre antecedentes de la empresa, la organización del departamento de mantenimiento mecánico, proceso de producción de cemento. También, una breve descripción sobre los molinos verticales y su principio de funcionamiento para la molienda de materiales. La gestión y los requerimientos fundamentales para un mantenimiento preventivo como la planificación y programación esenciales para efectividad de dicha actividad.

Además, se describen los conceptos importantes sobre reductores de velocidad, tipos de engranajes utilizados en los reductores de velocidad grandes, fallas en los dientes de los engranajes, sistemas de lubricación y sistema de enfriamiento.

El segundo capítulo se refiere al análisis de riesgos, fases de evaluación de riesgos, inspecciones de seguridad, disposiciones de seguridad en los trabajos de mantenimiento, equipo de protección personal, etc. Este capítulo tiene como finalidad proporcionar información sobre la gestión de seguridad y salud en el lugar de trabajo, que sirva para desarrollar, poner en práctica, revisar y mantener un sistema de gestión de prevención de accidentes.

El tercer y último capítulo establece una descripción sobre los reductores KMP, los elementos internos que lo componen, los sistemas de seguridad y su sistema de lubricación. Además se presenta la guía de actividades donde se detalla los lineamientos para efectuar las rutinas de mantenimiento preventivo a los reductores de velocidad, el procedimiento detallado para desarmar y armarlos, así como las herramientas necesarias para realizarlo.

Para finalizar se presenta el acoplamiento del motor eléctrico y los puntos para ponerlo en servicio.

# OBJETIVOS

## Generales

Realizar una guía que proporcione la descripción de actividades para efectuar los mantenimientos preventivos de los reductores de velocidad Flender tipo KMP de los molinos verticales, para maximizar la vida útil y garantizar su disponibilidad.

## Específicos

1. Describir la conformación de los elementos mecánicos de los reductores KMP y su sistema de lubricación, para establecer lineamientos de rutinas de mantenimiento preventivo durante el funcionamiento del equipo como fuera de servicio.
2. Elaborar el procedimiento que describa los pasos adecuados y las herramientas necesarias para realizar, de manera precisa, el desarmame y armado de los elementos que componen el reductor.
3. Realizar un análisis de evaluación e identificación de riesgos existentes en el área donde se realicen las actividades de mantenimiento de los reductores e implementar las acciones preventivas para resguardar la salud de los colaboradores.



## INTRODUCCIÓN

En el proceso de fabricación de cemento, los molinos verticales son utilizados para la molienda de materias primas que alimentan de los hornos, así como para molienda de clínker y de carbón como combustible de los mismos. Son accionados por medio de un motor eléctrico que está acoplado al reductor de velocidad y éste transmite la potencia requerida a la mesa de molienda para triturar los materiales que llegan al molino.

El presente trabajo de graduación se enfoca en el mantenimiento preventivo y procedimiento para desarmar y armar un reductor de velocidad marca Flender tipo KMP. Este tipo de reductor se caracteriza principalmente por dos etapas de reducción de velocidad; una etapa de engranajes cónicos y otra de engranajes planetarios y por un cojinete de deslizamiento de empuje axial para absorber estas fuerzas provenientes de la molienda del material que deben ser transmitidas hacia la cimentación del molino.

En el primer capítulo aborda antecedentes y generalidades sobre la empresa donde se realizó el proyecto y conceptos básicos del tema. La guía también describe lineamientos sobre la política y normas para la identificación y evaluación de riesgos existentes en las instalaciones donde se ejecutan las tareas de mantenimiento de los reductores de velocidad, que son importantes para proteger la salud del personal encargado de estas actividades.

Además, contiene información para desarrollar un mantenimiento preventivo eficaz para estimar el estado de funcionamiento de los elementos del reductor y el sistema de lubricación para prevenir los fallos en los elementos del reductor, con lo cual se puede evitar averías inesperadas que puedan ocasionar una interrupción en la operación del molino vertical.

Se desarrolla el procedimiento para realizar de forma segura y eficiente el desarmame para reemplazar las piezas dañadas y/o que hayan cumplido con su vida útil de operación. Seguidamente el procedimiento para armar el reductor de velocidad.



# **1. DESCRIPCIÓN GENERAL**

## **1.1 Antecedentes históricos de la empresa**

La fabricación de cemento en Guatemala se empezó con la idea de crear una de las primeras fábricas cementeras en Latinoamérica. Fue así como el 18 de octubre de 1899, se fundó la fábrica de cemento en el país, pese a que en ese tiempo el cemento no era la materia prima que se utilizaba para la construcción.

En 1901, se inició la comercialización del cemento producido en la primera fábrica.

A raíz del terremoto de 1917, se inició la verdadera demanda del producto ya que todas aquellas construcciones hechas con cemento soportaron las inclemencias de tal fenómeno natural.

La creciente demanda en el mercado creó la necesidad de incrementar la producción. En 1965, se adquirió la segunda finca, situada en río Abajo en Sanarate, El Progreso.

En 1971, se inició la construcción de la primera línea en la nueva planta. Siete años después, en 1978, se construyó la segunda línea y se legalizó el nombre que actualmente se utiliza para su comercialización. En 1996, principió la construcción de la tercera línea que arrancó en 1998.

La fábrica actualmente se encuentra situada a 46.5 kilómetros de la ciudad capital, carretera al Atlántico, Sanarate, El progreso.

## **1.2 Visión y misión**

Visión: “compartimos sueños, construimos realidades”

Misión: “Producir y comercializar cemento y otros materiales para la construcción acompañados de servicios de alta calidad”.

Abastecer con eficiencia el mercado y cultivar con los clientes una relación duradera para ser la mejor opción.

Dar al personal la oportunidad de desarrollarse integralmente y reconocer su desempeño.

Impulsar con los proveedores una relación de confianza, cooperación y beneficio mutuo.

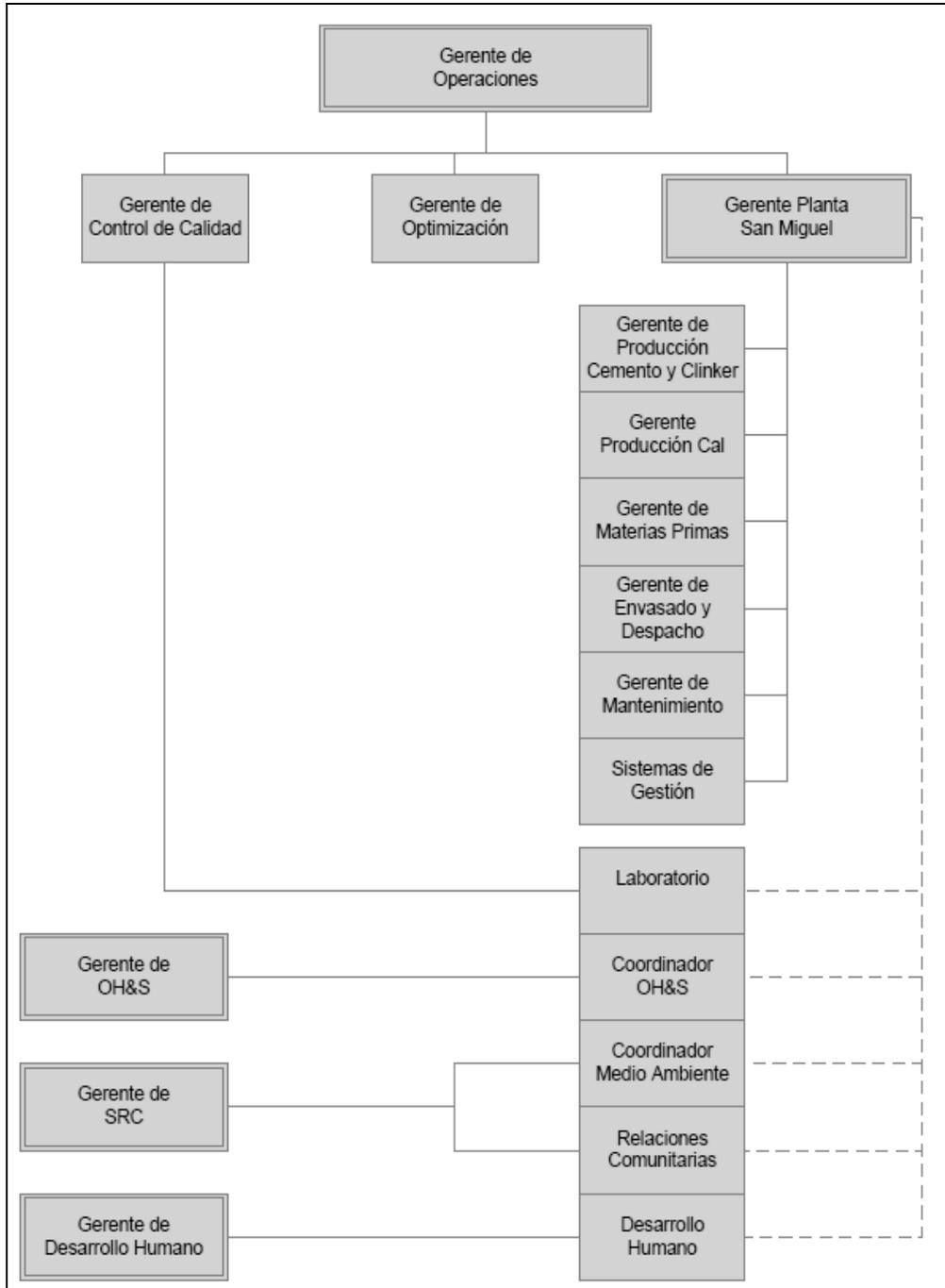
Contribuir al desarrollo de la comunidad además de proteger y mejorar el medio ambiente.

Garantizar a los accionistas una rentabilidad satisfactoria y sostenible

## **1.3 Estructura organizacional**

En la empresa se cuenta con una estructura organizacional muy amplia, en donde el flujo de la información se da por medio de reuniones periódicas entre los responsables de cada área.

**Figura 1. Organigrama a nivel gerencial**



#### **1.4 Estructura del departamento de mantenimiento mecánico**

La organización del departamento de mantenimiento mecánico está orientado estratégicamente hacia un enfoque de mantenimiento proactivo, disciplinado en prácticas estandarizadas, competitivo y con índices de desempeño de clase mundial.

El departamento se encuentra dividido por áreas, para que las labores de cada área sean específicas. La división del departamento de mantenimiento permite planificar, coordinar, ejecutar y controlar los recursos disponibles para su mejor aprovechamiento; eficiencia y efectividad en la programación de los mantenimientos de los equipos. Además permite establecer líneas de autoridad, responsabilidad y rendición de cuentas. Cada área representa una etapa del proceso de fabricación de cemento, las cuales se dividen en área de harina cruda, hornos, cemento, despacho, calera y lubricación y predictivos.

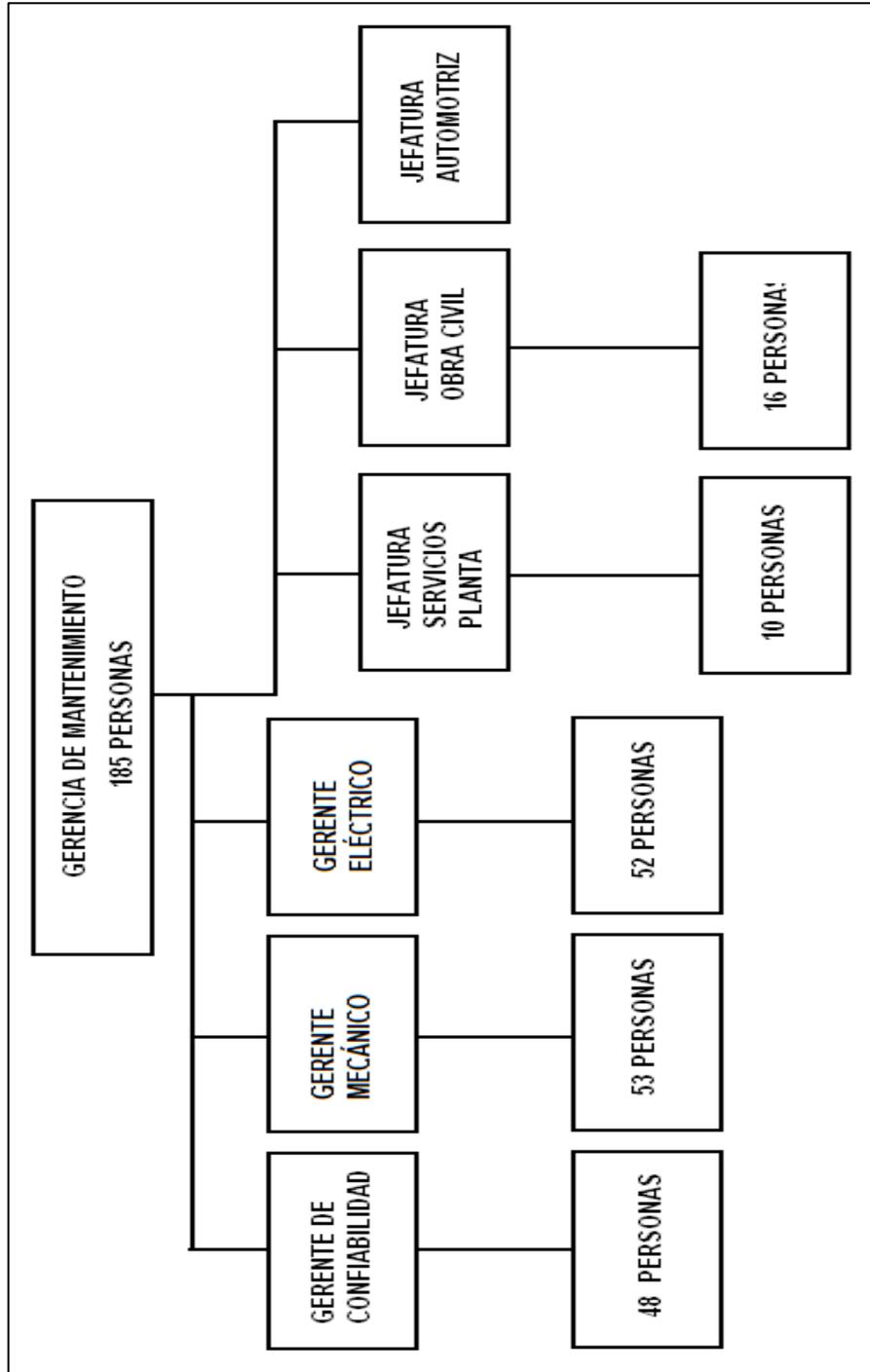
El departamento de mantenimiento mecánico está a cargo del gerente mecánico, quien coordina las actividades, toma decisiones y es un enlace con la gerencia. Regula las actividades realizadas por los jefes de mantenimiento (mecánico, confiabilidad, eléctrico e instrumentista) en las diferentes áreas, brindándoles apoyo, y asesoría en trabajos específicos. Verifica que estos sean ejecutados adecuadamente.

Seguidamente están las áreas de predictivos, planificación, mantenimiento mecánico y lubricación. En predictivos se encargan de detectar, con base a la condición de los equipos, inicio de fallas para lograr una planificación adecuada.

En planificación se programa el plan anual de mantenimiento. Y se coordina su realización con el departamento de producción. Además, se lleva un registro de control de las máquinas, se generan las solicitudes de materiales para mantenimiento, se coordinan todas las órdenes de trabajo, proporcionan información por medio de manuales de máquinas. Verifica la adecuada administración de los planes y el correcto flujo de información del sistema de gestión.

El área de lubricación efectúa las rutas de toda la planta, la cual integra una combinación de actividades para determinar la frecuencia, cantidad, tipo de lubricante, etc. El taller de servicios generales y tornos se encargan de mantenimiento a los sistemas de agua, sistema de aire comprimido y otras máquinas, los tornos están a disposición de todas las áreas de la planta, toda vez que pase por planificación.

Figura 2. Organigrama del departamento de mantenimiento mecánico



## **1.5 Proceso de producción de cemento**

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

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

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

1. Extracción de materia prima
2. Trituración y prehomogenización
3. Molienda de harina cruda
4. Clinkerización
5. Molienda de cemento
6. Empaque y despacho

## **1. Extracción de materia prima**

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

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

## **2. Trituración y prehomogenización**

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

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

### **3 Molienda de harina cruda**

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

El producto es un polvo muy fino, llamado “harina cruda”, con la composición química adecuada para el tipo de cemento que se produce y con la menor variación posible para lo que se somete a una homogeneización final en silos especiales.

El control de calidad de la harina cruda es muy importante, por lo que en la planta se cuenta con analizadores a base de rayos X, que pueden realizar análisis químicos completos en tiempos muy cortos y con gran precisión.

### **4. Clinkerización**

La harina cruda proveniente de los silos es alimentada a hornos rotatorios en los que el material es calcinado y semi-fundido al someterlo a altas temperaturas 1450 °C, aquí se llevan a cabo las reacciones químicas entre los diferentes óxidos de calcio, sílice, aluminio y hierro, que se combinan para formar compuestos nuevos que son enfriados rápidamente en la parte final del horno. Al producto enfriado de los hornos se le da el nombre de clinker y es de forma redondeada y de color gris oscuro.

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

## **5. Molienda de cemento**

El siguiente paso en el proceso de producción de cemento es la molienda del clinker producido en los hornos, en forma conjunta con otros minerales que le confieren propiedades específicas al cemento.

El yeso, por ejemplo, es utilizado para el tiempo de fraguado de la mezcla de cemento y agua para permitir su manejo. También se pueden adicionar otros materiales como las puzolanas o arenas volcánicas, las que producen concretos más duraderos, impermeables y con menor calor de hidratación que un cemento Pórtland ordinario compuesto solo por clinker y yeso.

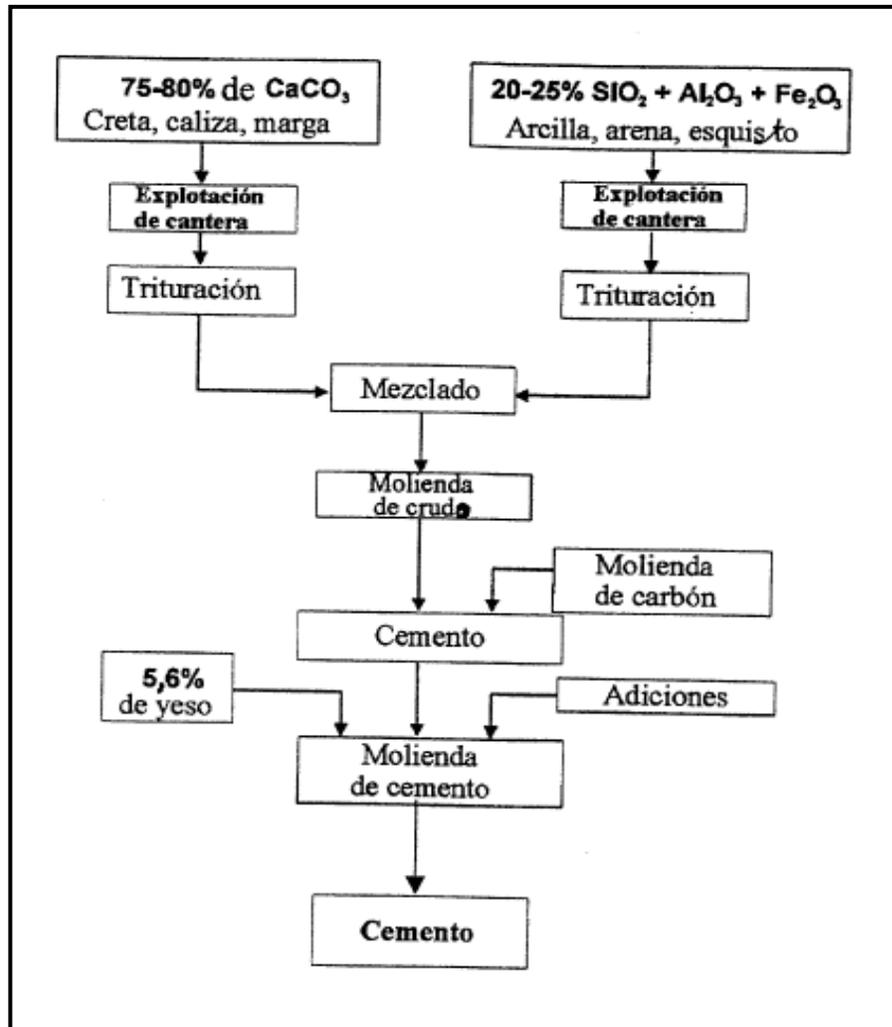
En la planta se cuenta con dos molinos tradicionales de bolas y dos molinos verticales de rodillos – los primeros instalados en América - los cuales son de gran capacidad: 155 toneladas/hora y con una alta eficiencia energética.

## **6. Empaque y despacho**

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

El peso neto utilizado tradicionalmente en Centro América para el cemento en sacos es de 42.5 kilogramos. En la planta se cuenta con cuatro líneas de envasado, tres de ellas totalmente automatizadas y con capacidad de paletizar 8,000 sacos/hora entre las tres y una manual de 2.000 sacos/hora.

Figura 3. Las etapas del proceso de producción de cemento



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

### 1.5.1 Molinos verticales para la fabricación de cemento

Los primeros molinos verticales industriales fueron desarrollados en los Estados Unidos a principios del siglo pasado. Fueron usados para la molienda de polvo de carbón como combustible en instalaciones industriales, por ejemplo hornos de cemento.

Los molinos de rodillos verticales se hace cada vez más comunes para reducir el tamaño de las materias primas utilizadas en la producción de cemento. Debido a su gran efecto triturador, junto con su alta capacidad de procesamiento y secado, este tipo de sistema de desmenuzamiento ha substituido en muchos casos al molino de bolas tradicional, cuando se planifican nuevas plantas de cemento.

Esto se debe a que una instalación de molino vertical bien diseñada y debidamente mantenida, consume entre un 20 y 30% menos energía que otras instalaciones de molinos. Los procesos combinados en un molino vertical requieren menor consumo de energía e inversión de capital que el proceso tradicional de un sistema. Pero mayor mantenimiento por el excesivo desgaste.

Los molinos verticales funcionan con aire, es decir, que dependen de una corriente de gas para el transporte interno y la separación del material. Tienen capacidad para tratar un flujo considerable de gases calientes provenientes del horno, lo cual significa que son ideales para moler y secar materia prima con alto contenido de humedad.

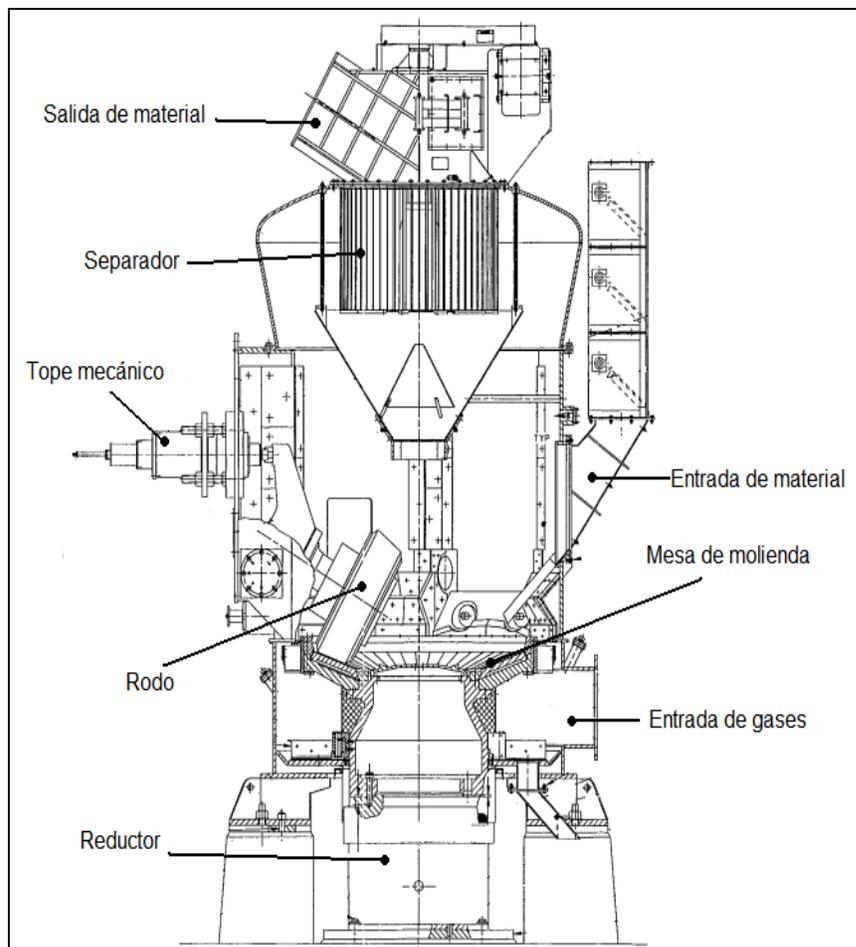
El molino vertical generalmente se construye con el reductor de velocidad en el centro, el cual se considera una parte integral del molino.

Los rodillos moledores descansan o están suspendidos sobre la mesa de molturación y se sujetan mediante una estructura resistente, diseñada fundamentalmente para permitir movimiento vertical sólo del sistema de molienda. Todos estos sistemas están dentro de la cubierta del molino, con una serie de puntos de paso para los componentes móviles.

Estos puntos de paso tienen que estar sellados para evitar aire falso o material de derrame. El sistema de molino también incluye una gran cantidad de conexiones y cojinetes que requieren de una supervisión y revisión sistemática.

La capacidad de secado del molino vertical se mantiene constante a pesar de que el tamaño del molino sea mayor, al del caso de molino de bolas. Los molinos verticales pueden tratar material de alimento grueso en trozos de hasta el 5% del diámetro del rodillo, lo que reduce la necesidad de una trituración fina previa. Ver figura 4.

**Figura 4. Molino vertical de rodillos utilizado para la molienda de carbón**



**FUENTE: F. L. Smidth, Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, p. 9**

## **1.6 Tipos de mantenimiento**

Existen diversas formas de realizar el mantenimiento a un equipo de producción. Actualmente, la empresa para la gestión de éste se basa en tres clases descritas a continuación:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

### **1.6.1 Mantenimiento correctivo**

Actividad desarrollada en las máquinas y equipos críticos en planta, cuando a consecuencia de una falla han dejado de prestar la calidad de servicio para la que fueron diseñados. La mayoría de los mantenimientos correctivos que se realizan son correctivos planificados, es decir, que son reportados por avisos.

Al momento de presentarse una falla en uno o varios equipos que alteren el funcionamiento continuo de cualquier etapa de los procesos de producción de cemento, se procede a reparar las averías de los equipos.

El mantenimiento correctivo tiene dos funciones perfectamente definidas que son:

- Corregir aquellas averías o anomalías sistemáticas que se presentan en equipos, máquinas o instalaciones, llegando incluso se puede llegar al cambio de material o de diseño con el objeto de suprimirlas o, por lo menos de alejar lo máximo posible su aparición en el tiempo.

- Reacondicionamiento de equipos, máquinas o instalaciones que por su uso ya se encuentran en condiciones que dificultan la marcha correcta o mantengan una calidad de fabricación que exige producción.

Las etapas a seguir cuando se presente un problema de mantenimiento correctivo, pueden ser las siguientes:

- Identificar el problema y sus causas
- Estudiar las diferentes alternativas para su reparación
- Evaluar las ventajas de cada alternativa y escoger la óptima
- Planear la reparación de acuerdo con personal y equipo disponibles

### **1.6.2 Mantenimiento preventivo**

Es la conservación planeada, que tiene como función conocer sistemáticamente el estado de equipos, máquinas e instalaciones para programar en los momentos más oportunos y de menor impacto en la producción las acciones que tratarán de eliminar las averías que originan las interrupciones. Su finalidad es reducirlas al mínimo, así como la depreciación excesiva del equipo. De tal forma permite la reducción de costos, conservación y operación de los equipos.

El mantenimiento preventivo es aquel que se hace mediante un programa de actividades (revisiones y lubricación), previamente establecido, con el fin de anticiparse a la presencia de fallas en instalaciones y equipos.

Este programa se fundamenta en el estudio de necesidades de servicio de un equipo, para tener en cuenta qué actividades se harán con el equipo detenido y cuales cuando está en marcha.

Este mantenimiento viene de planes de mantenimiento y estos son administrados con base en frecuencias, cronogramas de ejecución de las actividades programadas, etc.

Las actividades que se realizan en los mantenimientos preventivos son:

#### **a) Visitas o inspecciones**

Se define como la verificación periódica en equipos, máquinas e instalaciones para comprobar su estado, permite seguir la evolución de anomalías para corregirlas antes de que llegue a producirse la falla en las mismas.

Las inspecciones deberán ejecutarse con una frecuencia que permita satisfacer las necesidades de información al departamento de mantenimiento y tomar en cuenta entre otros los siguientes factores: edad del equipo, el tipo de equipo, el ambiente, tipos de operación y otros que el departamento de mantenimiento considere necesarios.

#### **b) Revisión**

Son intervenciones pequeñas que no provoquen un paro excesivo del equipo que puedan afectar la producción. En lo posible, las visitas o inspecciones se realizan sin detener la producción en los equipos e instalaciones.

- Se desmontan las partes de las máquinas o equipos, con el fin de reparar las anomalías detectadas en la inspección previa.

- Reparar las anomalías descritas en la inspección y las que se encuentren durante la revisión.
- Reemplazar piezas o elementos, que por su función, están sujetos a desgaste rápido de acuerdo con un programa que se establece previamente.
- Se deberán preparar previamente con el objeto de disponer del equipo y herramienta que será necesaria utilizar durante la reparación. Además se analizan y programan, a la vez, la secuencia de actividades que se deben realizar.
- Para realizar las revisiones, se deberá contar con personal previamente capacitado para lograr la eficiencia necesaria de esta actividad.

Las revisiones se deben planificar y programar, de manera que puedan evitar problemas a la producción de la empresa.

### **c) Lubricación**

La lubricación a intervalos regulares mantendrá a la maquinaria en servicio durante un periodo bastante largo, modificará las características de fricción, la reducción de los daños y desgaste en la superficie de los elementos de la maquinaria, utilizará el lubricante adecuado.

### **d) Limpieza**

Se consideran dentro de esta actividad las siguientes operaciones: limpieza de máquinas, instalaciones, conservación de la instalación, señalización y acondicionamiento cromático, en el cual se delimitan zonas de tránsito y se identifican los conductos o tuberías con sus respectivos colores, de

acuerdo con el fluido que transportan, prevención contra la corrosión de superficies metálicas susceptibles a este fenómeno.

### **1.6.3. Mantenimiento predictivo**

Este tipo de mantenimiento consiste en hacer mediciones o ensayos no destructivos, mediante equipos sofisticados, a partes de maquinaria que sean muy costosas o a las cuales no se les puede permitir fallar en forma imprevista, pues arriesgan la integridad de los operarios o causan daños de consideración.

La mayoría de las inspecciones se realiza con el equipo en marcha y sin causar paros en la producción.

## **1.7 Requerimientos fundamentales para la efectividad del mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo no es un remedio para todos los problemas que se presentan durante un proceso productivo; es una organización sistemática de lo que tradicionalmente se ha venido haciendo.

Para la implementación del programa de mantenimiento preventivo, es muy importante que el departamento tenga las siguientes fuentes de información:

- Catálogos de fabricantes
- Manuales de fabricantes
- Planos levantados a la maquinaria
- Memorias de cálculo si se han realizado mejoras o reparaciones

- Experiencia de los técnicos en lubricación, electricidad y mecánica, que ayuden a responder las preguntas propias de una programación
- Listas que contengan la disponibilidad de personal y equipos de mantenimiento

### **1.7.1 Planeación**

La planeación es uno de los requerimientos importantes para la ejecución de un mantenimiento preventivo adecuado, pues a través de ella genera las bases para desarrollar las diferentes actividades que contribuyen al mejoramiento del estado de los equipos e instalaciones.

En la planeación se procede a definir con mayor precisión a donde se desea llegar y el momento en el cual se logrará esta meta; a partir de esto, se analizan los recursos humanos y técnicos disponibles así como las limitaciones en las diversas áreas. Es por tanto, una continua toma de decisiones para estructurar los recursos de manera funcional, para alcanzar los objetivos propuestos.

### **1.7.2 Programación**

La programación es la determinación de cuando debe realizarse cada parte de la tarea planificada, se tienen en cuenta los programas de producción, la disponibilidad de materiales y la mano de obra disponible, para realizar el trabajo con la menor cantidad de interferencia en la producción, ayuda a tratar las tareas en la secuencia adecuada y mantener el personal trabajando con un mínimo de espera entre las tareas.

A fin de llevar a cabo una programación eficiente, en la información de todos los trabajos de mantenimiento se documentan todas las actividades, donde se organizan ordenada y sistemáticamente, con el fin de obtener un control adecuado de las labores de mantenimiento.

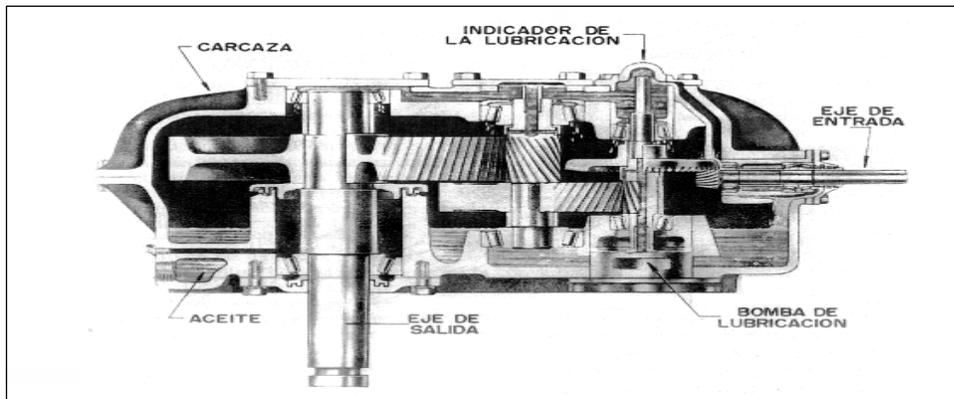
### **1.8 Reductores de velocidad**

Los reductores consisten en uno o varios sistemas de engranajes montados en los ejes y cojinetes, con métodos de lubricación, ubicados dentro de una caja cerrada con sellos de aceite y filtros de aire, utilizados para el accionamiento de toda clase de equipos, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.

Se utilizan extensamente donde los cambios de velocidad, del esfuerzo de torsión, de la dirección del eje, o de la dirección de la rotación se requieren entre un motor principal y la maquinaria conducida.

Sus características funcionales se dirigen para ser completamente compatibles con las del motor principal y el equipo conducido y para considerar los factores tales como la carga estática y dinámica, torque y la velocidad de funcionamiento. Ver figura 5.

**Figura 5. Reductor de velocidad**



**Fuente:** Pedro Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 821

## **1.9 Descripción de diferentes tipos de engranajes utilizados en reductores de velocidad**

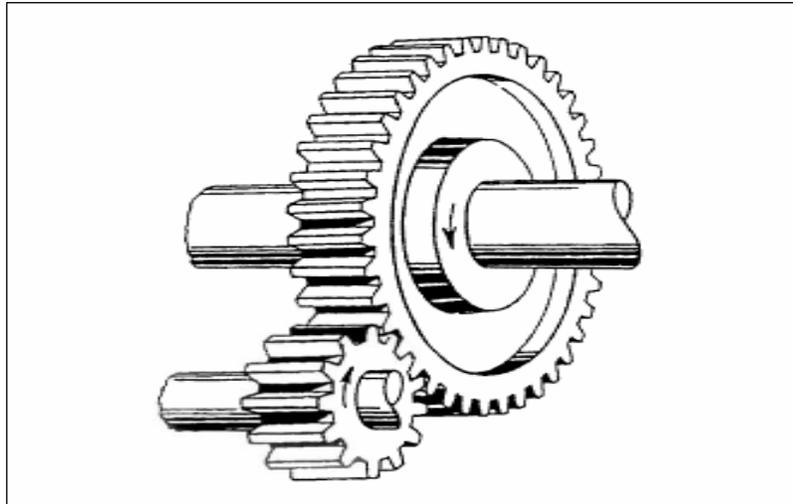
Los reductores de velocidad grandes (llamados también cajas de engranaje para trabajo pesado) que se utilizan en hornos y molinos verticales utilizan básicamente de cuatro tipos distintos de engranajes que se identifican por el corte de sus dientes.

### **1.9.1 Engranajes cilíndricos rectos**

Si los dientes están cortados rectos a través de la pieza en bruto de la rueda dentada, se les llama engranajes cilíndricos. Los dientes son paralelos a los ejes donde se hayan montados.

En estos engranajes el contacto inicial se presenta en la raíz del piñón (impulsor) y en la punta del diente del engranaje (impulsado), presentándose el máximo movimiento por deslizamiento. Ver figura 6.

**Figura 6. Engranajes cilíndricos**



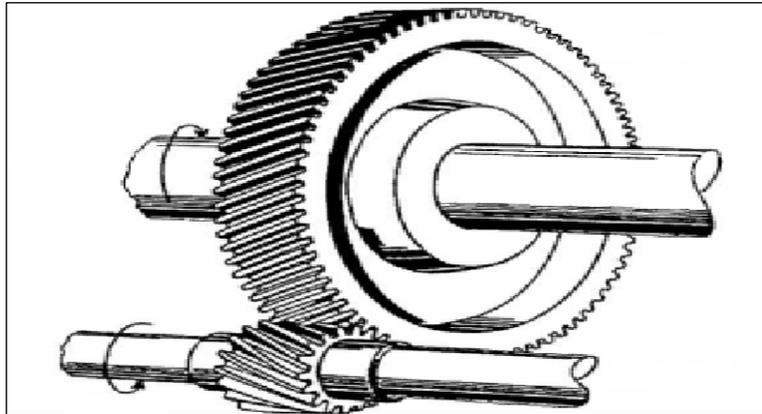
**Fuente:** F. L. Smidth, **Mantenimiento preventivo de molinos verticales y hornos**, p. 4

### **1.9.2 Engranajes helicoidales**

El desarrollo de este tipo de dientes son hélices cilíndricas y la línea de contacto cuando engranan es una diagonal con respecto al eje donde van montados los engranajes. Por ser gradual la carga sobre los dientes, estos son más silenciosos y es posible alcanzar mayores velocidades de operación.

En este tipo de engranajes se presenta cargas axiales de consideración, las cuales son soportadas por los rodamientos de apoyo de los ejes. El ángulo de giro se llama ángulo helicoidal y normalmente está entre los 20 y 25 grados. Ver figura 7.

**Figura 7. Engranaje y piñón helicoidal**

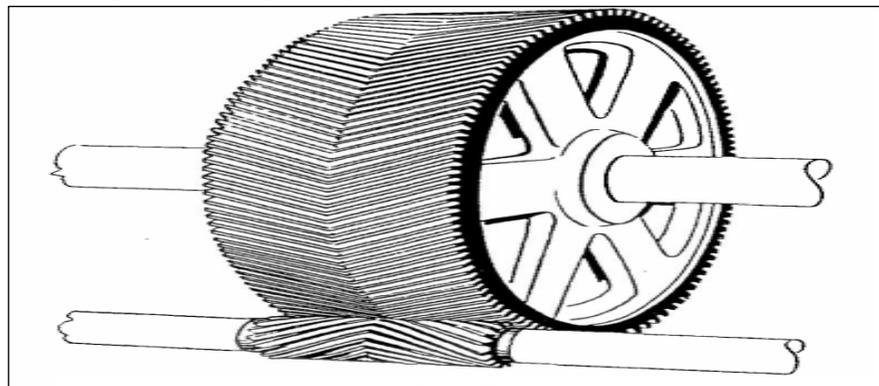


Fuente: F. L. Smidht, **Mantenimiento preventivo de molinos verticales y hornos**, p. 5

### **1.9.3 Engranajes helicoidales dobles**

Se les conoce también como espina de pescado, espinales o dientes en V. La ventaja sobre estos es que no producen empuje axial. Debido a la inclinación doble en sentido contrario de sus dientes, equilibrando las fuerzas de empuje. Ver figura 8.

**Figura 8. Engranaje y piñón doble helicoidal**



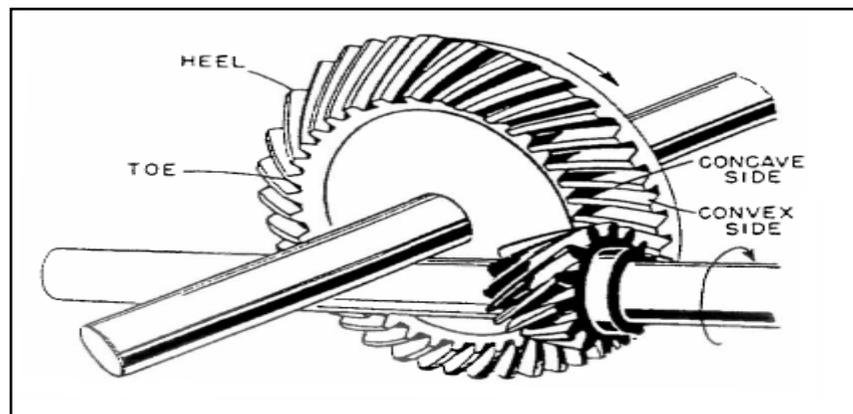
Fuente: F. L. Smidht, **Mantenimiento preventivo de molinos verticales y hornos**, p. 6

### 1.9.4 Engranajes de rueda dentada cónica

En este tipo de engranaje la línea central de los ejes se intersecta formando ángulo recto. Los engranajes adquieren forma cónica y de ahí su nombre.

En estos engranajes el flanco que trabaja y, en consecuencia la transmisión de potencia, es muy grande. En virtud de su forma curva, los dientes son más fuertes. Ver figura 9.

**Figura 9. Engranaje de rueda dentada cónica**



Fuente: F. L. Smidht, **Mantenimiento preventivo de molinos verticales y hornos**, p. 6

### 1.10 Fallas en los dientes de engranaje

Cuando los engranajes fallan es muy importante averiguar las causas, porque esto permitirá sacar conclusiones que eviten problemas futuros. Las fallas de los dientes de los engranajes puede ser consecuencia de un proceso lento, que se puede presentar durante prolongados periodos de operación, en cuyo caso detectarlas a tiempo puede depender de la experiencia del usuario.

Son señales inequívocas de una falla inminente cuando se presentan ruidos anormales, vibraciones, sobrecalentamientos o destrucción exagerada de la superficie de engrane de los dientes.

Las fallas más comunes que se pueden presentar en los engranajes se pueden clasificar en las siguientes categorías:

- Fatiga superficial
  - Picadura inicial o *Pitting*
  - Picadura destructiva
  - Descostrado
- Desgaste y ralladura
- Ruptura de dientes
- Otros procesos de falla.

#### **1.10.1 Fatiga superficial**

La mayoría de las fallas en los engranajes ocurren debido a la fatiga de las superficies y el aspecto que presentan son picaduras.

Cuando los dientes engranan, las superficies están sometidas a deslizamiento y rodadura y la mayoría de las veces a condiciones de lubricación elastohidrodinámica.

La lubricación elastohidrodinámica o EHL tiene lugar cuando un elemento rodante bajo una carga elevada rueda a lo largo del camino de rodadura y se produce un aumento de la presión en el punto de contacto, causando microdefomaciones en los elementos.

La magnitud de estos esfuerzos depende de los metales, de las fuerzas que presionan las superficies una contra otra y de los radios de curvatura de los dientes. Después de un gran número de esfuerzos se pueden formar grietas pequeñas y debajo de la superficie, que luego aumentan de tamaño y finalmente se unen, formando picaduras.

- **Picado inicial**

Puede ocurrir cuando un par de engranajes se pone por primera vez en servicio y permanece hasta que las irregularidades más sobresalientes han quedado eliminadas, momento en el cual hay suficiente área de contacto para transmitir la carga.

El picado que se presenta durante el asentamiento de engranajes nuevos normalmente desaparece después de este periodo, aunque en algunos engranajes permanece y no progresa después de muchos millones de esfuerzos repetitivos.

- **Picado destructivo**

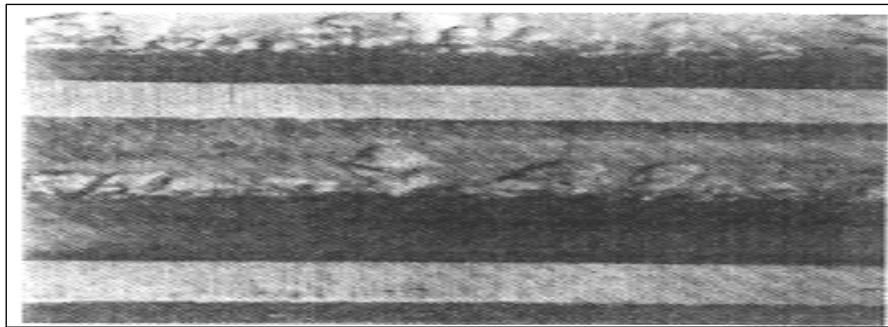
Se presenta después del picado inicial como resultado de sobrecargas o desalineación de los engranajes, y continúa progresando hasta tal punto que las áreas que quedan sin picar resultan insuficientes para transmitir la carga, ocasionando la destrucción de los engranajes.

El picado destructivo por lo regular se inicia en la raíz de los dientes impulsores después de largos períodos de operación. Sin embargo, si la sobrecarga es lo suficientemente grande, se puede acelerar.

Se presenta primero en la raíz de los dientes del engranaje impulsor, debido a que este engranaje generalmente es de menor diámetro y registra un mayor número de revoluciones, por lo que los dientes están sometidos a tensiones sucesivas.

La picadura destructiva sigue progresando hasta que el diente pierde su forma, dando como resultado un funcionamiento ruidoso irregular y por último, la fractura de los dientes. Ver figura 10.

**Ver figura 10. Picadura destructiva**



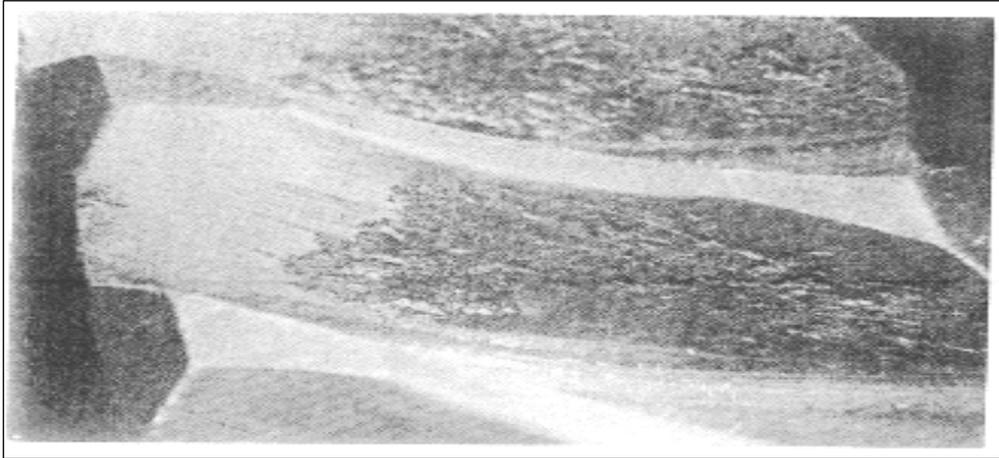
**Fuente:** Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 886

- **Descostrado**

Es una forma más grave de la fatiga superficial y ocurre cuando grandes virutas de metal se astillan o cuando pequeñas picaduras se unen entre sí, formando huecos más grandes.

El descostrado puede ser consecuencia de picadura destructiva o bien el resultado de defectos en la superficie o de esfuerzos internos excesivos debidos al tratamiento térmico. Este tipo de falla puede ocurrir dentro de un intervalo relativamente corto de operación. Ver figura 11.

**Figura 11. Descostrado en engranaje cónico de dientes rectos**



Fuente: Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 890

### **1.10.2. Desgaste**

El desgaste de los dientes de un engranaje puede ser normal u ocasionado por abrasión, adhesión o corrosión.

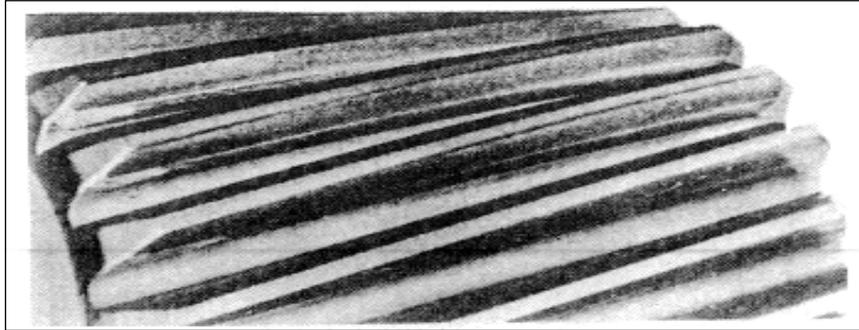
- **Desgaste normal**

Es la pérdida de metal de las superficies de los dientes de un engranaje que resulta de la inevitable abrasión, pero a tal intensidad y grado que no le impide al engranaje seguir trabajando durante su vida útil normal.

El perfil del diente se conserva prácticamente intacto. El desgaste normal en los dientes de los engranajes de acero presenta un color desde gris opaco hasta bruñido. Sin embargo, un brillo bastante intenso puede indicar desgaste excesivo.

El desgaste normal se puede presentar al principio de la vida del engranaje, es decir, poco después de que éste empieza a operar bajo condiciones de máxima velocidad y carga. Ver figura 12.

**Figura 12. Desgaste normal**

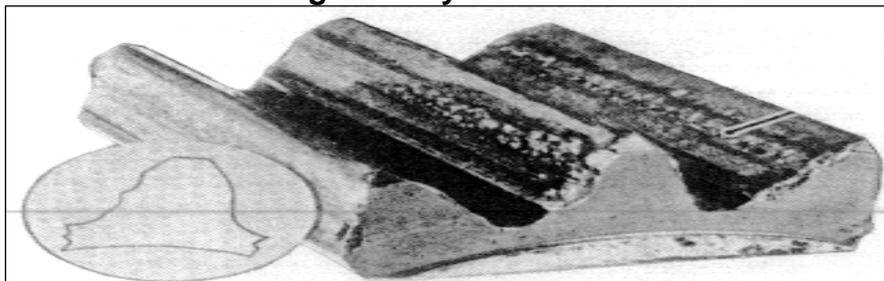


Fuente: Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 891

- **Desgaste abrasivo**

Este desgaste se produce por partículas arrastradas por el aceite. Pueden ser abrasivos finos que dan lugar a una acción de pulimento, particularmente en la raíz y en la punta de los dientes, donde el deslizamiento es mayor. Las superficies pueden quedar lisas e inclusive muy pulimentadas, pero se altera el perfil de los dientes. Ver figura 13.

**Figura 13. Desgaste abrasivo derivado por partículas relativamente grandes y duras.**

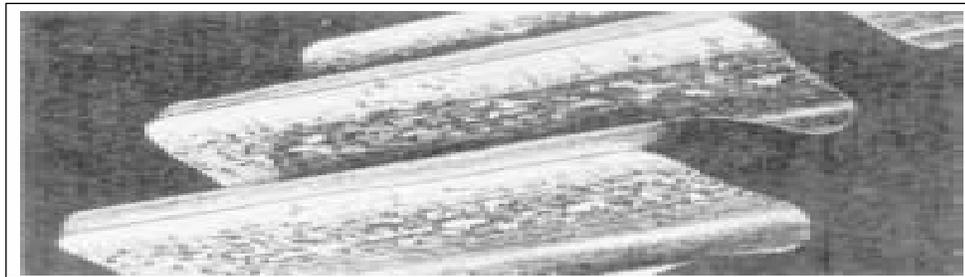


Fuente: Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 894

- **Desgaste destructivo**

Es un desgaste que se presenta cuando hay exceso de carga (o de cargas de impacto) o baja velocidad, o de ambas cosas a la vez. El material se desprende progresivamente en forma de capas delgadas. Ver figura 14.

**Ver figura 14. Desgaste destructivo**

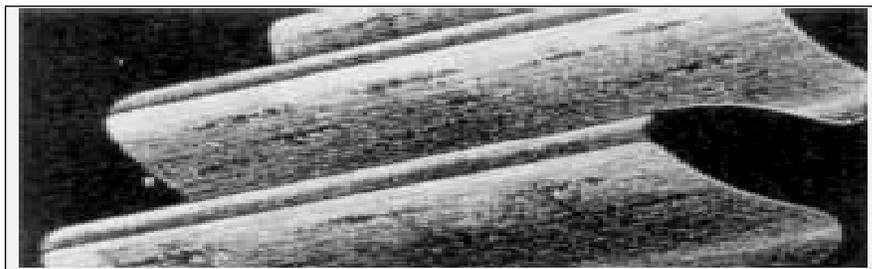


**Fuente:** Lindley R. Higgins, **Maintenance engineering handbook**, p 700

- **Desgaste corrosivo**

Es el resultado de una acción química sobre la superficie metálica de los dientes. Se caracteriza por una serie de porosidades muy pequeñas distribuidas uniformemente sobre la superficie de trabajo de los engranajes. Este desgaste se debe a los ácidos presentes en un aceite oxidado o a la acción corrosiva del vapor de agua con la mayoría de los aditivos de extrema presión. Ver figura 15.

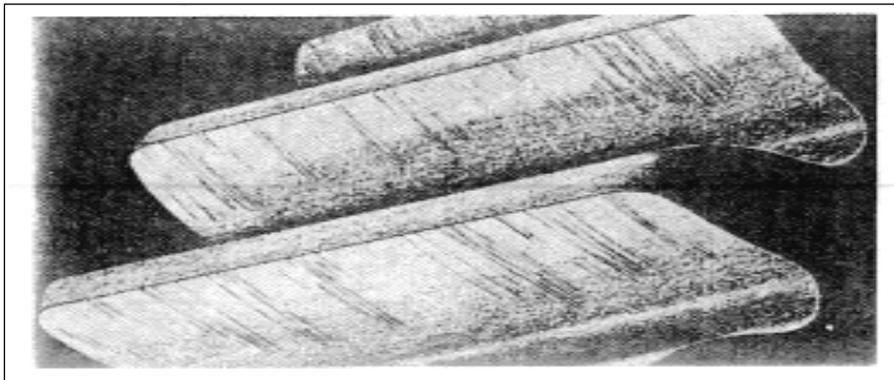
**Figura 15. Desgaste corrosivo severo**



**FUENTE:** Lindley R. Higgins, **Maintenance engineering handbook**, p 700

### 1.10.3 Ralladura

Se presenta cuando los engranajes están sometidos a altas cargas y velocidades, y se está utilizando un lubricante inadecuado. En este caso, el calor generado no puede ser disipado y se produce el consecuente calentamiento de las superficies. El rayado ligero por lo general se presenta en la cabeza del diente y se manifiesta en forma de leves arañones o desgarros en la dirección del deslizamiento, consecuencia de someter los engranajes a condiciones de plena carga durante su período de asentamiento. Ver figura 16.



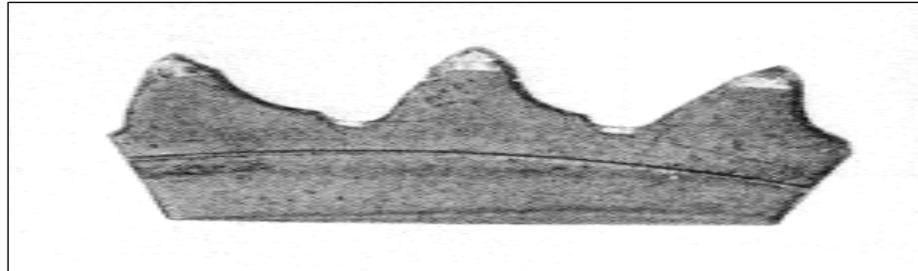
**Fuente:** Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 895

### 1.10.4 Flujo plástico

Es el resultado de cargar el engranaje por encima de la carga de deformación permanente del metal en la zona de contacto. Si las cargas de compresión son elevadas o la vibración causa cargas intermitentes altas, que hacen las veces de golpe de martillo, la superficie de los dientes puede laminarse o descamarse.

Esta falla se presenta como un flujo severo de material superficial, que resulta en la formación de rebordes de altura irregular en los extremos y/o en las puntas de los dientes. Ver figura 17.

**Figura 17. Flujo plástico**

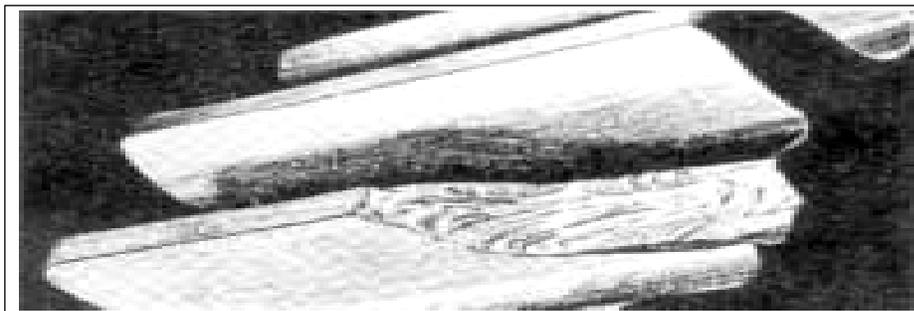


**Fuente:** Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 900

#### **1.10.5. Rotura de dientes**

La rotura de partes o de la totalidad de los dientes de un engranaje es poco común. Sin embargo, cuando ocurre es más seria que las demás fallas porque interrumpe intempestivamente la operación del equipo. Ver figura 18.

**Figura 18. Rotura de dientes**



**Fuente:** Lindley R. Higgins, **Maintenance engineering handbook**, p 702

#### **1.11 Sistema de lubricación**

El sistema de lubricación ha de ser capaz de suministrar la cantidad correcta de aceite de alta calidad en cada punto de lubricación.

Asimismo, el sistema deberá trabajar a temperaturas elevadas y eliminar los contaminantes como las partículas abrasivas y de óxido.

Para lograr que los engranajes y rodamientos o cojinetes que conforman un reductor funcionen correctamente y alcancen la vida de diseño, es necesario que el lubricante que ha sido seleccionado sea aplicado en la cantidad correcta sobre los dientes y elementos rodantes antes de entrar en contacto. Esto se logra empleando el método de lubricación correcto. Los diferentes métodos de lubricación utilizados en los reductores son:

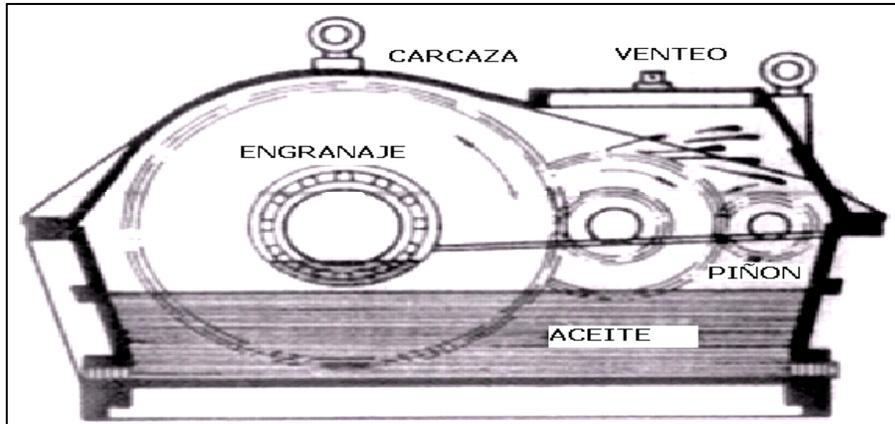
#### **1.11.1 Por salpique**

Es el método más sencillo y ampliamente utilizado en la lubricación para reductores.

En este caso el aceite se encuentra alojado en la parte inferior de la carcasa y en el se hallan sumergidos parcialmente uno o varios engranajes, los cuales al girar recogen el aceite y lo transportan hasta el punto de engrane y por la fuerza centrífuga, otra cantidad es salpicada sobre las paredes interiores de la carcasa, desde donde resbala hasta los rodamientos.

Si se requiere que el aceite fluya en mayor cantidad sobre estos elementos, la carcasa cuenta con unas canaletas en el borde de la mitad inferior que lo recogen y lo encauzan hasta los rodamientos. En los reductores de velocidad lubricados por salpique es de primordial importancia tener en cuenta el nivel de aceite. La cantidad precisa de lubricante es tan esencial como su misma selección. Ver figura 19.

**Figura 19. Reductor de velocidad lubricado por salpicadura**



Fuente: Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 797

### **1.11.2. Por circulación**

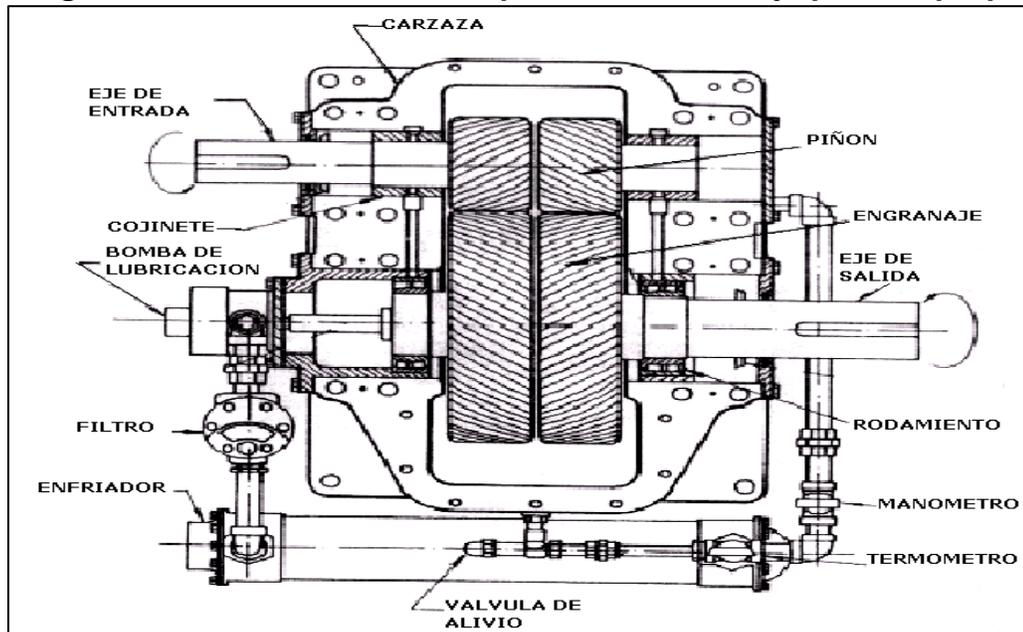
Es uno de los métodos más efectivos para lubricar reductores de velocidad porque permite un buen efecto refrigerante por parte del aceite, la correcta formación de la película lubricante y la aplicación de aceite limpio.

En este sistema se cuenta con tres métodos para aplicar el aceite, de acuerdo con las necesidades que se tengan:

#### **a) Por circulación bajo presión propia**

El aceite es impulsado por una bomba a través de un circuito de tubería y atomizado directamente sobre los engranajes y rodamientos. El circuito de lubricación está constituido por una bomba, por lo regular montada en el eje de baja velocidad, un filtro de 20  $\mu\text{m}$  o menos, un enfriador de aceite, una válvula de alivio y otros accesorios, como la tubería, boquillas, manómetros y termómetros. El depósito de aceite puede estar ubicado en la misma carcasa del reductor o exterior a ella. Ver figura 20.

**Figura 20. Reductor lubricado por circulación bajo presión propia**



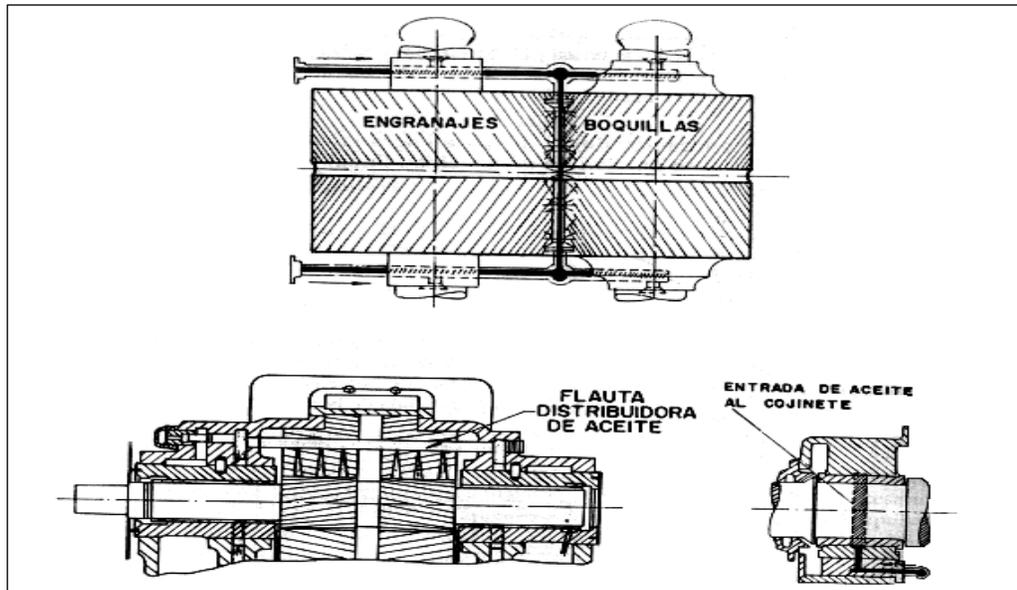
Fuente: Albarracín Aguillón, *Tribología y lubricación industrial y automotriz*, p. 792

### **b) Por circulación y baño**

En este caso el sistema de lubricación está constituido por dos depósitos de aceite; uno en la parte inferior del reductor conocido como cárter y otro en la parte superior de baja capacidad.

El circuito de lubricación consta de una bomba, un filtro, un enfriador y una tubería principal que permiten llevar el aceite hasta el depósito superior o bandeja, desde donde por una serie de conductos secundarios fluye el aceite hasta los engranajes y cojinetes. Ver figura 21.

**Figura 21. Utilización de boquillas para lubricación de los engranajes**



Fuente: Albarracín Aguillón, **Tribología y lubricación industrial y automotriz**, p. 816

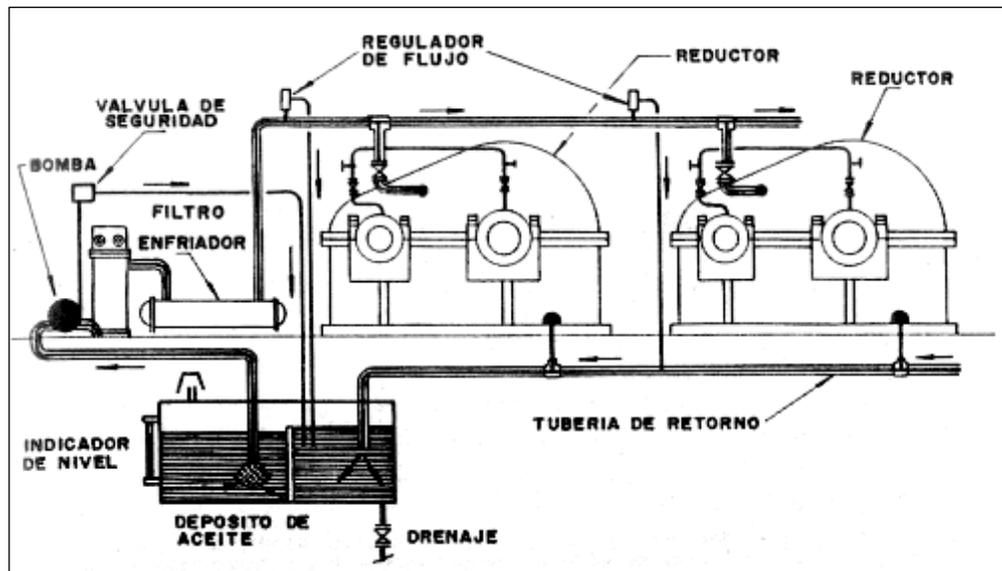
### **c) Por circulación centralizado**

Este sistema se emplea para lubricar simultáneamente varios reductores que están muy próximos entre sí y que utilizan el mismo aceite. Está constituido por un depósito de aceite, una bomba, una válvula de seguridad, un filtro de aceite, un enfriador, un regulador de flujo a cada reductor y por una serie de tuberías a presión y de drenaje. El sistema puede contar con una bomba, un filtro y un enfriador auxiliar.

Estos sistemas de aceite centralizados se pueden emplear para lubricar directamente los diferentes reductores o para enfriar el aceite de cada uno de ellos sin que intervenga en su lubricación.

En este último caso, el aceite frío que llega a cada reductor se mezcla con el aceite caliente que se encuentre en el cárter y luego por rebalse fluye de nuevo al depósito principal. Ver figura 22.

**Figura 22. Sistema centralizado de lubricación por circulación de aceite**



Fuente: Albarracín Aguillón, Tribología y lubricación industrial y automotriz, p. 821

### 1.11.3 Por salpique y circulación

En algunos reductores de velocidad, principalmente cuando los engranajes se encuentran montados en posición horizontal, se emplea para su lubricación una combinación de salpique y circulación.

Algunos elementos se encuentran parcial o totalmente sumergidos en el aceite y una bomba accionada por uno de los ejes intermedios del reductor hace fluir el aceite hasta los elementos localizados en la parte superior. Parte del aceite que es bombeado se inyecta por medio de unas boquillas sobre la superficie de los engranajes para refrigerarlos.

## **1.12 Tipos de lubricantes utilizados**

Los aceites utilizados en la lubricación de reductores deben tener determinadas propiedades físico-químicas, de acuerdo con las condiciones de operación a que van a estar sometidos durante el funcionamiento del reductor. Entre estas propiedades se encuentran las de reducir la fricción y el desgaste al máximo y la de evacuar el calor generado.

- **Aceites inhibidos**

Son aceites minerales que contienen aditivos antiherrumbre y antioxidantes y agentes antiespumantes y antidesgaste.

Los inhibidores de herrumbre protegen las superficies ferrosas de la herrumbre cuando hay presencia de agua y los antioxidantes retardan la oxidación del aceite y la formación de contaminantes ácidos, material carbonoso y el incremento de la viscosidad.

Los aceites inhibidos se utilizan para reductores con engranajes de dientes rectos, helicoidales y cónicos que transmiten cargas bajas hasta moderadas. Estos aceites no tienen muy buena adhesividad; sin embargo, trabajan correctamente en sistemas circulatorios donde el aceite se aplica en forma continua.

- **Aceites de extrema presión (EP)**

Son aceites inhibidos a los cuales se les añaden aditivos EP.

Estos aditivos controlan el desgaste bajo condiciones de lubricación de película límite o EHL, que se presentan durante las operaciones de paro y arranque, cargas de choque y bajas velocidades y altas cargas.

Los aceites de EP se emplean en los engranajes de dientes rectos, helicoidales y cónicos, que soportan altas cargas y con los engranajes de tornillo sinfín-corona.

- **Aceites compuestos**

Son una mezcla de un aceite mineral y sebo animal en una proporción 3% y el 5%. Reciben también el nombre de aceites para cilindros de vapor y se caracterizan por su elevada adhesividad. Estos aceites se utilizan principalmente para reductores con engranajes de tornillo sinfín-corona en donde la acción de deslizamiento es bastante elevada.

Los rodamientos de apoyo de estos engranajes no muestran ningún tipo de problemas con estos lubricantes

- **Aceites sintéticos**

Para condiciones de operación a altas temperaturas, se deben emplear lubricantes sintéticos, en lugar de los tradicionales derivados del petróleo, porque estos a dichas temperaturas forman gomas o barnices y se carbonizan, dando lugar al fallo del reductor.

Por regla general, para temperaturas por encima de los 60°C se recomienda el empleo de estos, a no ser que se coloque un sistema adicional de enfriamiento en el equipo.

### **1.13 Sistema de enfriamiento**

El calor generado durante el funcionamiento del reductor, debido a pérdidas de potencia entre los diferentes elementos mecánicos (engranajes y rodamientos) es evacuado a través de la superficie de la carcasa (lisa o aleteada), o adicionalmente a ésta, con un sistema de enfriamiento, utilizando un intercambiador de calor.

La circulación del aceite fresco y filtrado por el cárter del reductor puede aumentar considerablemente la vida útil de los componentes de la transmisión de engranes, el reductor mantiene confiable su sistema de lubricación, mientras que por el cárter fluyen continuamente pequeñas cantidades de aceite limpio y a más baja temperatura. Esto permitirá mantener trabajando el aceite a una temperatura razonable, con lo cual evita someter los engranajes y rodamientos a mayores esfuerzos como consecuencia de las más altas temperaturas.

## **2 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN LAS ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO DE REDUCTORES**

### **2.1 Seguridad industrial**

Tiene por objeto la prevención y limitación de riesgos, así como la protección contra accidentes y siniestros capaces de producir daños o perjuicios a las personas, flora, fauna, bienes o al medio ambiente, derivados de la actividad industrial o de la utilización, funcionamiento y mantenimiento de las instalaciones y/o equipos y de la producción, uso o consumo, almacenamientos o desechos de los productos industriales.

Lo que conlleva al tratamiento integral de la prevención de riesgos en la empresa con capacidad de producir daños a las personas, flora, fauna y medio ambiente. Sin incurrir en costos elevados que disminuyan las utilidades de la organización y al mismo tiempo, no desvíen las operaciones básicas de la misma.

### **2.2 Política de salud y seguridad**

El departamento de seguridad industrial es el encargado de dar lineamientos para la seguridad y salud de todos los colaboradores, pero los responsables son los gerentes de áreas. Deben establecer y hacer cumplir las políticas y normas, motivar un mejoramiento continuo en la seguridad y salud en el lugar de trabajo.

Por lo tanto, el departamento se encarga de:

- Proporcionar a las personas que desarrollan su actividad laboral en la empresa la capacitación necesaria para implementar las normas de salud, seguridad e higiene.
- Promover prácticas de salud y seguridad para todas aquellas personas que estén en contacto con la empresa como visitantes, proveedores y clientes.
- Medir y evaluar los resultados del desempeño de la salud y seguridad en el trabajo.

### **2.3 Norma OHSAS 18001**

Actualmente la empresa se ha propuesto regular y vigilar las condiciones de seguridad y salud en que debe desenvolverse toda actividad productiva realizada en la planta, mediante la implementación de normas internacionales relacionadas con sistemas de gestión de la prevención de riesgos laborales.

Existen diferentes documentos de referencia para la implantación de estos sistemas de gestión de prevención, creados por distintos organismos, tanto nacionales como internacionales. La más aceptada y extendida en el mercado, tanto nacional como internacional es la especificación OHSAS 18001.

OHSAS 18001 es un estándar voluntario que fue publicado en el año 1999 por el British Standard Institute (BSI).

Su finalidad es proporcionar a las organizaciones un modelo de sistema para la gestión de seguridad y salud en el lugar de trabajo, que les sirva tanto para identificar y evaluar los riesgos laborales, los requisitos legales y otros requisitos de aplicación; como para definir la política, estructura organizativa, las responsabilidades, las funciones, la planificación de las actividades, los procesos, procedimientos, recursos, registros etc., necesarios para desarrollar, poner en practicar, revisar y mantener un sistema de gestión de seguridad y salud laboral.

Las ventajas competitivas más significativas que implica la buena gestión de la prevención de los riesgos laborales que facilita OHSAS 18001 son:

- Proporciona una mejora continua en la gestión de la prevención, mediante la integración de la misma en todos los niveles jerárquicos y organizativos, la utilización de metodologías y herramientas y actividades de mejora.
- Potencia la motivación de los trabajadores, a través de la creación de un lugar y un ambiente de trabajo más ordenado, y más seguros mediante el fomento de la cultura preventiva.
- Facilita herramientas para disminuir los incidentes y accidentes laborales.
- Permite cumplir y demostrar que se cumple con la legalidad, lo que evita retrasos o paralizaciones de las actividades, causadas por el incumplimiento de la legislación en materia de prevención de riesgos laborales.
- Hace que la imagen de la empresa se potencie de cara a los clientes, a la sociedad y a la administración demostrando el compromiso de la organización con la seguridad y salud de los colaboradores.

### **2.3.1 Reglas cardinales OH&S**

La seguridad y salud ocupacional (OH&S, Occupational health and safety) se refiere a la legislación, a las políticas, a los procedimientos y a las actividades que apuntan proteger la salud, la seguridad y el bienestar de toda la gente en el lugar de trabajo.

La OH&S contempla cinco reglas cardinales que todos los colaboradores de la empresa deben de cumplir con las siguientes reglas:

1. No incumplir ni alterar ninguna medida de seguridad, ni permitir que alguien lo haga.
2. Las reglas sobre uso de equipos de protección personal, correspondientes a una tarea determinada, deben cumplirse en todo momento.
3. Los procedimientos de aislamiento y bloqueo deben cumplirse en todo momento.
4. Está prohibido trabajar bajo el efecto de alcohol y de drogas.
5. Se debe informar de todas las lesiones e incidentes ocurridos.

### **2.4 Evaluación de riesgos**

Se entiende por evaluación de riesgos que entraña la salud y seguridad de los trabajadores la posibilidad de que se verifique un determinado peligro en el lugar de trabajo.

Con la evaluación de riesgos se consigue el objetivo de facilitar al departamento de seguridad industrial la toma de medidas adecuadas para poder cumplir con su obligación de garantizar la seguridad y la protección de la salud de los trabajadores.

Comprenden estas medidas:

- Prevención de los riesgos laborales
- Información a los trabajadores
- Formación a los trabajadores
- Organización y medios para poner en práctica las medidas necesarias

## **2.5 Tipos de riesgos**

Los riesgos por su naturaleza se clasifican en: físicos, químicos, ergonómicos, biológicos, psicosociales.

### **2.5.1 Físicos**

Su origen está en los distintos elementos del entorno de los lugares de trabajo. Ruido, iluminación, ventilación, radiaciones, temperaturas anormales, también aquellos que se presentan por el uso de máquinas, corriente eléctrica etc.

### **2.5.2 Químicos**

Gases, polvo, neblinas, humos, además todos los productos químicos que al tener contacto directo con ellos provocan una reacción inmediata que afectan al organismo.

### **2.5.3 Ergonómico**

Sobre esfuerzo, posición del cuerpo, etc.

### **2.5.4 Biológico**

Microorganismos patógenos como: virus, bacterias, hongos, etc.

### **2.5.5 Psicosociales**

Estrés, frustración, comportamiento de las personas en forma negativa y su relación con los demás.

## **2.6. Fases de la evaluación de riesgos**

La evaluación del riesgo comprende las siguientes etapas:

- Identificación de riesgos
- Identificación de los trabajadores expuestos a los riesgos que entrañan a los elementos peligrosos
- Evaluar cualitativa o cuantitativamente los riesgos existentes
- Analizar si el riesgo puede ser eliminado, y en caso de que no pueda serlo decidir si es necesario adoptar nuevas medidas para prevenir o reducir el riesgo.

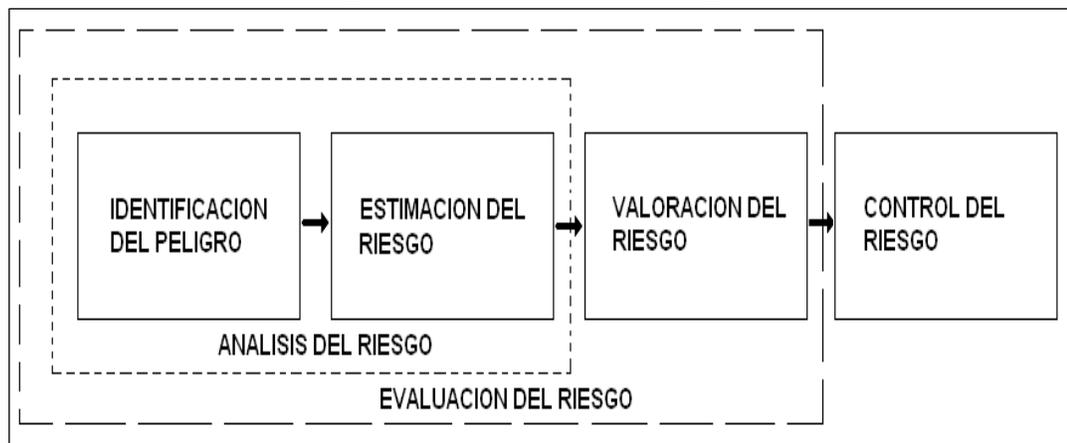
Estas pueden sintetizar en:

- Análisis del riesgo, que comprende las fases de identificación de peligros y estimación de los riesgos

- Valoración del riesgo, que permitirá enjuiciar si los riesgos detectados resultan tolerables

El departamento de seguridad industrial queda obligado a controlar el riesgo en el caso de que la evaluación realizada se deduzca que el/los riesgo/s resulte/n tolerables. En el siguiente esquema se representa lo anteriormente expuesto. Ver figura 23.

**Figura 23. Gestión de riesgos**



**Fuente:** José Cortez, Técnicas de prevención de riesgos laborales, p. 133

### 2.6.1 Análisis del riesgo

Tiene como objetivo la identificación de los accidentes que puedan ocurrir en la empresa, así como el cálculo de sus consecuencias y los daños producidos.

Comprende las siguientes actuaciones:

- Identificación de los peligros y riesgos, se tienen en cuenta operaciones, fallos técnicos, errores humanos, intervenciones no autorizadas, etc.

- Cálculo de las consecuencias basadas en la estimación de los valores que puedan alcanzar las diferentes variables que intervienen en los fenómenos peligrosos.
- Calcula la vulnerabilidad que los fenómenos peligrosos suponen para las personas, el medio ambiente y los bienes.

**Tabla I. Criterios para que el daño se materialice**

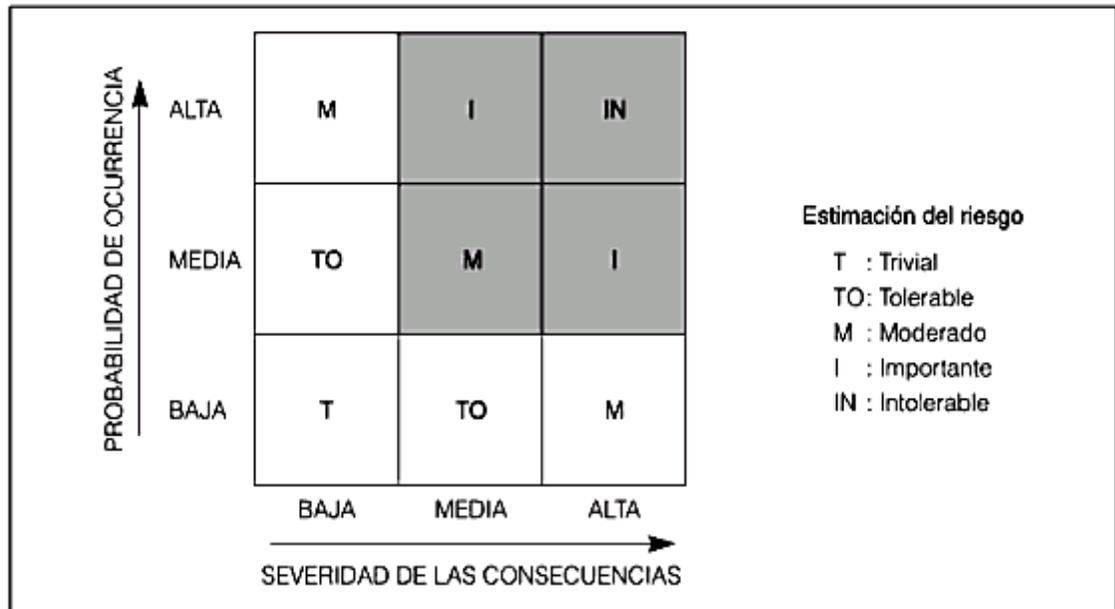
<b>PROBABILIDAD DE QUE OCURRA EL DAÑO</b>	<b>SEVERIDAD DE LAS CONSECUENCIAS</b>
<b>Alta:</b> Siempre o casi siempre	<b>Alta:</b> Extremadamente dañina (amputaciones, intoxicaciones, lesiones muy graves, enfermedades crónicas graves, etc.)
<b>Media:</b> Algunas veces	<b>Media:</b> Dañino (quemaduras, fracturas leves, sordera, dermatitis etc.)
<b>Baja:</b> Raras veces	<b>Baja:</b> Ligeramente dañino (cortes, molestias, irritaciones de ojo por polvo, dolor de cabeza, etc.)

**Fuente:** José Cortez, Técnicas de prevención de riesgos laborales, p. 133

### 2.6.2 Valoración del riesgo

A la vista de la magnitud del riesgo, obtenida en la etapa anterior, podrá emitirse el correspondiente juicio acerca de si el riesgo analizado resulta tolerable o por el contrario deberán adoptarse acciones encaminadas a su eliminación o reducción. Ver figura 24.

**Figura 24. Valoración del riesgo**



**Fuente:** José Cortez, Técnicas de prevención de riesgos laborales, p. 118

### 2.6.3 Control del riesgo

Concluida la evaluación de riesgos deberán establecerse las medidas de control a adoptar así como su forma de implementación y seguimiento. En la siguiente tabla se indican las acciones a adoptar para controlar el riesgo y la temporización de las mismas.

**Tabla II. Control de riesgos**

<b>RIESGO</b>	<b>ACCIÓN Y TEMPORIZACIÓN</b>
<b>Trivial</b>	No se requiere acción específica
<b>Tolerable</b>	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejores que no supongan una carga económica importante.  Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
<b>Moderado</b>	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinadas las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un periodo determinado.  Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
<b>Importante</b>	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
<b>Intolerable</b>	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, debe prohibirse el trabajo.

**Fuente:** José Cortez, Técnicas de prevención de riesgos laborales, p. 118

## **2.7 Evaluación de condiciones de trabajo**

Existe diversidad de metodologías para evaluar las condiciones de trabajo, las cuales deben ser desarrolladas de manera sencilla, fácil aplicación y que contengan los factores determinantes de las condiciones de trabajo. En el siguiente cuadro se incluyen los factores de riesgos más importantes en evaluar.

**Tabla III. Factores determinantes de las condiciones de trabajo**

<b>ENTORNO FÍSICO</b>	Ambiente térmico Ruido Iluminación Vibraciones
<b>CARGA FÍSICA</b>	Postura Carga dinámica
<b>CARGA MENTAL</b>	Apremio del tiempo Complejidad-rapidez Atención Minuciosidad
<b>ASPECTOS PSICO-SOCIALES</b>	Iniciativa Status social Comunicación Cooperación Identificación con el producto
<b>TIEMPOS DE TRABAJO</b>	

Fuente: José Cortez, Técnicas de prevención de riesgos laborales, p. 120

## **2.8 Señalización industrial**

La señalización constituye una de las técnicas de prevención que más rendimiento aporta, ya que permite identificar los peligros y disminuir los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores.

La señalización de seguridad y salud en el trabajo deberá utilizarse cuando el análisis de riesgos existentes de las situaciones de emergencias previsibles y de las medidas preventivas adoptadas, se pongan de manifiesta la necesidad de:

- a) Llamar la atención de los trabajadores sobre la existencia de riesgos, prohibiciones u obligaciones
- b) Alertar a los trabajadores cuando se produzca una situación de emergencia que requiera medidas de prevención o evacuación.
- c) Facilitar a los trabajadores la localización e identificación de determinados medios o instalaciones de protección, evacuación, emergencia o primeros auxilios.
- d) Orientar o guiar a los trabajadores para que realicen determinadas maniobras peligrosas

Hay que insistir que la señalización en sí, no constituye ningún medio de la protección, sino que solo debe cumplir la misión de prevenir daños, que actúen sobre la conducta humana, para que esto sea eficaz se debe cumplir con las siguientes características:

- Atraer la atención de quien la recibe y provocar su respuesta de forma inmediata.
- Dar a conocer el peligro de forma clara, con una única interpretación y con la suficiente antelación.
- Informar sobre la forma de actuar en cada caso concreto, para lo cual debe ser conocida de antemano.
- Posibilidad real de su cumplimiento.

Los señalamientos que se observan en el área de molinos son los siguientes. Ver figura 25.

**Figura 25. Señalización industrial**

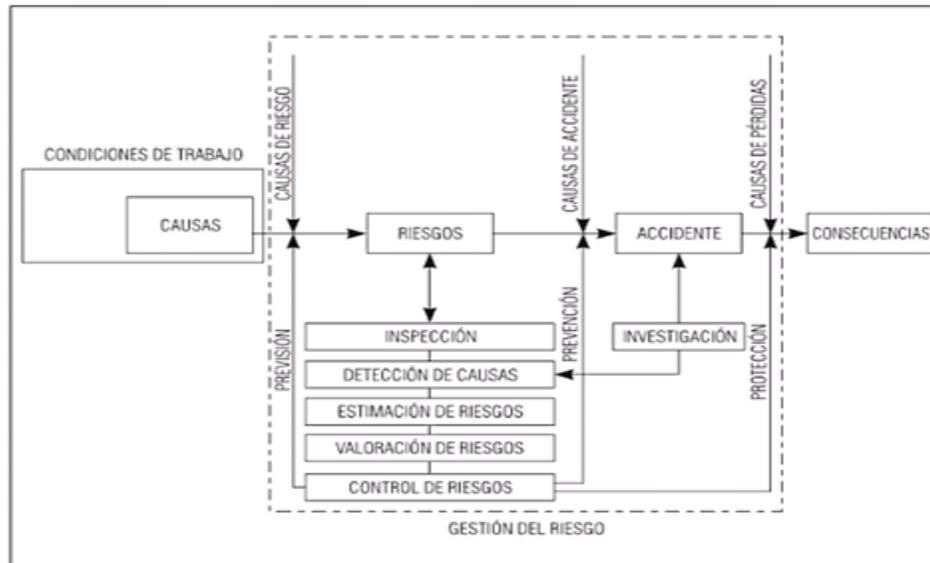


## **2.9 Inspecciones de seguridad**

Por inspecciones de seguridad se entiende la técnica que consiste en el análisis detallado de las condiciones de seguridad (maquinaria, instalaciones, herramienta, etc.), a fin de descubrir las situaciones de riesgo que se derivan de ellas (condiciones peligrosas o prácticas inseguras) con el propósito de adoptar las medidas adecuadas para su control y evitar el accidente (prevención) o reducir los daños materiales o personales derivado del mismo (protección).

Al seguir la ruta de los accidentes se puede ver como la inspección actúa detecta causas y estima los riesgos con el fin de adoptar las medidas de control más adecuadas en función de la magnitud del riesgo obtenido. Ver figura 26.

**Figura 26. Diagrama de inspección de seguridad**



**Fuente:** José Cortez, Técnicas de prevención de riesgos laborales, p. 141

### 2.9.1 Lista de identificación de peligros

Para realizar de forma eficaz la inspección de seguridad es conveniente contar con una guía o lista de inspección, que informe y recuerde los puntos que deben ser inspeccionados (agentes materiales causantes de los accidentes de trabajo)

Al identificar y evaluar los riesgos de trabajo es necesario controlarlo en:

- En la fuente, que es donde se genera el riesgo.
- En el medio, se puede controlar las barreras.
- En el trabajador, mediante el uso de elementos de protección.

En la siguiente lista se presenta algunos factores de riesgos que deben ser inspeccionados en todas las áreas de reductores.

**Tabla IV. Lista de identificación de peligros**

Instalaciones generales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado de locales</li> <li>• Estado de pisos</li> <li>• Pasillos y superficies de tránsito</li> <li>• Orden y limpieza</li> <li>• Señalización</li> <li>• Huecos en los suelos</li> <li>• Caída de materiales</li> </ul>
Equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características técnicas</li> <li>• Antigüedad</li> <li>• Modificaciones y limitaciones</li> <li>• Estado de las protecciones</li> <li>• Sistema de seguridad</li> </ul>
Herramientas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estado</li> <li>• Utilización</li> <li>• Almacenamiento</li> </ul>
Condiciones medioambientales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura</li> <li>• Ventilación</li> <li>• Iluminación</li> <li>• Polvos, gases, humos etc.</li> <li>• Ruidos, vibraciones etc.</li> </ul>
Carga de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfuerzos</li> <li>• Cargas</li> <li>• Posturas</li> <li>• Nivel de atención, etc.</li> </ul>

## 2.9.2 Rombo NFPA

La norma NFPA 704 es el código que explica el "diamante de fuego" establecido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego, utilizado para comunicar los riesgos de los materiales peligrosos. Es importante para mantener el uso seguro de productos químicos. Ver figura 27.

**Figura 27. Rombo NFPA 704**



El rombo está conformado por cuatro divisiones de diferentes colores que interpretan los diferentes tipos de riesgos.

- El azul hace referencia a los riesgos para la salud
- El rojo indica el peligro de inflamabilidad
- El amarillo los riesgos por reactividad: es decir, la inestabilidad del producto.
- A estas tres divisiones se les asigna un número de 0 (sin peligro) a 4 (peligro máximo).

- Por su parte, en la sección blanca pueden haber indicaciones especiales para algunos materiales, indicando que son oxidantes, corrosivos, reactivos con agua o radiactivos.

## **2.10 Equipo de protección personal**

Se entiende por protección personal o individual la técnica que tiene como objetivo el proteger al trabajador frente a agresiones externas, ya sean del tipo físico, químico o biológico, que se puedan presentar en el desempeño de la actividad laboral.

Para la clasificación del equipo de protección personal se tendrán en cuenta, los riesgos que existen y las de cuerpo que puedan afectar por causa de este riesgo, en su trabajo.

En la selección del equipo de protección personal y de la dotación personal, el seleccionado no solamente dará el conveniente grado de protección sino también de comodidad en su uso, y es obligación mantenerlo en buen estado.

Los principales elementos son:

- **Protección cabeza**

Se necesita en aquellos lugares donde exista peligro de impacto y penetración de objetos que caen o vuelan y de choque eléctrico. Se utiliza un casco que reúna ciertas normas y condiciones de seguridad del mismo, como que sea resistente a tensiones de corrientes altas, aptos para reducir la fuerza de impactos y resistentes a la corrosión.

- **Protección Auditiva**

Uno de los factores más importantes que se debe tomar en cuenta para la selección de equipo protector de oídos es la capacidad que tiene de reducir el nivel de decibeles al que se está expuesto. Existen dos tipos de protectores acústicos:

- Protectores auditivos externos (orejeras y cascos)
- Protectores auditivos internos (tapones y válvulas)

- **Protección respiratoria**

La utilización de protección respiratoria se hará en aquellas áreas que presentan ambientes respirables limitados por polvos, o en ambientes deficientes de oxígeno y con contaminación del aire por neblinas, gases o humos.

Los elementos con que se debe contar son: las mascarillas desechables, las cuales tienen una resistencia baja a la respiración pero una buena detección de polvo.

- **Protección visual**

Entre los factores a tener en cuenta a seleccionar el protector visual contra impactos, rayos ionizantes y polvos se incluyen: la protección que éste brinda, la comodidad con que podrá ser usado y la facilidad de mantenerlo en buenas condiciones.

Contar con gafas de seguridad con protección lateral, vidrio plástico con recubrimiento en policarbonato, gafas de seguridad para soldar con oxiacetilénico provisto de lentes para proteger de los rayos ultravioleta, lumínicos e infrarrojos.

- **Protección de manos**

Se debe utilizar protección para las manos donde exista peligro derivado del manejo de materiales pesados, corrosivos, cortantes, abrasivos, superficiales calientes, etc.

- **Protección de cuerpo**

El utilizado es el cinturón de seguridad para trabajos que requieren estar en alturas. Para su selección debemos considerar dos usos:

- **Normal**

Se le aplican al cinturón tensiones relativamente leves, las que se somete en el trabajo de alturas y que rara vez excederán el peso total estático del usuario.

- **Emergencia**

Se refiere a retener con seguridad al hombre al caerse, somete el cinturón a una carga de impacto que sobrepasa en muchas veces el peso del usuario.

- **Protección de pies**

Se debe utilizar el calzado de seguridad para proteger los pies de los trabajadores en caída de objetos pesados, o aprisionamiento de los dedos de los pies bajo grandes cargas.

Este calzado de seguridad tendrá puntera dura y deberá cumplir con las normas de seguridad y diseño establecido.

## **2.11 Medidas de seguridad tomadas por el personal**

Comprende las medidas de formación, establecimiento de procedimientos de trabajo seguros, mantenimiento, y suministro de protección individual. Se toma aproximadamente dos minutos en analizar una tarea para identificar, evaluar y mitigar riesgos en el trabajo que se realizará. Cuando se identifican riesgos que no se pueden controlar, se deben comunicar al departamento de seguridad industrial.

El éxito de la identificación de peligros y evaluación de riesgos dependen de cada uno de los trabajadores. A continuación se especifica acciones generales a tomar en cuenta en el desarrollo de cualquier actividad laboral.

- **Acciones a tomar antes de cada trabajo**
  - Observar el área de trabajo y sus alrededores
  - Analizar que es lo que se va a realizar
  - Observar lo que esta sucediendo en los alrededores

- **Acciones a tomar en cuenta durante cada trabajo**

- Estar siempre atento
- Al realizar una tarea rutinaria es posible hacerla de un modo automático, lo cual puede provocar un accidente
- Tomar descansos regulares y cortos durante tareas largas, para concentrarse de nuevo en el ambiente y peligros relacionados
- Cuando se está por finalizar, pensar que se requiere para completar la tarea de forma segura.

- **Acciones a tomar cuando la tarea a finalizado**

- Observar el área de trabajo
- Controlar cualquier peligro que pudo ser producto del trabajo
- Pensar en el trabajo

## **2.12 Técnicas de seguridad aplicadas a los reductores**

Son las medidas de seguridad cuya misión es la de proteger a las personas contra los riesgos.

### **2.12.1 Aislamiento y bloqueo de equipo**

Cualquier colaborador puede sufrir lesiones serias al exponerse a fuentes de energía (cinética, mecánica, eléctrica, etc.). Para evitarlo, las normas OH&S indican siete reglas sobre aislamiento y bloqueo.

- **Coordinar**

Antes de iniciar, contactar a una persona competente para asegurarse del correcto aislamiento del equipo.

- **Aislar**

El equipo involucrado debe estar aislado de una fuente de energía para evitar explosiones o electrocución, se deben inspeccionar posibles fuentes de energía acumuladas en resortes, transformadores, sistemas neumáticos, etc. El uso de paros de emergencia no debe considerarse como aislamiento.

- **Aseguramiento y bloqueo**

El equipo utilizado para aislar debe estar asegurado en su posición por medio de un candado, removiendo la conexión o instalando una barrera física.

- **Comprobar**

Antes de comenzar realizar una inspección visual y/o intentar arrancar el equipo. Se debe de verificar mecánicamente la ausencia de energía: tensión, movimiento.

También la ausencia de voltaje entre los conductores, ausencia de presión, flujo; con la instrumentación requerida para la debida inspección.

- **Notificar**

Anotar todos los bloqueos en el permiso de trabajo, firmados por los encargados y quien autoriza. Todo dispositivo con bloqueo debe estar etiquetado con los datos de la persona que realiza la tarea.

- **Inmovilizar**

Inmovilizar los equipos móviles que puedan liberar energía durante el trabajo. Asegurarse que los dispositivos de bloqueo usados resistan la fuerza a que puedan someterse.

- **Señalizar**

Las áreas de trabajo deben señalizarse y prohibir el paso a través de ellas.

### **2.13 Medidas de prevención a adoptar frente a los peligros localizados en el área de reductores**

Uno de los factores que más influencia ejerce en la prevención de accidentes es precisamente el orden y limpieza en las áreas de trabajo. La falta de las normas más elementales de conservación del adecuado orden y limpieza en las áreas de trabajo constituye una de las principales causas de accidentes.

Durante el desarme y armado de los reductores, es necesario que exista un adecuado espacio alrededor de los trabajos que se realizan. A continuación señalaremos las medidas que deben tenerse en cuenta para evitar accidentes.

- Retirar los objetos que obstruyan el paso
- No apilar materiales en lugares de tránsito
- Eliminar rápidamente los desechos
- Hacer que las líneas de conducción sean áreas, elevadas o subterráneas
- Hacer que los recipientes que contienen líquidos tóxicos o inflamables queden herméticamente cerrados
- Evitar los pisos resbaladizos

Las operaciones de reparación, limpieza o mantenimiento de los reductores y los equipos adyacentes requieren en ocasiones que los medios de protección sean retirados de su sitio para facilitar estas operaciones, por lo tanto deberán adoptarse todas las precauciones y garantizar que una vez concluidas las operaciones de mantenimiento queden dispuestos en su mismo lugar.

Un buen servicio de inspección y mantenimiento debe garantizar que los medios de protección se encuentren siempre en perfecto estado de funcionamiento.

#### **2.14 Disposiciones generales de seguridad de reductores**

Antes de realizar los trabajos de mantenimiento, se deben tomar en cuenta las normas de seguridad y de prevención de accidentes. Es requisito observar como mínimo los puntos siguientes con miras a asegurar una operación óptima exenta de anomalías.

No es factible listar una enumeración exhaustiva de todas las condiciones imaginables que pudieren surgir durante la operación y el mantenimiento de la máquina.

- Controlar para asegurarse de que todas las unidades mecánicas estén paradas, todos los interruptores, en especial aquellos pertinentes al motor del molino y al del separador, estén desconectados, y que el interior del equipo este totalmente ventilado y enfriado, antes de comenzar trabajos de reparación, chequeo interno del equipo o de penetrar dentro del equipo. Se seguirá el procedimiento de aislamiento y bloqueo del equipo.

- Inspeccionar que los interruptores de motores no puedan ser conectados indeliberadamente sin la aprobación del personal a cargo de los trabajos.
- Los dispositivos de protección se quitarán sólo en estado de reposo y con el engranaje asegurado.
- La capacidad de carga de los dispositivos de elevación a instalar y a emplear debe corresponder como mínimo al peso aislado máximo más pesado.
- Está prohibido el tránsito debajo de materiales en voladizo.
- Se observarán las indicaciones colocadas en el engranaje, por ejemplo, placa de características, flecha de sentido de giro, etc. Deben encontrarse exentos de polvo y suciedad. Se sustituirán los rótulos que faltan.
- Está prohibido utilizar fuego abierto en las proximidades de la unidad de lubricación o de la unidad hidráulica.
- El personal debe de regirse por las normas de seguridad y equipo de protección para prevención de accidentes
- Antes de arrancar, se comprobará si se han colocado todos los dispositivos de protección, luego de realizar las reparaciones.



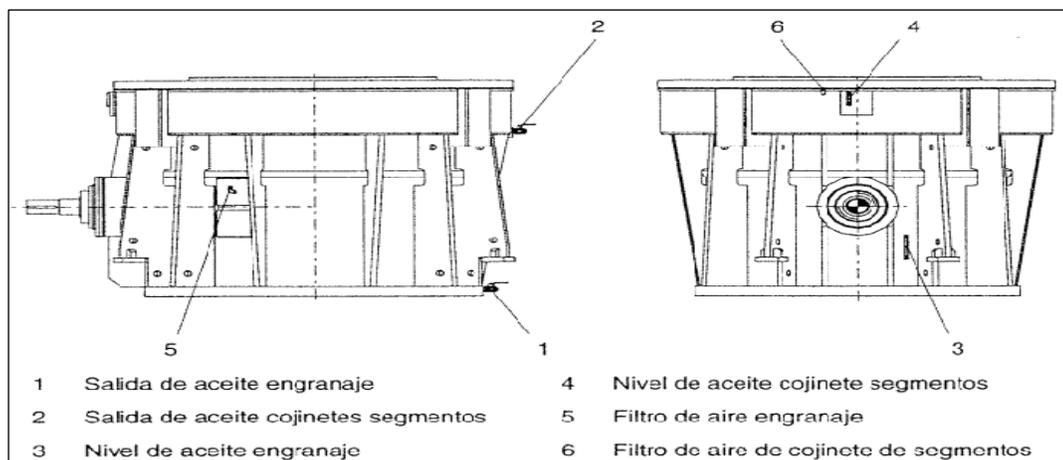
### 3. DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTO DE MANTENIMIENTO PARA DESARME Y ARMADO DE REDUCTOR KMP

#### 3.1 Reductor planetario KMP

El reductor KMP del molino vertical se caracteriza por una etapa de engranajes cónicos, una etapa de engranajes planetarios y un cojinete de deslizamiento de empuje axial para el accionamiento del molino vertical.

Estos engranajes están hechos para las condiciones de servicios especiales. Tienen que transmitir la potencia, reducir la velocidad del motor eléctrico a la velocidad requerida del molino y soportar la mesa de molienda. Debido a que el proceso de molienda presenta fuerzas axiales muy elevadas, que se deben transmitir a la cimentación a través de la carcasa del reductor. Ver figura 28.

**Figura 28. Reductor planetario KMP**

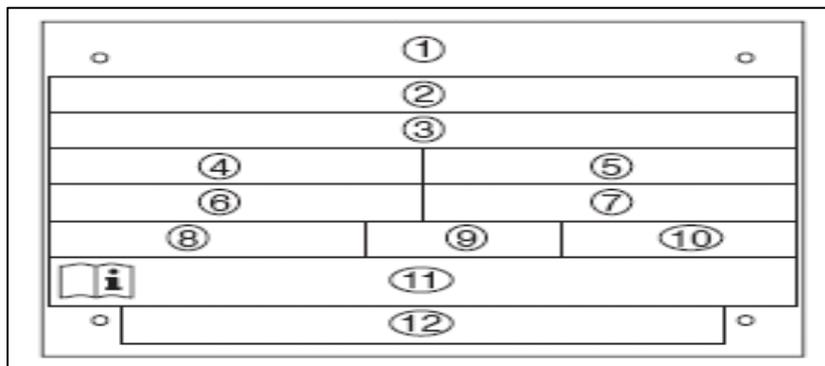


FUENTE: F. L. Smidth, Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, p. 9

### 3.2 Descripción técnica

Los datos técnicos más importantes se muestran en la placa que se encuentra en la carcasa del reductor. Estos datos determinan los límites de su uso correcto de los reductores. Ver figura 29.

**Figura 29. Placa de datos técnicos**



Fuente: F. L. Smidth, Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, p. 9

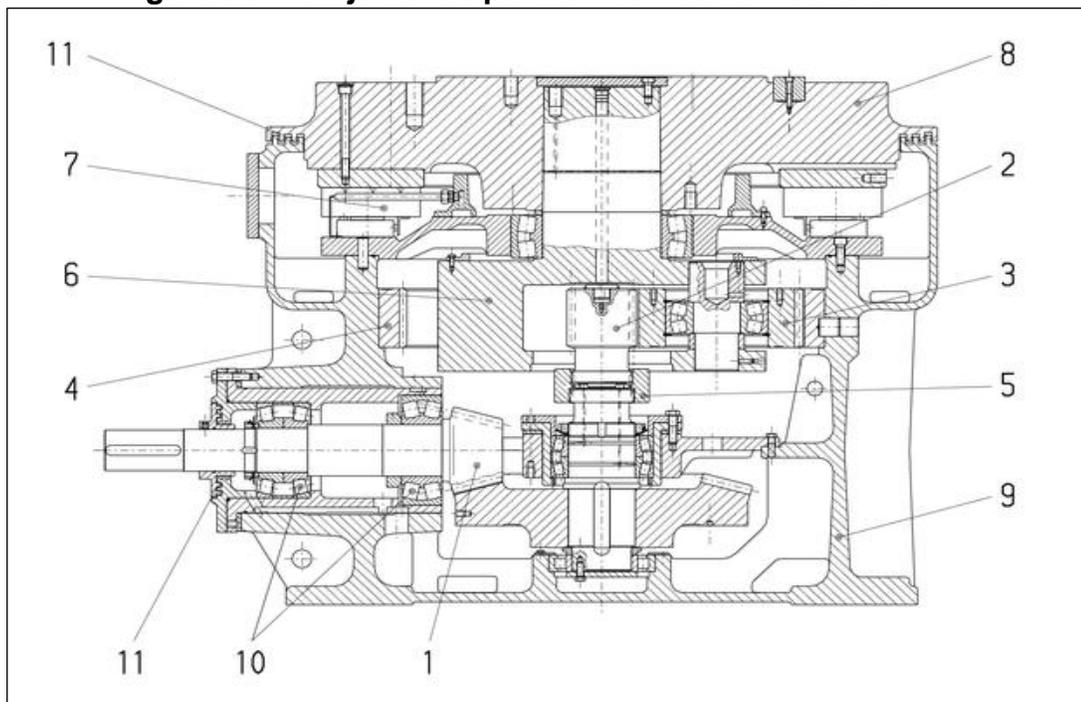
Identificada de la siguiente manera:

1. Logo de la compañía y lugar de manufactura
2. Información especial
3. Número de orden y serie
4. Tipo/tamaño
5. Potencia de salida en Kw
6. Velocidad de entrada  $n_1$
7. Velocidad de salida  $n_2$
8. Tipo de aceite
9. Viscosidad del aceite
10. Cantidad de aceite en la carcasa
11. Número de serie de manuales de operación
12. Información especial

### 3.3 Elementos mecánicos

El reductor KMP es un tipo de reductor planetario que tiene un diseño compacto y la forma de su carcasa está diseñada para alojar perfectamente todas las partes mecánicas del reductor, que generan la transmisión de potencia y que soportan las fuerzas inducidas del proceso de molienda. Ver figura 30.

**Figura 30. Dibujo de las partes internas del reductor KMP**



Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 5, pág. 3

- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1) Etapa de engranaje cónico           | 7) Cojinete de empuje axial |
| 2) Engranaje sol o planeta             | 8) Carcasa del reductor     |
| 3) Engranaje planetario                | 9) Carcasa                  |
| 4) Engranaje interior o corona dentada | 10) Rodamientos del piñón   |
| 5) Acoplamiento de engranaje doble     | 11) Sello de laberinto      |
| 6) Carcasa planetaria                  |                             |

### 3.3.1 Carcasa

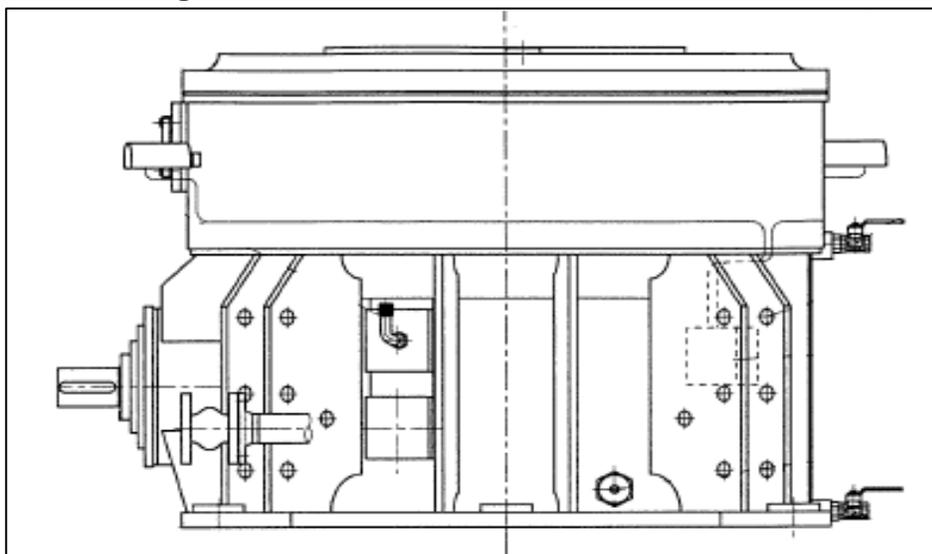
La carcasa es de fundición de grafito esferoidal calidad GGG 40 (ejecución soldada). Está diseñada para cumplir dos funciones:

Una es, como en otros tipos de cajas de velocidades, permitir la lubricación y protección de los engranajes, y el otro, que es específica a este tipo de cajas de engranaje, es soportar las cargas del molino vertical.

Los fuertes refuerzos de la carcasa aportan una elevada rigidez, que es de importancia decisiva para la seguridad del funcionamiento y la duración del cojinete de empuje axial.

También, puede soportar las vibraciones procedentes del molino. Para la comprobación de los engranajes y los segmentos del cojinete de empuje axial, se ha previsto aberturas de inspección. Ver figura 31.

**Figura 31. Carcasa de un reductor KMP**



Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 10, pág. 7

### **3.3.2 Piezas dentadas**

El juego de engranajes cónico está cementado y pulido. El piñón central y las ruedas planetarias fresadas, cementadas y los flancos de los dientes pulidos. La corona es de acero bonificado altamente aleado.

La compensación de carga se realiza por el piñón central que está unido con el eje del engranaje cónico mediante un acoplamiento de doble engrane.

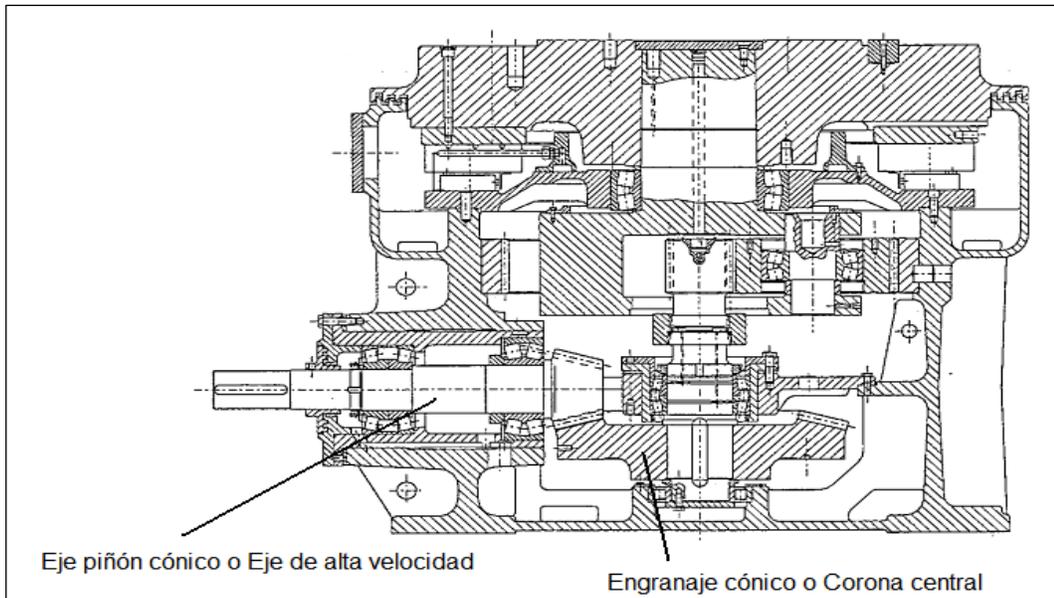
Los reductores KMP están conformados por:

a) Eje piñón cónico o eje de alta velocidad

Está acoplado con el motor eléctrico, transmite la potencia del motor eléctrico a la primera etapa de reducción de velocidad, consiste en un piñón cónico en espiral que engrana con el engranaje cónico del reductor. El engranaje cónico en espiral opera con mayor suavidad y menor ruido, y con menos vibración, dado que sus dientes en ángulo se van acoplando gradualmente.

El eje está montado con sus cojinetes en una carcasa independiente que facilita su inspección y reemplazo sin tener que desmontar el reductor completamente. Ver figura 32.

**Figura 32. Identificación del eje de alta velocidad y engranaje cónico**



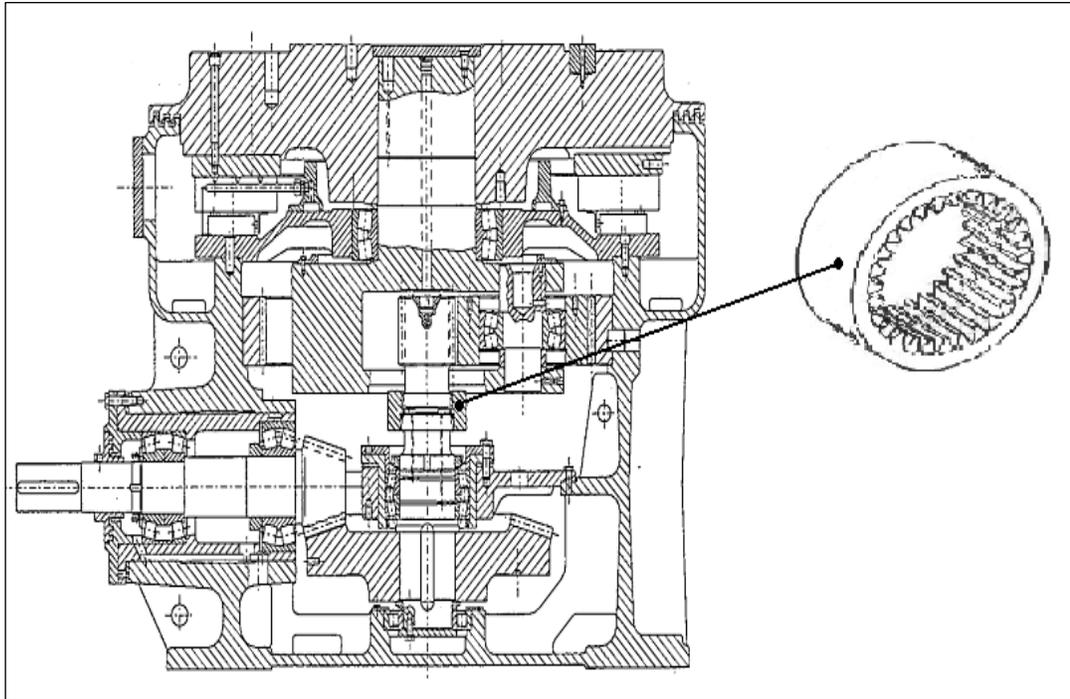
**Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 5, pág. 3**

#### b) Conexión intermedia del engranaje planetario

La transmisión de potencia se realiza por medio del acoplamiento de engranaje doble también llamado acoplamiento de articulación doble. Está diseñado con dientes coronados internos para acoplar el eje del engranaje cónico y el piñón sol del sistema planetario.

Los dientes del eje de la corona cónica son más pequeños que los dientes del piñón del planetario que se acoplan en cada lado del acoplamiento. Puede soportar los desajustes provocado por altas cargas que vienen del molino. Ver figura 33.

**Figura 33. Acoplamiento de doble engranaje**



Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 5, pág. 3

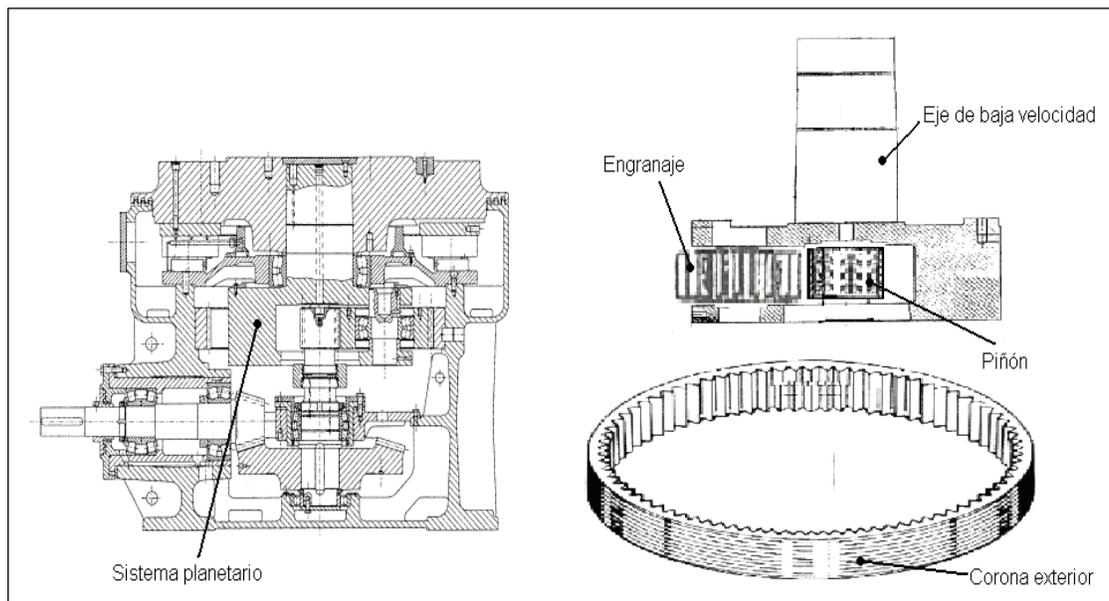
c) Sistema planetario

Es un sistema de engranajes (o tren de engranajes) consistente en tres engranajes externos o *satélites* que rotan sobre el piñón central autoajustable o *planeta*. Típicamente, los satélites se montan sobre una armazón o portasatélites los cuales engranan con la corona exterior.

La compensación de carga se realiza por el piñón central autoajustable, que está unido con el eje del engranaje cónico mediante el acoplamiento de engranaje doble.

Cada engranaje del planeta es apoyado por solamente un cojinete esférico de rodillos dobles auto-alienable para garantizar la alineación y el contacto de los engranajes del planeta con la corona de dientes internos. Ver figura 34.

**Figura 34. Sistema planetario de un reductor KMP**



Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 5, pág. 3

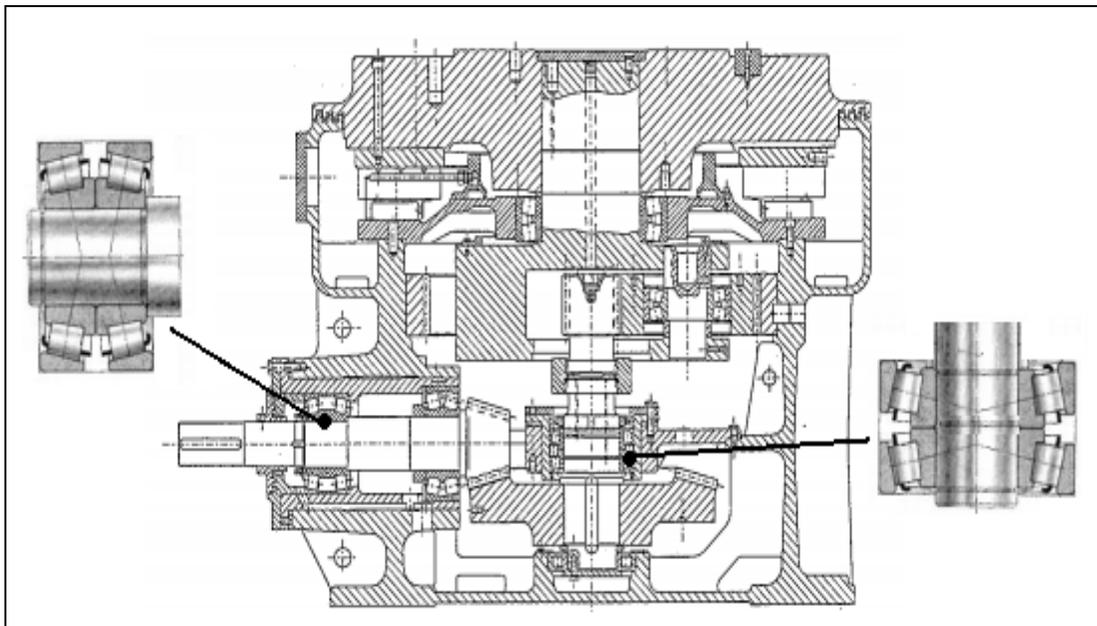
### 3.3.3 Rodamientos

Todos los ejes están montados sobre rodamientos. Para las elevadas fuerzas axiales que proceden de los engranajes cónicos se emplean grupos de cojinetes de rodillos cónicos. En los otros puntos de apoyo se emplean cojinetes de rodillos.

El eje de alta velocidad del lado del motor eléctrico y el eje del engranaje cónico utiliza un grupo de rodamientos de rodillos cónicos apareado cara a cara.

Su diseño hace que los rodamientos de rodillos cónicos sean especialmente adecuados para soportar cargas combinadas (radiales y axiales). En las parejas de rodamientos con una disposición cara a cara, se coloca un aro intermedio entre los dos aros exteriores de modo que el montaje es relativamente sencillo. En las disposiciones cara a cara, las líneas de carga convergen hacia el eje de los rodamientos. Las cargas axiales en ambos sentidos, pueden ser soportadas por cada rodamiento en un sentido. Ver figura 35.

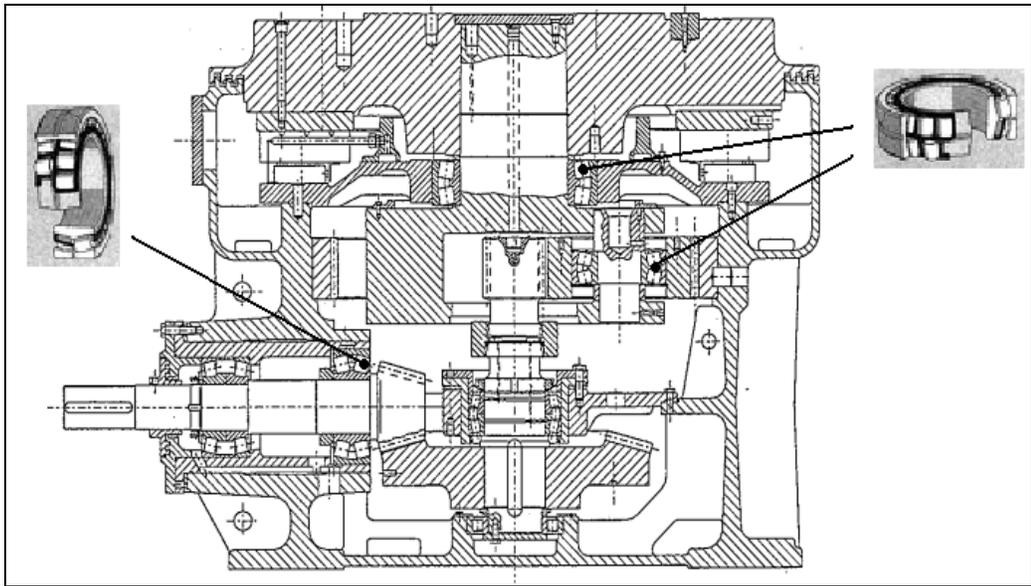
**Figura 35. Rodamientos de rodillos cónicos apareados cara a cara**



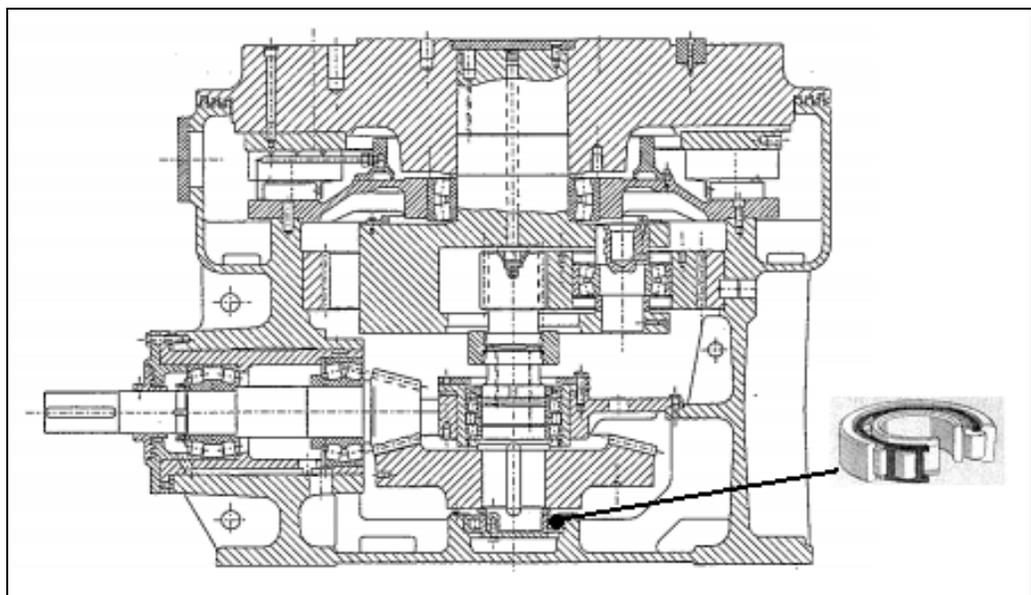
En los demás puntos del reductor tanto en el lado del piñón, en los satélites del planetario y en el eje de baja velocidad utilizan un rodamiento de rodillos a rotula que tienen dos hileras de rodillos con un camino de rodadura esférico común en el aro exterior. Son autoalineables y consecuentemente insensibles a la desalineación del eje con respecto al alojamiento y a la flexión o curvatura del eje. Ver figura 36.

Y en la parte inferior del eje del engranaje cónico un rodamiento de rodillos cilíndricos. Los rodamientos de una hilera de rodillos cilíndricos pueden soportar cargas radiales elevadas y altas velocidades. Ver figura 37.

**Figura 36. Rodamientos de rodillos a rotula**



**Figura 37. Identificación del rodamiento de rodillos cilíndricos**



El soporte planetario está unido rígidamente con la brida de salida y se guía exactamente mediante un cojinete radial y un cojinete de empuje axial. Que absorbe las altas cargas de empuje causadas por el proceso de molienda en el molino.

El cojinete de empuje axial consiste de un anillo de deslizamiento con el número adecuado de almohadillas de inclinación o zapatas que se disponen en segmentos adaptadas entre el reductor y la brida de conexión del reductor de velocidad. Ver figura 38.

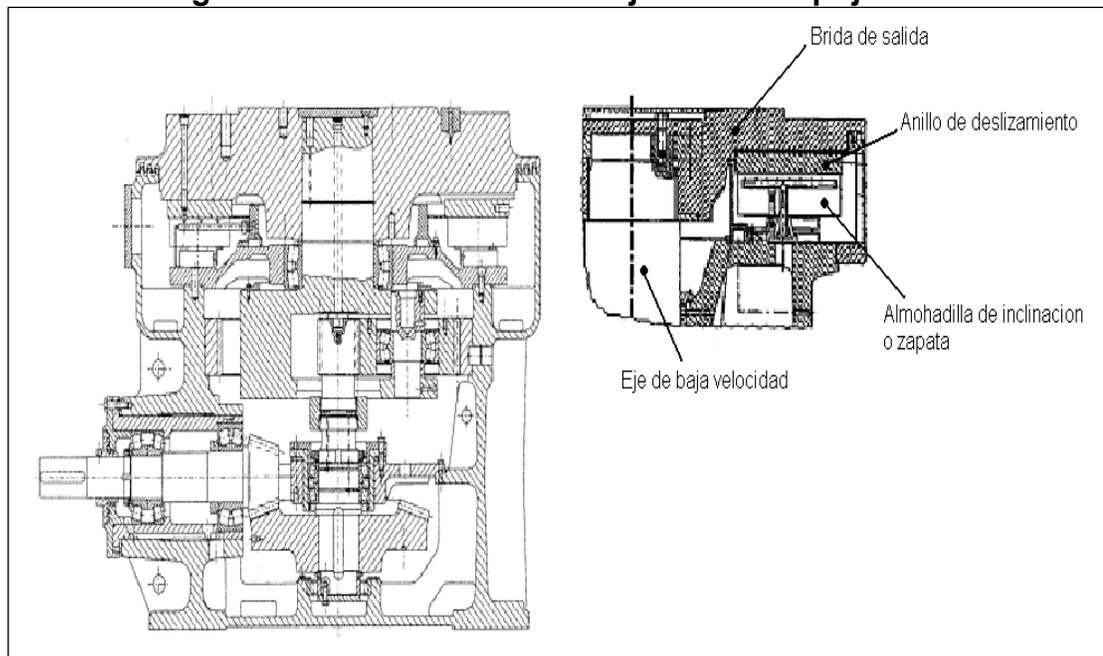
El material de contacto del cojinete de empuje axial contiene propiedades de antifricción; se entiende por antifricción el conjunto de las siguientes propiedades: bajo coeficiente de rozamiento, buena resistencia al desgaste, ninguna tendencia a la soldadura, etc.

Cada almohadilla se compone de bloques de acero templado con una capa de metal blanco en la superficie de trabajo superior y un soporte esférico o base en la parte inferior que permite a la plataforma a oscilar y ajustarse automáticamente en cada dirección.

El material aplicado en la superficie de las almohadillas también se le conoce como metal babbitt. Los babbitt son aleaciones blancas de antifricción a base fundamentalmente de estaño, plomo, antimonio, cobre y otros metales.

Las propiedades de los babbitt estriban en su gran plasticidad que favorece la adaptabilidad del cojinete en su termoconductividad y en su capacidad de retener gruesas películas de lubricante.

**Figura 38. Identificación del cojinete de empuje axial**



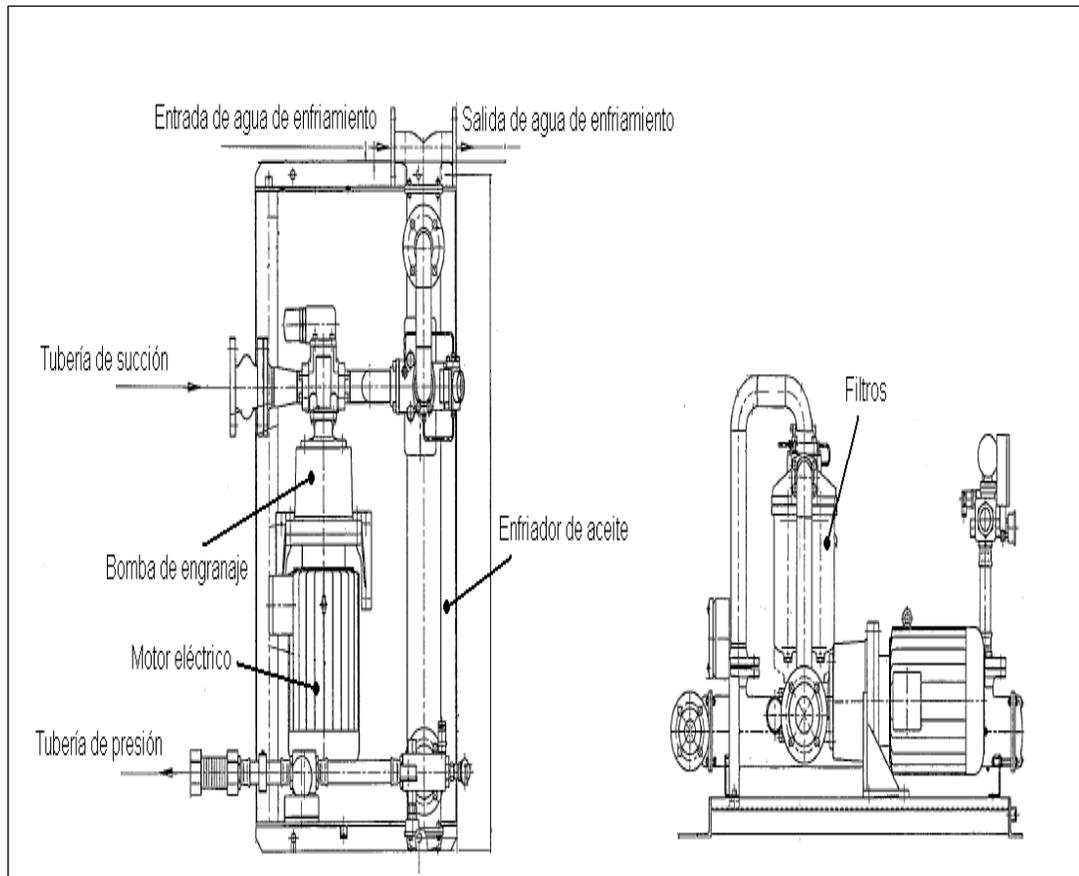
Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 5, pág. 3

### 3.3.4 Sistema de lubricación

La lubricación y refrigeración se realiza mediante una circulación de aceite continua de un sistema de abastecimiento de aceite montado separadamente. Cuyo objeto es evitar el contacto metálico entre todas las partes rotativas del reductor de velocidad y desviar el calor de las zonas de presión. Ver figura 39.

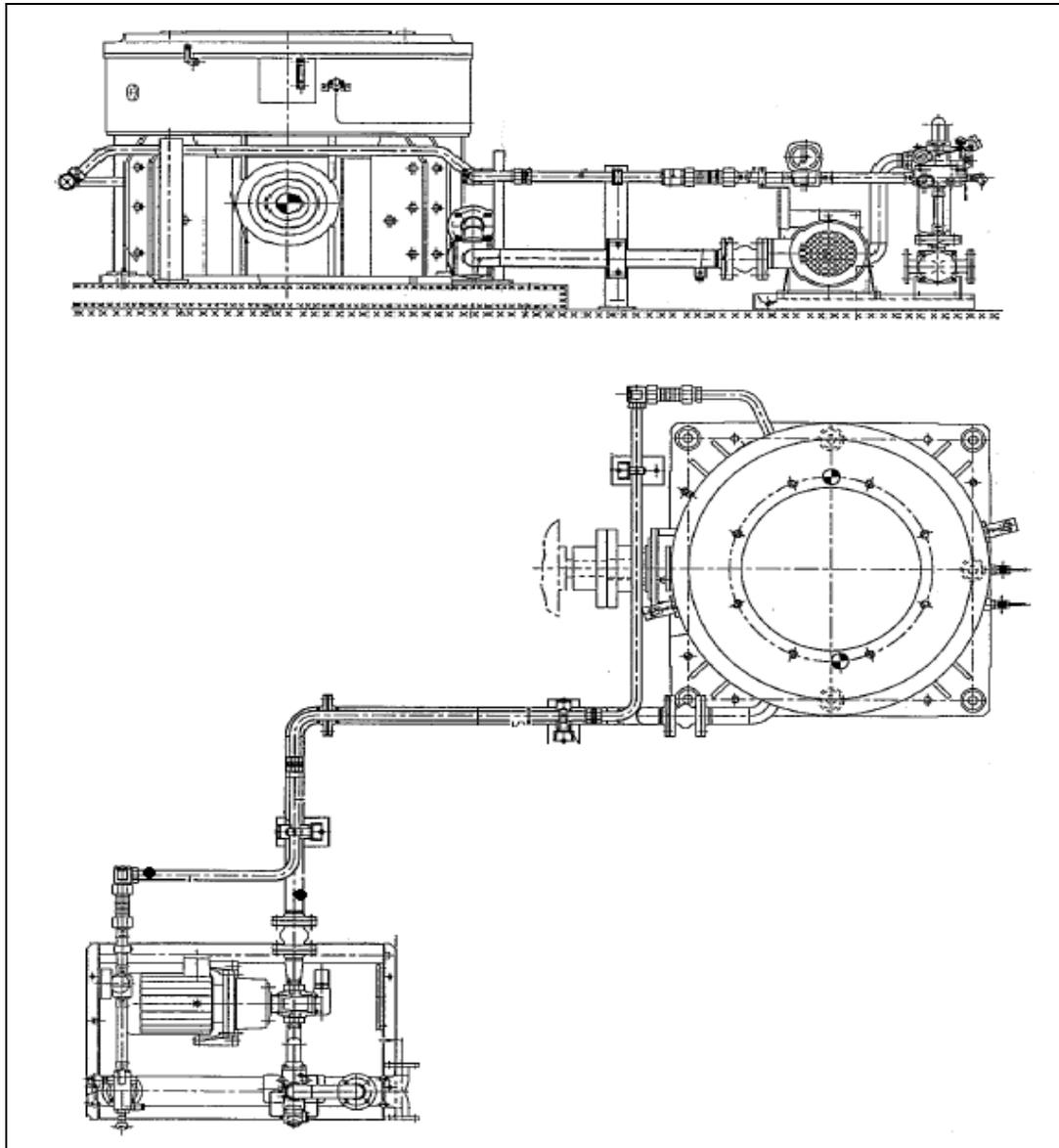
El sistema de lubricación tiene una bomba de circulación de aceite a baja presión, filtros de aceite y refrigerador de aceite, así como también una bomba de aceite de alta presión para el cojinete de empuje axial, dependiendo de la serie del reductor (KMP 530 y 620).

**Figura 39. Equipos para lubricación del reductor**



La bomba aspira el aceite a través de la tubería de aspiración que está conectada en la parte inferior del reductor. La cantidad de calor generado no evacuable por convección, generada por pérdidas, se evacúa a través del refrigerador. El aceite pasa por dos filtros para la filtración del aceite circulante. Se retorna el aceite enfriado y filtrado por la tubería de presión hacia el reductor.

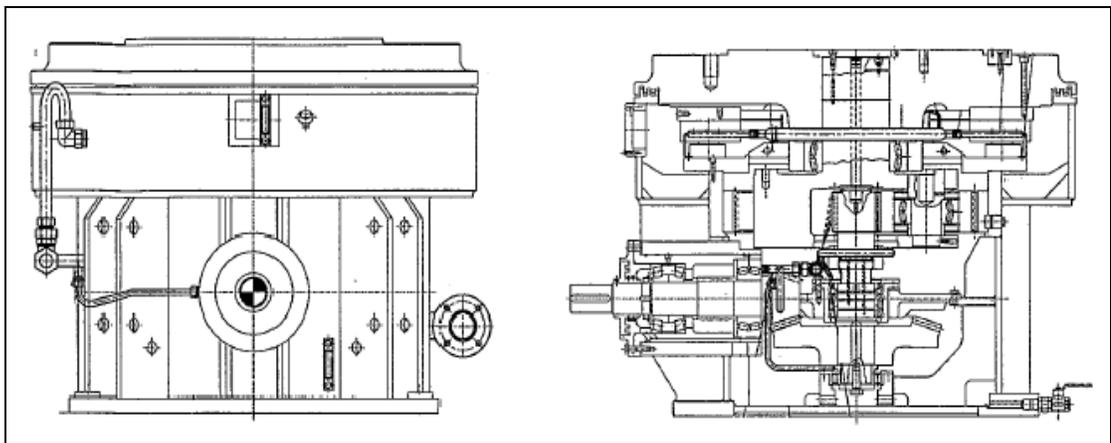
**Figura 40. Sistema de lubricación del reductor**



Las ruedas dentadas son lubricadas en un baño de aceite. Al piñón del eje de alta velocidad y engrane cónico, se les aplica aceite por medio de boquillas y la cantidad se controla por el tamaño del orificio y presión del aceite.

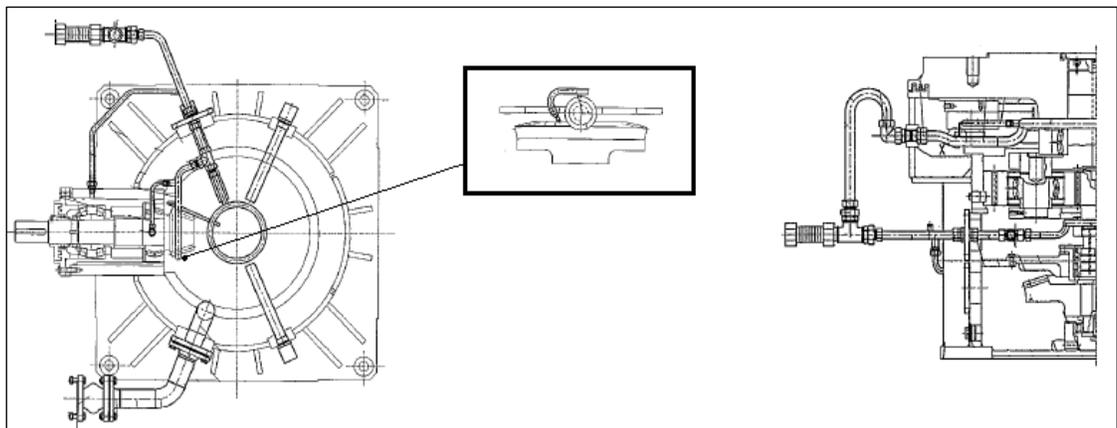
La boquilla es montada de tal forma que el aceite es atomizado en el lado convergente de los dientes del piñón y el engranaje cónico antes de que entren en contacto. La lubricación del piñón del planetario se lleva a cabo por una tubería anular con orificios en toda su periferia que rodea al piñón del planetario.

**Figura 41. Tuberías de lubricación del reductor**



Los rodamientos del eje de alta velocidad se lubrican por medio de toberas de inyección de aceite dado que la velocidad del eje no permite que el aceite fluya por el rodamiento y elimine el calor. Ver figura 42.

**Figura 42. Tubería de lubricación para el eje de alta velocidad**

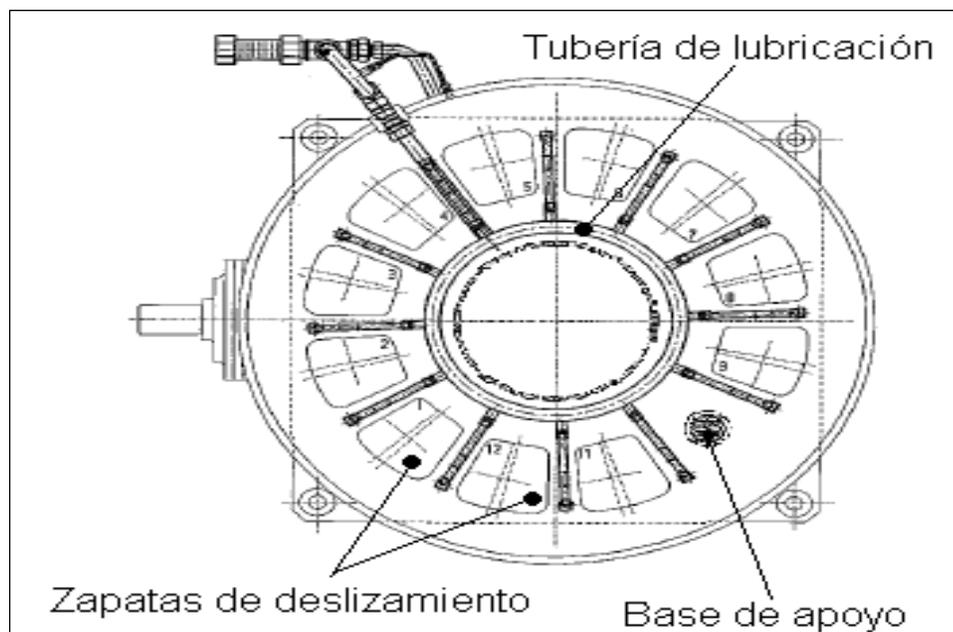


El anillo de deslizamiento que está fijado a la brida de conexión descansa sobre las zapatas del cojinete y están separadas por una película de aceite que soporta la carga vertical del sistema de molienda. Ver figura 43.

El cojinete está diseñado para una lubricación hidrodinámica y para lubricación hidrostática. El grueso de la película del aceite se asegura para ser uniforme y suficiente para exceder siempre la aspereza superficial de la pista de rodadura de la brida, y para absorber los choques derivados de la molienda del molino. La forma trapezoidal de las almohadillas da lugar a una utilización óptima del área circular del anillo. Ver figura 44.

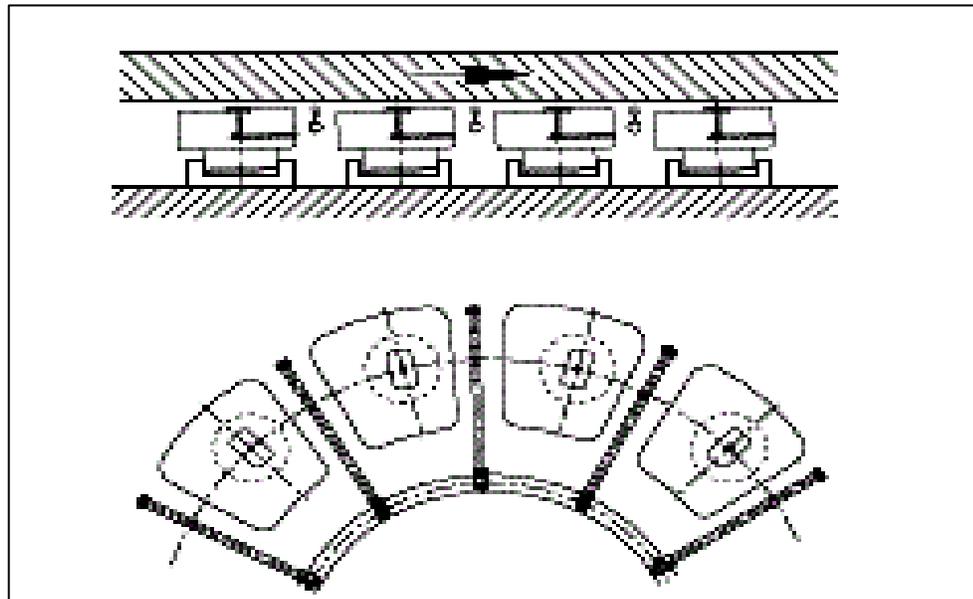
La alimentación del aceite nuevo en el cojinete de empuje, se realiza mediante tuberías de inyección, que están situadas entre los segmentos.

**Figura 43. Cojinete de empuje axial y anillo de lubricación**



Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales, cap. 5, pág. 3

**Figura 44. Deslizamiento de la brida de salida**



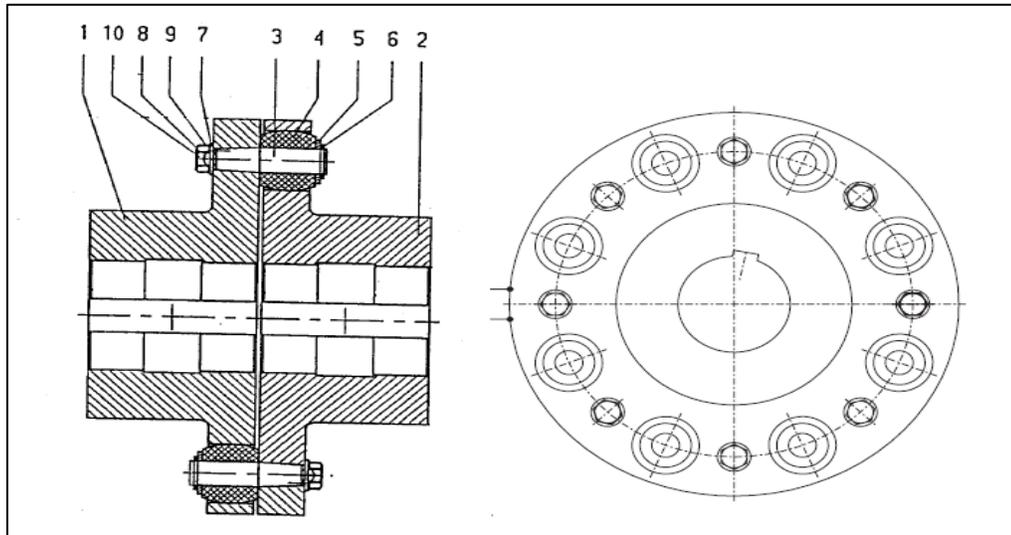
Fuente: F.L.S. Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales

### **3.3.5 Acople**

El acoplamiento tiene por función prolongar la línea de transmisión del eje del motor eléctrico hacia el reductor. El reductor de velocidad KMP utiliza un acoplamiento flexible, que está diseñado para que sea capaz de transmitir torque con suavidad, en tanto permite cierta desalineación axial, radial o angular.

Estos acoplamientos se componen de dos piezas, poseen amortiguadores esféricos de plástico embutidos entre los pernos y los alojamientos que permiten absorber vibraciones. Ver figura 45.

**Figura 45. Acople flexible con amortiguadores de plástico**



- |                     |                                 |
|---------------------|---------------------------------|
| 1. Pieza 1          | 7. Disco final                  |
| 2. Pieza 2          | 8. Perno cilíndrico con muescas |
| 3. Perno            | 9. Chapa de seguridad           |
| 4. Amortiguador     | 10. Tornillo hexagonal          |
| 5. Disco            |                                 |
| 6. Anillo de muelle |                                 |

### **3.4 Lineamientos para rutinas de mantenimiento preventivo**

#### **3.4.1 Registros sistemáticos**

Los esfuerzos de mantenimiento, tales como vigilar los equipos y recolectar datos sobre las condiciones de los reductores de velocidad requiere de registros y archivos de información bien organizados.

Por lo tanto, es necesario tener algún tipo de programa para el procesamiento de datos que integre toda la información de los equipos y de sus elementos, que permita simplificar y agilizar las tareas necesarias para llevar a cabo los mantenimientos.

Los datos deben incluir la información técnica necesaria, así como el historial de repuestos, control de temperatura, control de tendencia de vibraciones, repuestos en almacén, etc.

### **3.4.2 Existencia de repuestos**

Las ventajas de la programación de mantenimiento preventivo son hacer predicciones acerca de las necesidades de mantenimiento para el futuro. En consecuencia, es posible estimar la cantidad de aceite recomendado que se debe tener en el almacén para el debido cambio de aceite. Igualmente, es necesario tener una existencia de cojinetes para sustituir aquellos que presenten desgaste.

La cantidad de piñones y engranajes que deben tenerse a mano como repuestos depende de la experiencia en el pasado, de los registros de desgaste, de las recomendaciones de los fabricantes, etc.; siempre se deben mantener en almacén bombas de aceite, elementos de filtro en existencia.

### **3.4.3 Inspección durante producción**

La inspección comprende todas las medidas para la constatación y evaluación del estado real del equipo.

La inspección diaria y los requerimientos de mantenimiento generalmente servirán para asegurarse que los componentes funcionen sin cambios notorios en el rendimiento, tales como cambios en las temperaturas de operación, nivel de ruido y vibración.

También se inspecciona para asegurarse que todos los sistemas de lubricación están funcionando de acuerdo con las especificaciones y que se están cumpliendo a cabalidad con los tiempos establecidos para los cambios de aceite y de filtros.

Durante los servicios de inspección se comprobará en el engranaje:

- Control visual general de piezas
- Aflojamiento de pernos de anclaje del reductor
- Comprobación de fugas de aceite en las tuberías
- Temperatura de servicio elevada
- Posibles fugas de aceite en la carcasa
- Nivel de aceite correcto
- Ruidos diferentes de los engranajes
- Comprobación de los dispositivos de protección

#### **3.4.4 Inspección durante la parada del molino**

Los reductores de velocidad KMP están diseñados con varias aberturas de observación diseñadas para facilitar la evaluación de manera fiable de la inspección de las piezas internas del reductor.

Ya que es necesario revisar si el reductor de velocidad se ha distorsionado con el tiempo, lo cual puede alterar la posición de los ejes y cambiar el contacto con los dientes.

Antes de quitar las aberturas se debe extraer todo el lubricante de la parte superior e inferior del reductor, para evitar derrames en el área.

La condición del cojinete de empuje puede revisarse a través del orificio de inspección en la parte superior del reductor de velocidad. Se inspecciona el estado de las zapatas, se verifican que no haya ralladuras y que se encuentre en sus respectivos soportes.

Existen otras dos aberturas más para inspeccionar la corona central y el piñón del eje de velocidad, en esta misma se inspecciona los engranajes planetarios y los cojinetes de estos.

### **3.4.5 Sistema de seguridad**

Los sistemas de seguridad son necesarios para advertir fallas y evitar averías.

El sistema de seguridad también vigilará que haya la suficiente lubricación de aceite y, en algunos casos, el nivel del mismo. En la estación de bombeo, puede haber un sensor que controla el flujo de aceite y la presión.

El fabricante ha colocado o ha hecho los preparativos para que se coloquen sensores para medir la temperatura del aceite y de los cojinetes.

Además puede vigilar las vibraciones. Todos estos instrumentos tienen un nivel determinado para disparar la alarma y otro para desactivar el motor. La función de estos sistemas debe verificarse periódicamente.

### 3.4.6 Búsqueda de fallos generales

Consiste en la inspección para la localización de fallos, determinación de las causas y realizar las medidas pertinentes para mantener el estado deseado. Los fallos que se especifican a continuación solo se pueden considerar como puntos de orientación para la búsqueda de fallos y causas probables.

**Tabla V. Averías, causas y remedios**

<b>Avería</b>	<b>Causas</b>	<b>Remedios</b>
Temperatura elevada en los cojinetes.	Nivel de aceite en la carcasa del engranaje demasiado bajo.	Comprobar nivel de aceite, eventualmente añadir aceite.
	Aceite envejecido.	Comprobar cuando se ha realizado el último cambio de aceite, eventualmente cambiar el aceite.
	Bomba de aceite averiada.	Comprobar bomba de aceite, cambiarla si es necesaria.
	Cojinete averiado.	Desarmar reductor y cambiarlo.

**Tabla V. Continuación**

<p>Temperatura de servicio elevada.</p>	<p>Nivel de aceite en la carcasa del engranaje demasiado alto.</p> <p>Filtros de aceite sucio.</p> <p>Aceite demasiado sucio.</p> <p>Alimentación de agua de refrigeración o de aire de refrigeración averiado.</p>	<p>Comprobar nivel de aceite o corregir nivel de aceite.</p> <p>Limpiar filtro de aceite, tener en cuenta instrucciones de servicio filtro de aceite.</p> <p>Cambiar aceite.</p> <p>Comprobar alimentación de agua refrigeración o aire refrigeración.</p>
<p>El engranaje cubierto de aceite.</p>	<p>Estanquización insuficiente de la tapa de la carcasa o de las juntas.</p>	<p>Cambiar las juntas.</p>
<p>Aparato de medición caudal dispara alarma.</p>	<p>Aceite demasiado frío.</p> <p>Filtro de aceite sucio.</p> <p>Tuberías no estancas.</p>	<p>Calentar aceite.</p> <p>Limpiar filtro de aceite.</p> <p>Probar tuberías.</p>
<p>Temperatura elevada en el sensor del cojinete de empuje axial.</p>	<p>Filtro de aceite sucio.</p> <p>Bajo nivel de aceite en el cojinete de empuje axial.</p>	<p>Comprobar suciedad en filtro.</p> <p>Comprobar ajuste de la válvula de regulación.</p>

### **3.5 Acciones basadas en la vigilancia sistemática de la condición del reductor**

De acuerdo con los hallazgos acerca de la condición del reductor de velocidad, obtenidos mediante un mantenimiento sistemático y una vigilancia de la condición, se puede iniciar un mantenimiento preventivo del equipo. En otras palabras, se pueden predecir los requerimientos de mantenimiento en el futuro.

La vigilancia del reductor de velocidad ofrece información acerca de la condición mediante las mediciones registradas de la temperatura, vibración e inspección visual. Un análisis de los diferentes registros de la condición de vigilancia del engranaje indicará que los datos son estables y constantes o empiezan a desarrollar una determinada tendencia.

La tarea analítica consiste en interpretar la condición y/o el desarrollo de la tendencia durante un cierto tiempo y dar una explicación de la razón, por la cual se está produciendo esa tendencia en particular. La razón pudiera ser desgaste normal o, peor aún, mal mantenimiento. También, un mal ensamblaje o ajuste e incluso defectos de fabricación pueden dar lugar al deterioro progresivo de las partes del reductor.

El aspecto importante que surge del mantenimiento sistemático y del análisis de los registros de la condición es que se dan indicaciones en el momento oportuno para identificar las razones por las cuales se está desarrollando una determinada tendencia y planificar las acciones pertinentes.

### **3.5.1 Límites**

Los límites se encuentran en las instrucciones de las piezas de cambio del fabricante o en las normas internacionales como ISO. La experiencia del personal de mantenimiento con el equipo específico con frecuencia será la que determine las condiciones y la presencia de niveles inaceptables.

No es recomendable tratar de buscar información sobre los límites y dejar que simplemente el equipo supere el punto crítico y falle.

La vigilancia de la condición del reductor registrada debe indicar los cambios. Las condiciones registradas deben compararse con los límites conocidos, estimados, razonables y aceptables.

### **3.5.2 Acción en la siguiente parada**

No siempre es necesario tomar medidas cuando aumenta el nivel de una determinada medición. Puede haber un incremento muy pequeño a causa de las tolerancias inherentes al procedimiento de medición o al instrumento, cambios en la producción o una condición en la medición como la temperatura ambiente.

En el caso de un cambio importante, debe pensarse entonces en hacer un ajuste o introducir un cambio. En caso de duda, puede ser una buena idea consultar con el fabricante o un especialista en engranajes. Si se determina la necesidad de hacer un ajuste o de reemplazar una pieza, debe contactarse al proveedor para la asesoría o reparación.

### **3.6 Recomendaciones sobre las acciones de mantenimiento preventivo**

Es necesario concentrarse en tres áreas importantes que pueden vigilarse (temperatura, vibración, inspección “voso”). Para cada una de ellas se presentarán algunos datos, pautas y ejemplos para acciones efectivas de mantenimiento preventivo.

#### **3.6.1 Temperatura**

Revisar las temperaturas como se indicó.

Temperatura normal: 50-60°C o menos. Max.: 85°C para aceite de engranaje de extrema presión.

En caso de aumentar la temperatura del aceite, la razón puede ser:

- Aumento de la temperatura ambiente
- Insuficiente enfriamiento por bloqueo de las tuberías o del enfriador mismo
- Suministro insuficiente de agua al enfriador o, si es un sistema de enfriamiento por aire, sucio y polvo en las nervaduras del enfriador
- Desgaste de la bomba de aceite

Si aumenta la temperatura del cojinete o se incrementa la diferencia entre la temperatura del cojinete y la temperatura del aceite, la razón puede ser:

- Insuficiente flujo de aceite hacia el cojinete
- Falla del cojinete
- Mal funcionamiento de los sensores o pantallas indicadoras

### **3.6.2 Vibración**

Las vibraciones de la caja de engranajes se controlan mediante sensores ubicados permanentemente en diferentes partes del reductor. Esto puede hacerse por medio de instrumentos específicos para analizar a intervalos regulares las lecturas y se analizan para vigilar la condición de los engranajes y de los cojinetes. Una vigilancia sistemática de la condición del reductor permite interpretar la condición presente y futura y los requerimientos de mantenimiento.

### **3.6.3 Inspección “VOSO”**

La inspección “voso” es importante porque no todo puede vigilarse mediante sensores. La inspección “voso” permite la posibilidad de evaluar la condición física general. Una evaluación general no puede hacerse con un solo instrumento.

A continuación, se mencionan los elementos fundamentales que deben inspeccionarse durante los procedimientos normales de mantenimiento.

- **Carcasa**

La carcasa debe ser hermética para prevenir las fugas de aceite. Revisar si hay fugas de aceite en las juntas y en los ejes de entrada y salida.

- **Dientes**

El aspecto más importante para una operación duradera y correcta son los dientes. Revisar si existen grietas, desgaste o picaduras en cada uno.

- **Cojinetes**

Inspeccionar los rodillos y los rieles para detectar cualquier cambio en el patrón de desgaste, picaduras o corrosión. Las jaulas también se deben inspeccionar para detectar daños. No todos los cojinetes son de fácil acceso; cuando no lo sean, la falla puede detectarse mediante análisis de vibración.

- **Aceite**

La cantidad debe ser la correcta para garantizar la lubricación más efectiva de los cojinetes y del engranaje de los dientes. Revisar la circulación de aceite y observe su aspecto.

- **Estación de bombeo**

La estación de bombeo garantiza la suficiente circulación del aceite en el reductor de velocidad. Se deben revisar varios aspectos:

- Asegurarse de que la presión de trabajo de la bomba es correcta. Una presión demasiado alta indica que hay que limpiar el filtro o el enfriador.
- Revise el filtro para detectar suciedad o residuos.
- Revise el nivel de aceite.

### **3.7 Herramientas utilizadas para el desarme y armado del reductor**

#### **3.7.1 Instrumentación para elevación de piezas**

Se refiere a todas las herramientas y equipo que se utilizan para transportar aquellos elementos que por su peso son difíciles de trasladarlos a otro lugar. Las herramientas más importantes que se utilizan en los desarmes y armado de reductor son:

- Puente grúa
- Polipastos
- Cables de acero ( estrobos)
- Eslingas
- Cadenas

#### **3.7.2 Instrumentación de medición y calibración**

Son aquellos elementos que sirven para medir ciertas magnitudes físicas que ayudarán a conocer ciertas condiciones de los elementos del reductor.

Los instrumentos de medición ofrecen la precisión necesaria para la ejecución de las actividades de recolección de datos, y la medición da como resultado un número que es la relación entre el objeto de estudio y la unidad de referencia.

Estos instrumentos ayudan a llevar un control sobre ciertos procesos por ejemplo, calibración de cojinetes, alineaciones, mediciones de temperatura, holguras, apriete, *backlash* o juego interno entre dientes, etc.

Los instrumentos más utilizados en las actividades de desarme y armado de los reductores son:

- Vernier
- Medidor de galgas
- Metro
- Micrómetro
- Sistema de alineación de ejes por láser
- Pistola de medición de temperatura

### **3.7.3 Instrumentación para montaje y desmontaje de piezas**

Se denominan así aquellas herramientas que facilitan la realización de una tarea de extracción de una pieza mecánica que requiere de una aplicación correcta de fuerza.

Las utilizadas en el desarme y armado de reductores son:

- Llaves Allen
- Llaves milimétricas
- Llave dinamométrica
- Barras roscadas o espárragos
- Tuercas
- Bombas SKF
- Tricket
- Extractor mecánico

### **3.8 Procedimiento para desarme de reductor**

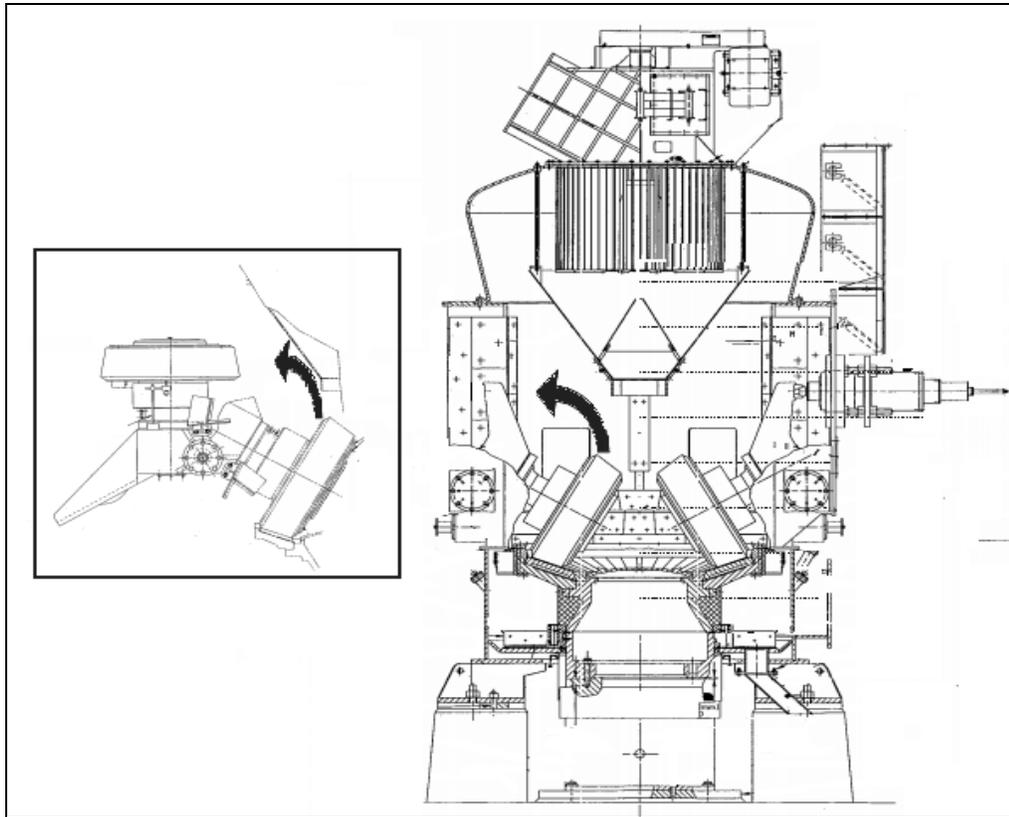
El procedimiento expone de forma clara lo más sustancial con respecto a la manera más adecuada de realizar los trabajos de desarme de un reductor marca Flender KMP de un molino vertical, describe los trabajos para el levantamiento de los rodos de molturación, elevación de la mesa de molienda, extracción del reductor de su posición de trabajo y el desarme de todos los elementos del reductor. El cual está basado en el mantenimiento realizado a un molino vertical utilizado para la molienda de carbón.

#### **3.8.1 Elevación de rodillos moledores**

En la elevación de los rodillos se procede a desmotar los portones que amortiguan el impacto de los rodillos, procediendo a quitar toda la tornillería que las une con la carcasa del molino. Luego se enganchan uno por uno a estrobos para elevarlos con grúa y trasladarlas hacia otro lugar donde se realiza la respectiva inspección de los portones.

Para girar los rodos hacia afuera, se utilizan estrobos alrededor del rodo enganchados a un polipasto anclado a las orejas del molino para posicionar los rodos verticalmente. Se quita toda la tornillería de los rodos para luego trasladarlos hacia el taller para su debida rutina de mantenimiento. Ver figura 46.

**Figura 46. Giro hacia fuera del rodo**



Fuente: F.L.S., Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales

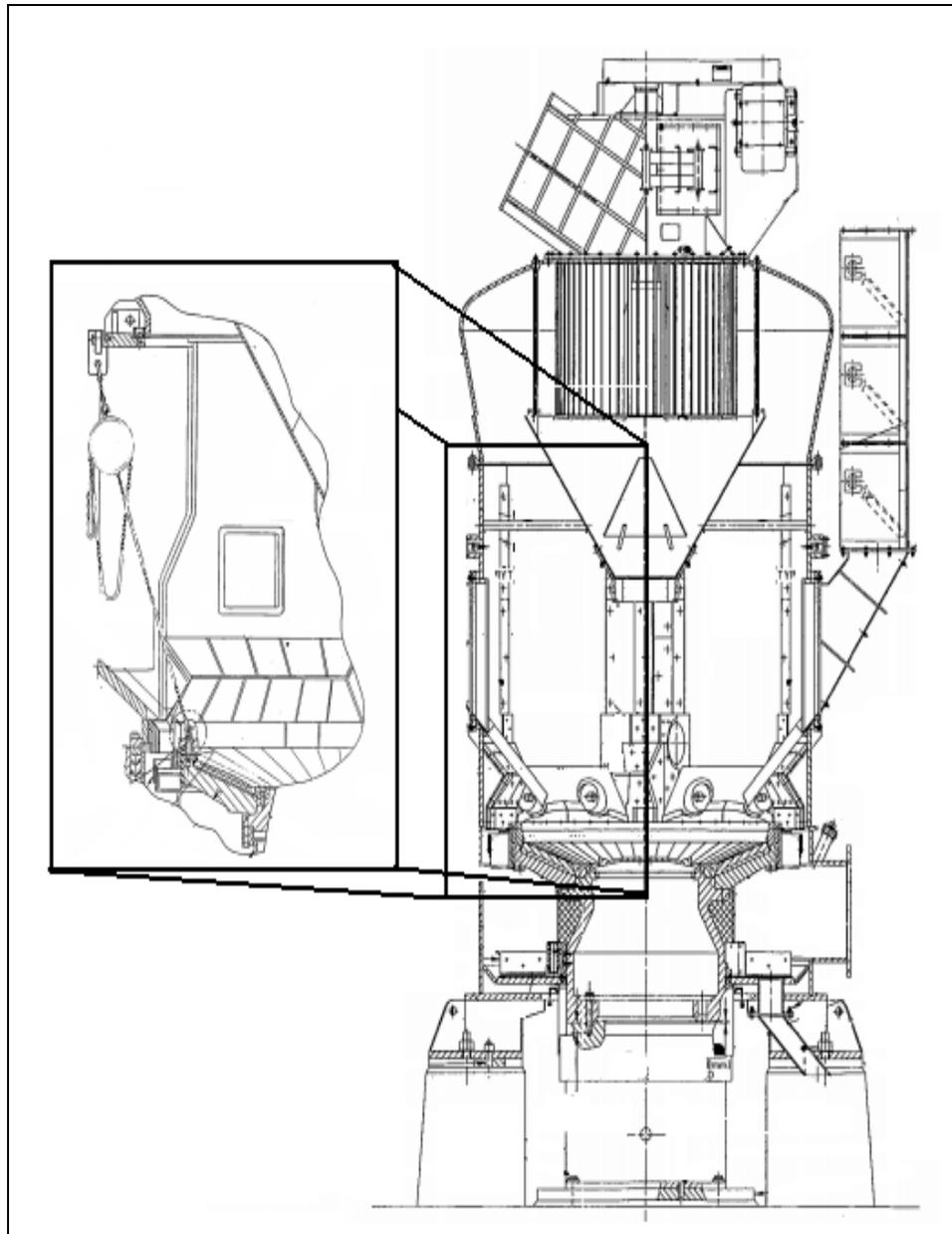
### **3.8.2 Elevación de la mesa de molturación**

Para elevar la mesa de molturación se utilizan tres bases de anclajes, que se atornillan en la parte exterior de la mesa, de forma que éstas queden fijadas enfrente de los tres portones para que puedan colocarse los grilletes con los estrobos y polipastos para poder conseguir elevar la mesa del reductor.

Antes de elevarla se quitan todos los pernos que sujetan la mesa con el reductor. Se marca como referencia la mesa de molturación y la brida de salida del reductor para asegurar que quede en la misma posición cuando se realice el montaje.

Los polipastos se enganchan a las orejas que se encuentran afuera del molino, ya que son las que pueden soportar el peso de la mesa. Ver figura 35.

**Figura 47. Elevación de la mesa con bases de anclaje y polipastos**

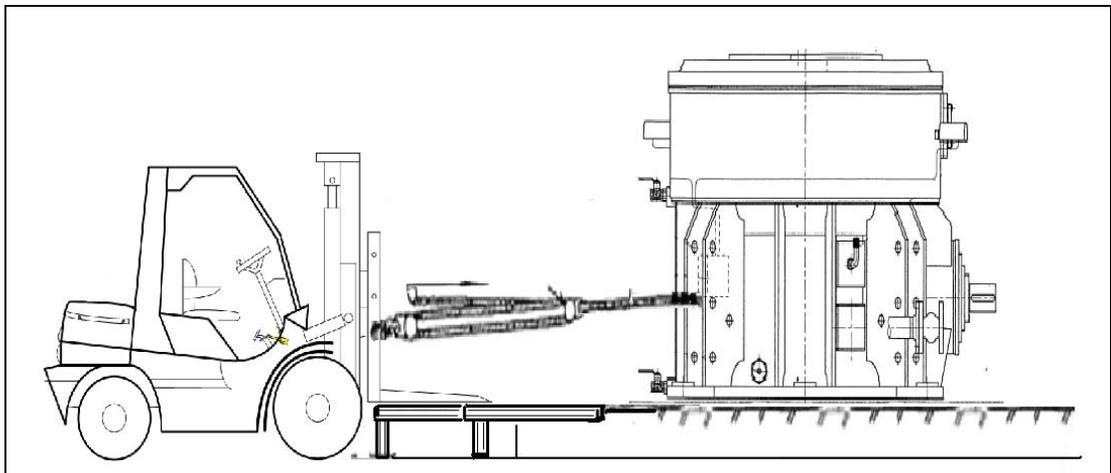


### 3.8.3 Extracción del reductor del molino

Luego de levantar la mesa para poder extraer el reductor de su posición de trabajo, se debe asegurar que el reductor ya no se encuentre acoplado con el motor eléctrico, que esté desconectado de las tuberías de lubricación, termocoplas y cables eléctricos; así como de los pines guías de la base del reductor.

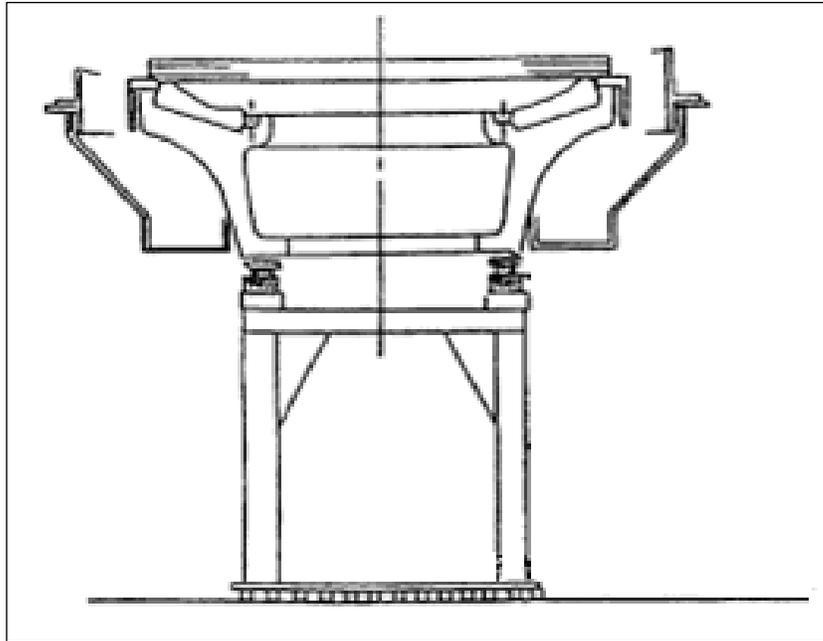
Emplazar en los orificios de la carcasa del reductor los estrobo enganchados a polipastos de 10 toneladas en los orificios de la carcasa del reductor. Se instalan las vigas para sacar el reductor debajo del molino. Ver figura 48.

**Figura 48. Extracción con polipastos del reductor**



Al sacar completamente el reductor se debe de colocar un soporte provisional por seguridad, para que sostenga la mesa de molienda. Al terminar la extracción del reductor, se traslada al taller de servicios generales. Ver figura 49.

**Figura 49. Soporte provisional de seguridad para la mesa de molienda**



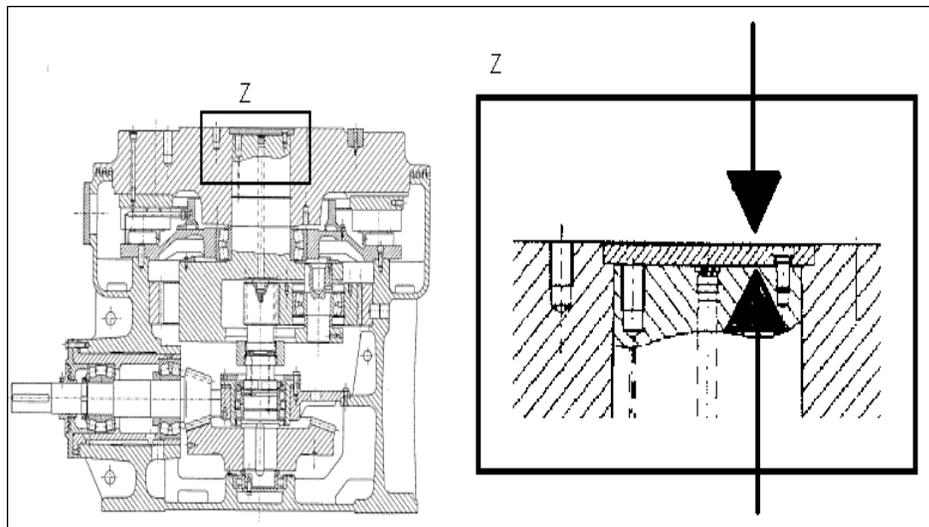
Fuente: F.L.S., Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales

### **3.8.4 Extracción de anillo de deslizamiento**

Para empezar el desarme del reductor se hace una limpieza general del mismo, se quitan los tornillos de la tapadera central del anillo de deslizamiento, comúnmente llamada tapadera del reductor.

Luego de quitar la tapadera central se realiza la medición de la distancia del eje de baja velocidad y la tapadera, esto se realiza como referencia para que cuando se monte nuevamente la tapadera conserve aproximadamente la misma distancia. Ver figura 50.

**Figura 50. Medición de la distancia entre el eje y tapadera**



El procedimiento para despegar la tapadera del reductor se realiza de la siguiente manera:

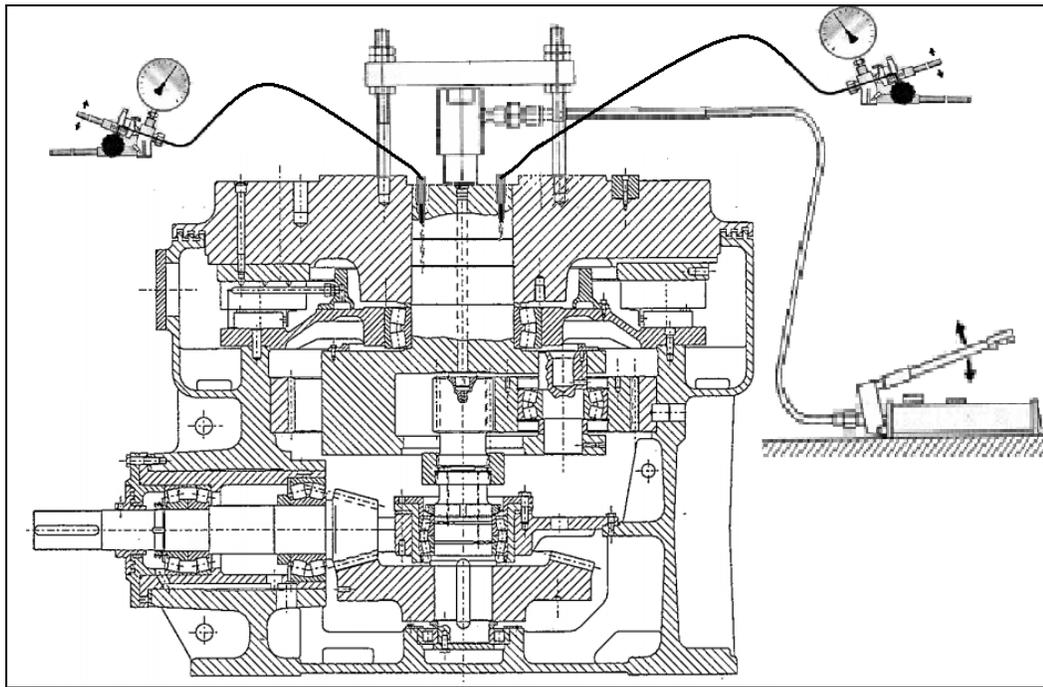
Se colocan cuatro barras roscadas en los orificios de los pernos que unen la tapadera del reductor y la mesa de molienda. Luego en el otro extremo de las barras se coloca una tapa que sirve como soporte al tricket. Ver figura 51.

El eje de baja velocidad contiene dos orificios que van conectadas las bombas SKF, las cuales tienen como función inyectar aceite hidráulico a presión al eje de baja velocidad para despegar la tapadera del eje.

El método de inyección de aceite es utilizado para el montaje, desmontaje de la tapadera y del rodamiento apareado del eje del engranaje cónico.

El aceite es inyectado a presión entre las superficies, a través de conductos y una ranura de distribución. La película de aceite que se forma reduce la fricción y separa completamente el eje de baja velocidad y la superficie de la tapadera.

**Figura 51. Método para extraer la tapadera del reductor**



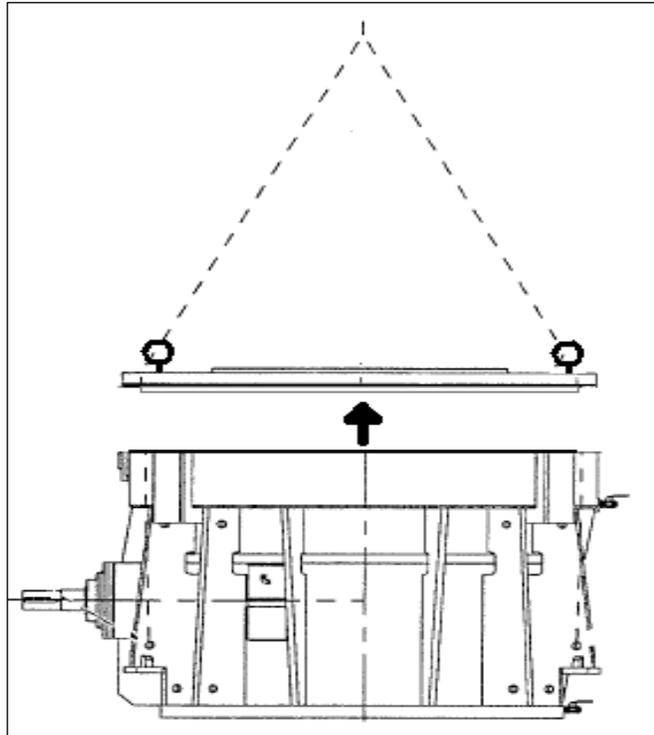
Se inicia introduciendo aceite al eje utilizando las dos bombas SKF, aplicando 10,000 PSI de presión, esta presión empezará a disminuir. Se le aplica nuevamente la misma presión y se espera que disminuya.

En la tercera aplicación se aumenta la presión a 15,000 PSI. Se debe asegurar que no haya fugas en el inyector de las bombas.

Luego de haber llegado a esta presión, se empieza a ejercer presión al tricket al mismo tiempo que se le aplica aceite hidráulico al eje.

Luego de despegar la brida de salida, se procede a trasladarla hacia un lugar donde se pueda realizar las inspecciones de la parte de debajo de la brida. Ver figura 52.

**Figura 52. Elevación de la tapadera del reductor**



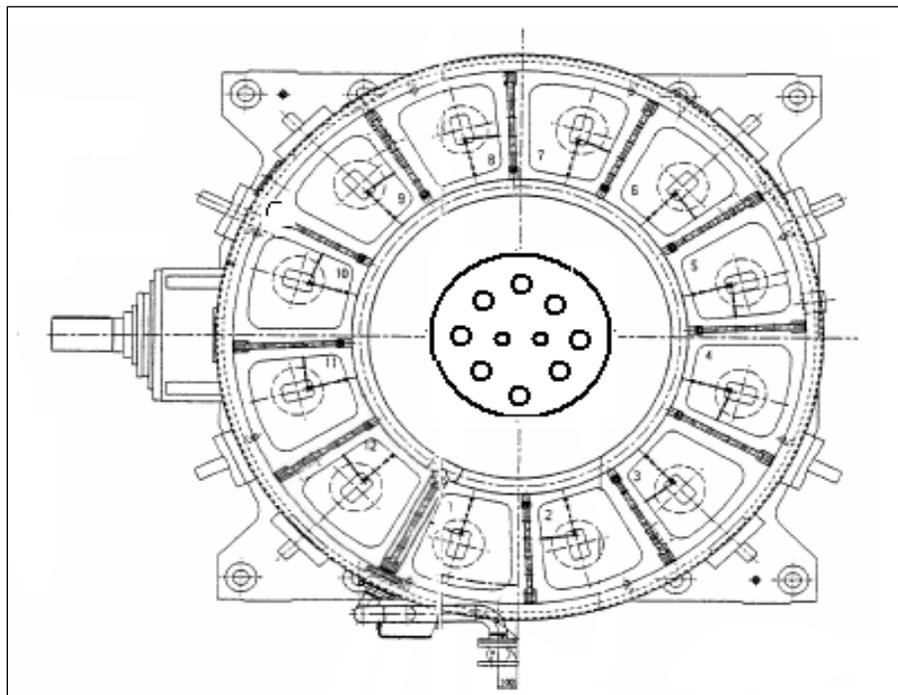
En la parte inferior de la brida de salida del reductor se encuentra el anillo de deslizamiento compuesta de metal babbit, al igual que la superficie de las zapatas con que hacen contacto. El babbit disminuye la fricción entre éstas para que se pueda producir eficientemente el deslizamiento entre la tapadera y las zapatas.

Por tal motivo la limpieza de la tapadera se debe realizar con extrema precaución para evitar ralladuras en la superficie de contacto del anillo de deslizamiento.

En seguida se desconecta la tubería que lubrica a las zapatas y al rodamiento del eje de baja velocidad. Las zapatas están enumeradas con sus bases y con la tapadera donde están asentadas. Las bases de apoyo de las zapatas están atornilladas con tornillos Allen.

Después de quitar las zapatas y sus bases de apoyo, se debe quitar la tapadera donde se asientan las zapatas, además de la tornillería también asegurarse de quitar los pines guías que sujetan la tapadera a la carcasa del reductor, para luego elevar la tapadera y trasladarla. Ver figura 53.

**Figura 53. Zapatas y tubería de lubricación**

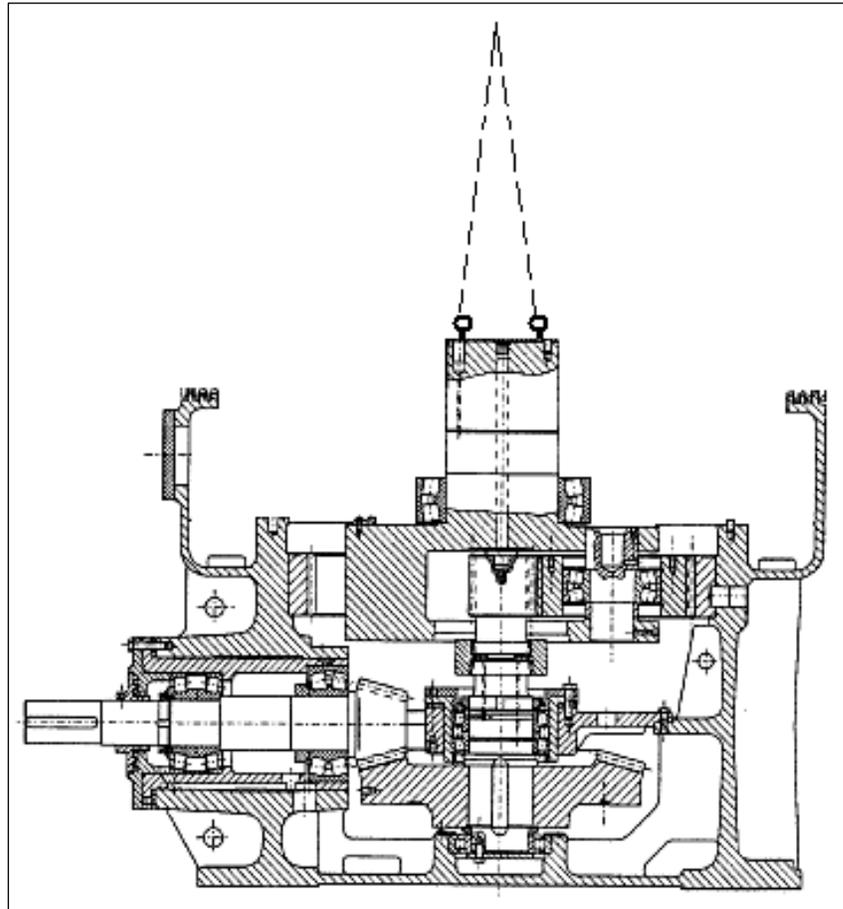


### **3.8.5 Extracción de engranajes planetarios**

En la extracción del sistema planetario del reductor se enroscan dos argollas con eslingas al eje del planetario y se procede a elevarlo con la grúa.

Se colocan sobre dos trozos de madera como base de apoyo para asentar el sistema planetario. Ver figura 54.

**Figura 54. Elevación del sistema planetario**

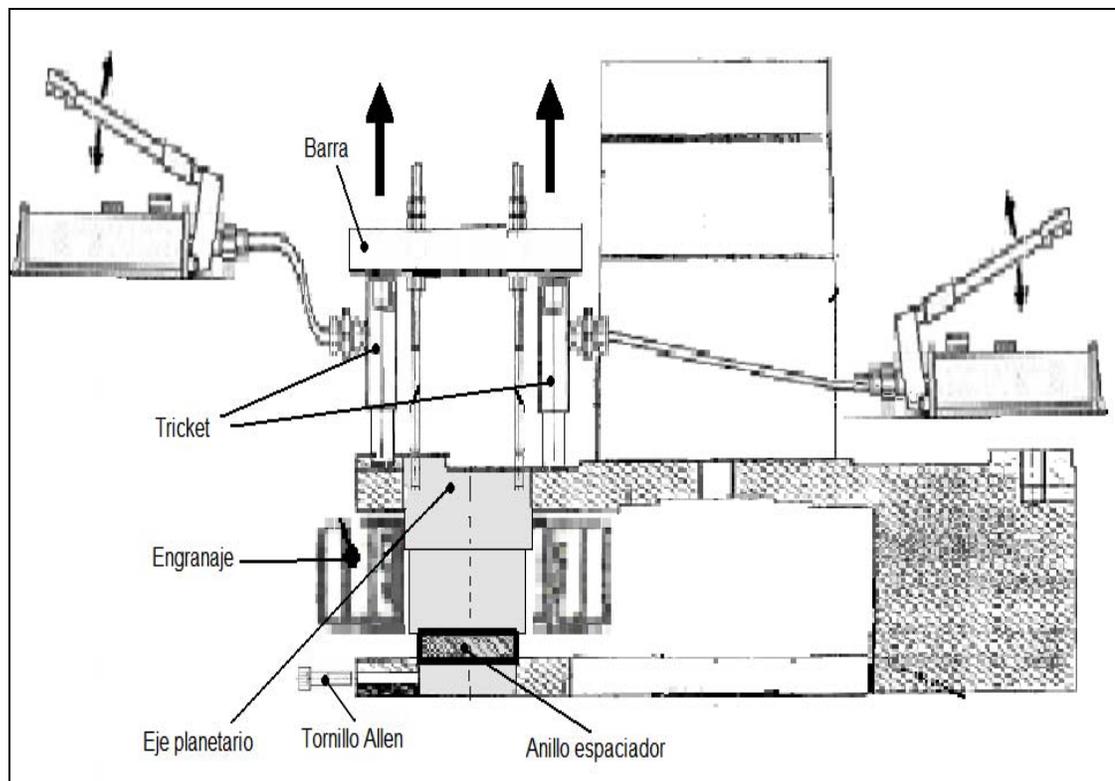


Luego de sacar el sistema planetario del reductor se comienza a desarmarlo para hacer las revisiones a los engranajes, los ejes planetarios y los cojinetes. Para esto se realiza el siguiente procedimiento.

Se quitan los tornillos castigadores que aseguran a los ejes planetarios con la armazón del planetario para que no giren con el rodamiento.

Los ejes planetarios tienen dos orificios en la parte de arriba donde se roscan dos espárragos y se coloca una barra transversalmente que sirve como apoyo de los tricketts que irán uno en cada extremo de la barra. Se colocan dos trickett de cinco toneladas, y se empieza a aplicarle presión al mismo tiempo a los tricketts para ir sacando el eje planetario. Ver figura 55.

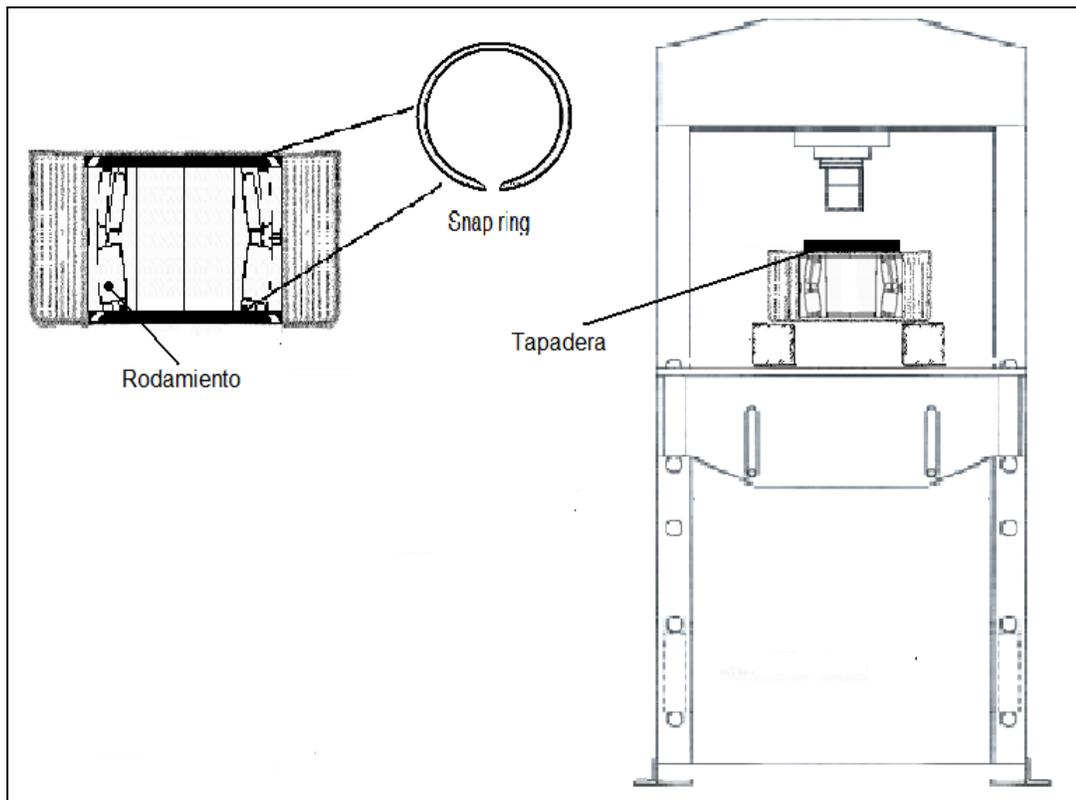
**Figura 55. Método de extracción de los ejes planetarios**



Después de extraído los tres ejes planetarios, los engranajes quedan libres para sacarlos de la armazón, se utilizan eslingas y la grúa para trasladarlos a otro lugar para la inspección de los engranajes. Para extraer los rodamientos de los engranajes se debe quitar primero los anillos de retención que ajustan a los rodamientos en el engranaje.

Luego, se traslada el engranaje hacia la prensa hidráulica para sacar el rodamiento, colocando una tapadera sobre el rodamiento para que la fuerza aplicada por la prensa hidráulica sea distribuida en todo el rodamiento. Ver figura 56.

**Figura 56. Extracción del cojinete del engrane planetario**

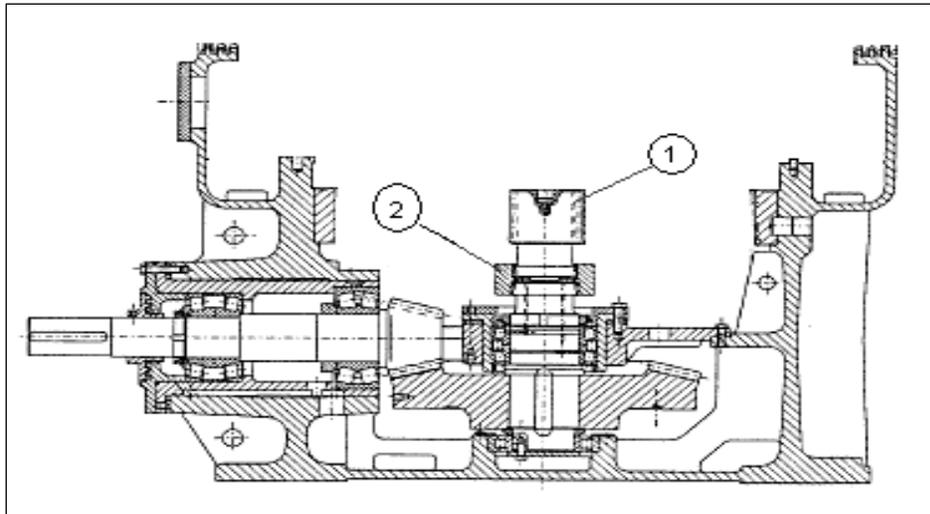


### **3.8.6 Extracción de piñón y acople**

Después de sacar el sistema planetario, se empieza a quitar toda la tubería que lubrica el piñón de alta velocidad, el acople de doble engrane, el piñón del planetario y los sensores. Se extrae el piñón y acople.

Al retirar estos elementos se deben almacenar en lugar donde las piezas no tengan contacto directo con superficies que puedan dañar las caras de contacto. Ver figura 57.

**Figura 57. Piñón sol y acople de doble engranaje**



1. Piñón sol
2. Acople de doble engranaje

### **3.8.7 Extracción del eje de alta velocidad**

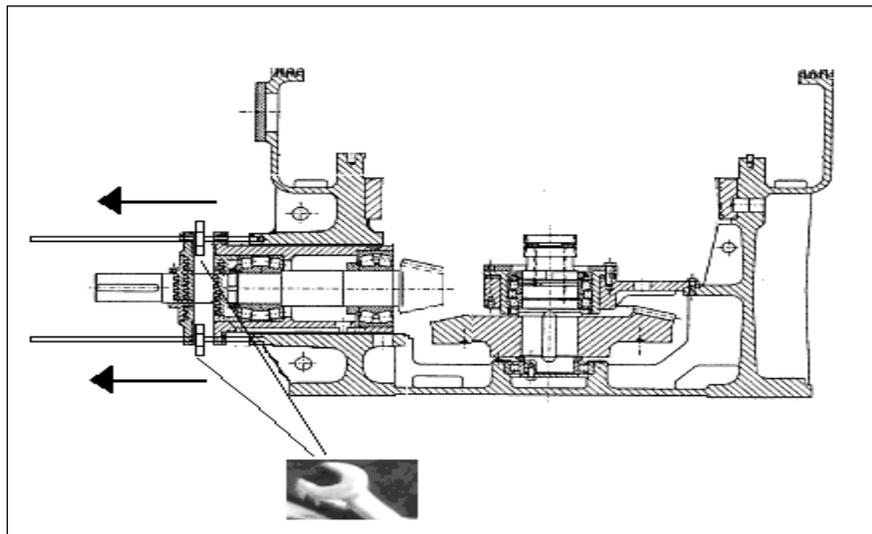
El eje de alta velocidad está ensamblado en su propio alojamiento y está soportado sobre dos rodamientos. El procedimiento para la extracción del reductor se realiza de la siguiente manera:

- Se debe desplazar la corona central hacia abajo para que el eje de alta velocidad no tope con los dientes de la corona cuando se extraiga del reductor. Para lograr esto se procede a quitar la tornillería del *flange* del eje de la corona y remover el *flange* de media luna.
- Quitar tornillería del *flange* del eje de alta velocidad.

- Se introducen dos tornillos en los orificios extractores del *flange* colocados 180° entre sí para ir sacando el eje de alta velocidad con su alojamiento
- Se hace pasan los espárragos por el *flange* colocados 180° entre sí y se colocan tuercas hexagonales para luego introducir los espárragos en los orificios de la carcasa del reductor.
- A continuación, se procede a girar las tuercas al mismo tiempo para extraer el eje de alta velocidad.

Se coloca una eslinga por seguridad alrededor del eje, para evitar que impacte los dientes del piñón con la carcasa del reductor. Ver figura 58.

**Figura 58. Procedimiento para extraer el eje de alta velocidad**

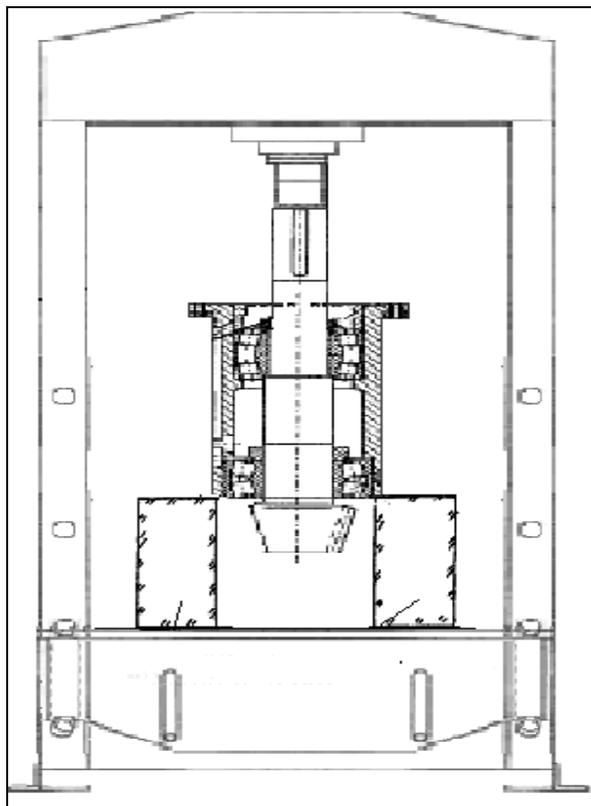


En seguida el eje de alta velocidad se traslada hacia la prensa hidráulica para sacar el eje de su alojamiento. Antes de aplicarle presión al eje se debe de asegurar de quitar la tuerca de fijación, la arandela de seguridad, el anillo de fijación y el espaciador del rodamiento.

El eje se coloca verticalmente apoyado únicamente en el borde del alojamiento del lado del piñón, calculando que al aplicarle presión al eje, el rodamiento no tope con las vigas de apoyo. En el alojamiento queda atrapado el rodamiento del lado motor eléctrico.

Para sacar el rodamiento que queda atrapado en el eje del lado del piñón es necesario utilizar equipo de oxiacetileno para cortar la pista exterior y los elementos rodantes del cojinete, y la pista interior del rodamiento se calienta hasta que se dilate lo necesario para extraerla. Para este procedimiento se debe cubrir el piñón para evitar que la escoria dañe la superficie de contacto del eje. Ver figura 59.

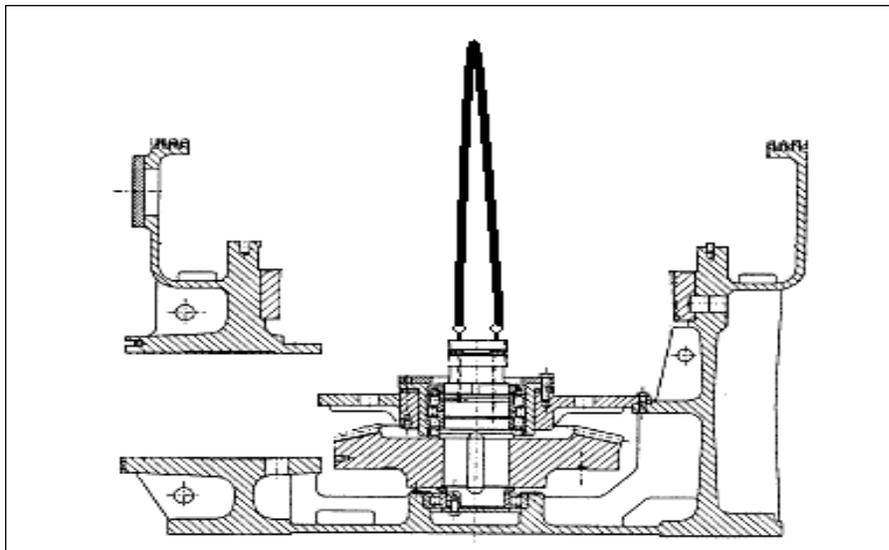
**Figura 59. Extracción del eje de alta velocidad de su alojamiento**



### 3.8.8 Extracción de la corona central.

La corona central o engranaje cónico se empieza a desatornillar de la carcasa del reductor, se le colocan dos argollas en el eje con eslingas para trasladarla por medio de la grúa hacia otro lugar donde se desarmará completamente. Ver figura 60.

**Figura 60. Elevación de la corona central**



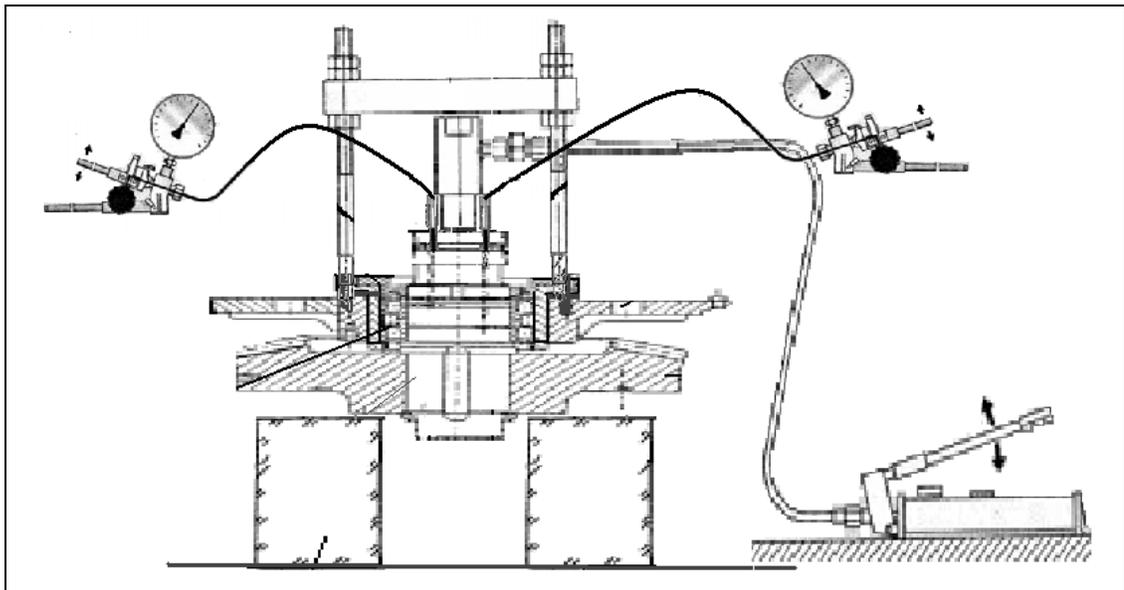
Los pasos para desarmar la corona central son de la siguiente manera:

- Quitar la tornillería alrededor del eje
- Quitar *flange*
- Quitar la tuerca de fijación, arandela de seguridad y anillo de fijación del rodamiento.
- Se procede a colocar dos espárragos en los orificios del *flange* de la corona y se coloca una barra transversalmente donde se apoyará el tricket para extraer la tapadera junto con el rodamiento.
- Colocar el tricket sobre el eje.

- Se conectan las tuberías de las bombas SKF en los orificios del eje de la corona para inyectar aceite a presión y lograr que el rodamiento se despegue del eje.

Después de haber extraído la tapadera, se procede a quitar el rodamiento de su alojamiento. Y por último, se eleva la corona para poder desmontar de la parte de debajo de la corona la cuna del rodamiento y el anillo espaciador del eje de la corona cónica. Para esto se utiliza equipo de oxiacetileno para calentar la cuna y el espaciador. Ver figura 61.

**Figura 61. Procedimiento para extracción de tapadera de la corona central**



Y por último, se extrae el rodamiento de la base del reductor. Todos los elementos del reductor deben estar cubiertos para evitar que puedan entrar suciedad o humedad.

### 3.9 Procedimiento para armado del reductor

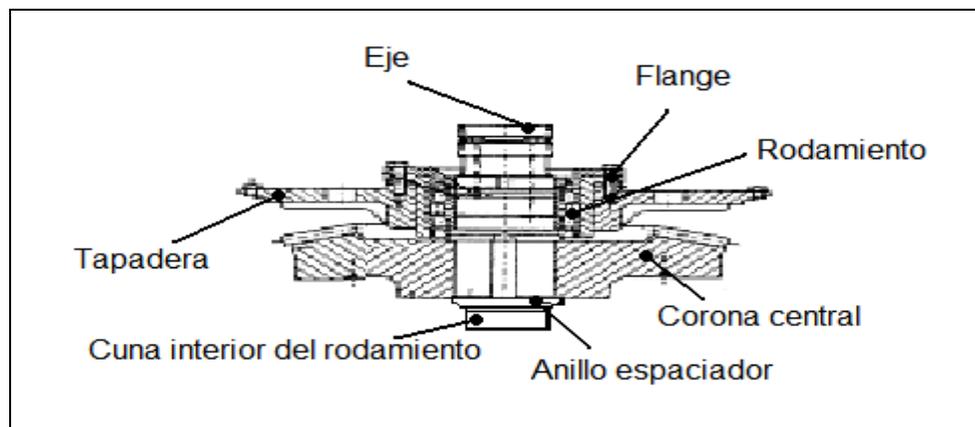
El montaje correcto es fundamental para conseguir el buen funcionamiento del reductor. Para garantizar un armado correcto del reductor es factor importante que el entorno de trabajo este libre de partículas metálicas, polvo y otros materiales que puedan afectar las piezas a montar, así como los métodos de montaje y las herramientas apropiadas.

El reductor debe limpiarse detenidamente, tanto en su interior y exterior. Asegurarse de que los ejes, alojamientos y los demás componentes del reductor estén limpios y secos. Antes del montaje de los rodamientos comprobar la tolerancia, ajuste y el juego interno. Estudiar la disposición de los rodamientos y seleccionar el método de montaje adecuado para cada rodamiento.

#### 3.9.1 Ensamblaje de corona central

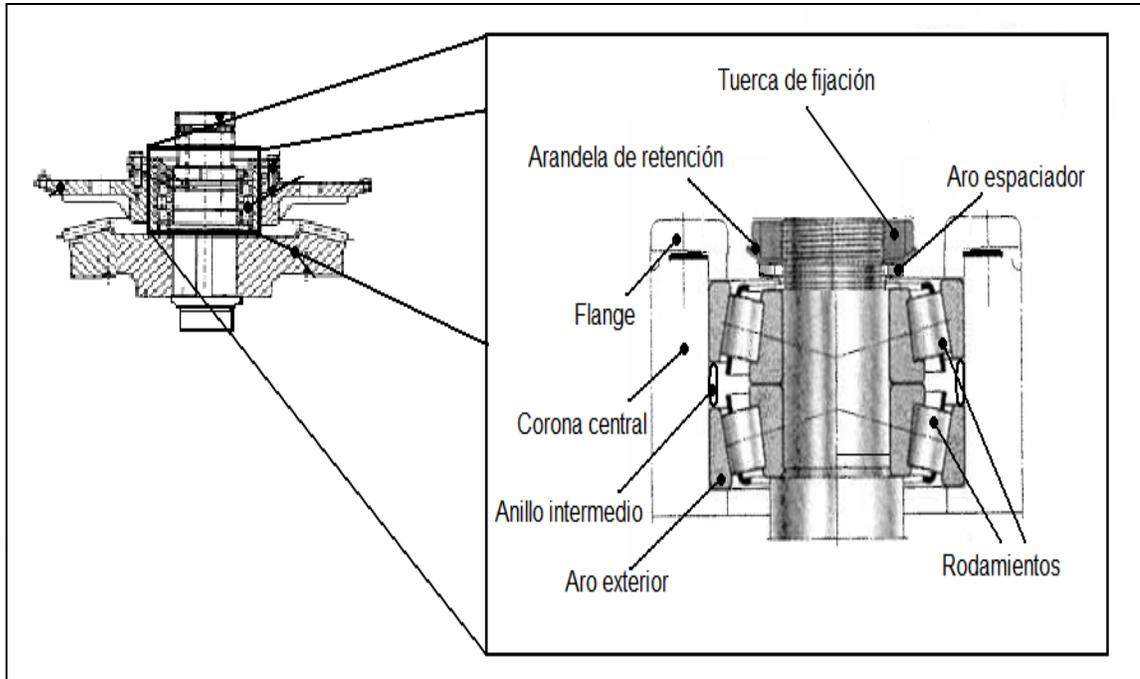
El procedimiento para el ensamblaje de todas las piezas de la corona central y montaje al reductor se realiza de la siguiente manera. Ver figura 62.

**Figura 62. Corona central**

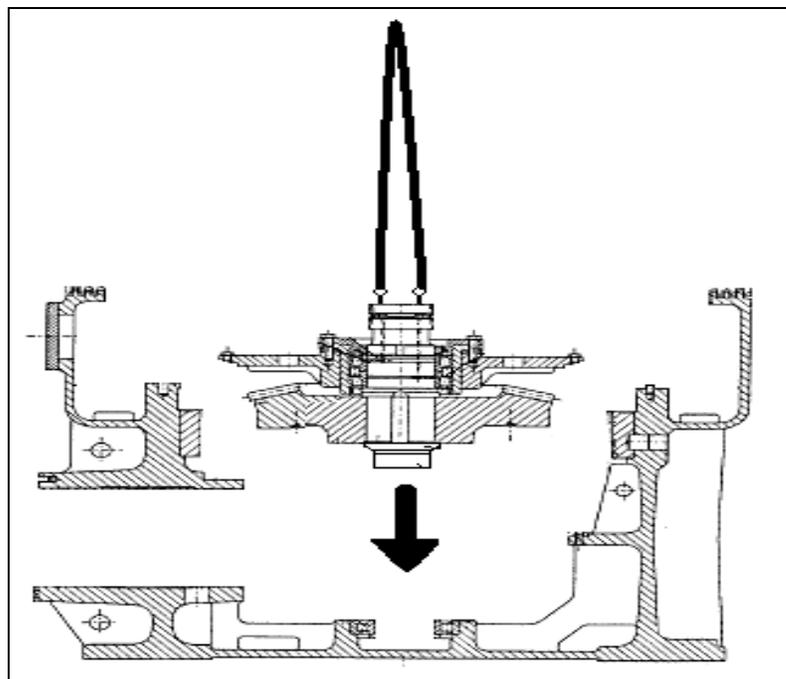


- Se coloca el rodamiento que va en la base del reductor alojado en el eje de la corona central.
- Con el calentador de inducción se calienta primero el espaciador y luego la cuna del rodamiento para introducirlo en el eje. La temperatura de calentamiento es de 120 °C aproximadamente para que pueda expandir lo suficiente y pueda entrar con facilidad en el eje.
- En la parte superior de la corona se aloja un rodamiento de rodillos cónicos apareados cara a cara. Para introducirlo en su posición de trabajo, se monta en frío el aro exterior del primer rodamiento utilizando un cincel de bronce para calarlo a su posición y no astillar el aro exterior. Se calienta el primer rodamiento a una temperatura aproximada de 120 °C para introducirlo en el eje. Se monta en frío el anillo intermedio y se calienta el otro rodamiento a la misma temperatura para montarlo en el eje. Las superficies enfrentadas están marcadas con letras. Se coloca el aro espaciador, luego se coloca la arandela de retención y la tuerca de fijación. Todos los elementos de separación están marcados con número y letra del rodamiento. Por último, se coloca el aro exterior del rodamiento.
- Se coloca el *flange* atornillado a la tapadera. Ver figura 63.
- Se procede a verificar el juego axial de los rodamientos. Se coloca un calibrador de pie magnético sobre el *flange* de la tapadera con el indicador en el eje. Se levanta la corona y se hace girar varias vueltas de forma que los rodillos se coloquen correctamente, luego se asienta. Se compara esta lectura con la que se obtuvo cuando se levantó el eje. La diferencia entre ambas lecturas es el juego axial.
- En seguida se traslada la corona central hacia el reductor y se monta sobre el rodamiento de la base. Ver figura 64.

**Figura 63. Rodamiento de rodillos cónicos apareados cara a cara**



**Figura 64. Procedimiento para ensamble de la corona central**



### 3.9.2 Ensamblaje del eje de alta velocidad

El siguiente paso es montar en el eje el rodamiento de rodillos a rótula del lado del piñón, para esto, se procede a calentar el rodamiento por medio del calentador de inducción hasta que logre una temperatura de 120 °C para introducirlo en el eje. Seguidamente, se calienta el alojamiento para introducirlo en el eje.

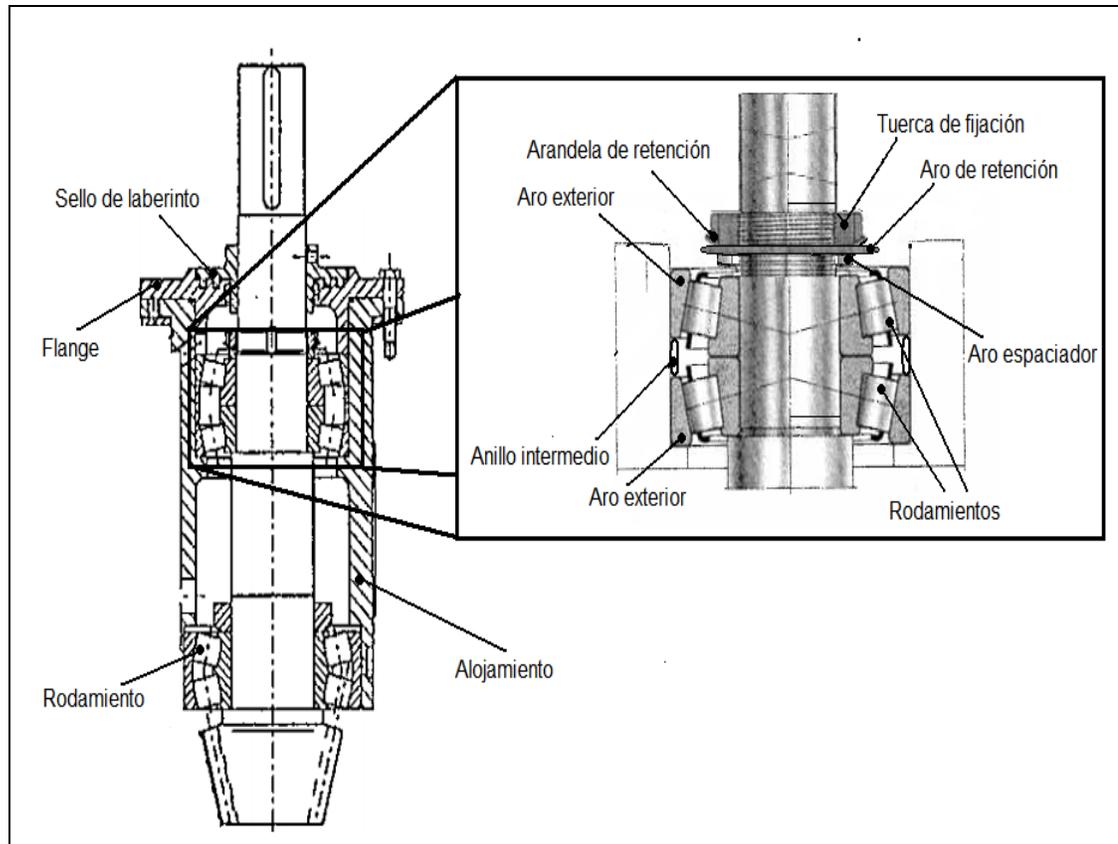
Seguidamente, se procede a montar el rodamiento de rodillos cónicos apareados cara a cara en el eje. Primero se introduce el aro exterior del rodamiento, luego se coloca el primer rodamiento en la máquina de inducción para calentarlo a 120 °C., se introduce el anillo intermedio de los rodamientos, se utiliza nuevamente el calentador de inducción con el segundo rodamiento. Las superficies enfrentadas de los rodamientos están marcadas con letras y su respectiva nomenclatura.

Se procede a montar el aro espaciador seguido del aro separador y por último la arandela de retención y la tuerca de fijación. Estos elementos también están marcados con letras y números.

A continuación se atornilla el *flange* al eje para verificar el juego axial de los rodamientos. Se coloca un calibrador de pie magnético sobre el *flange* de la tapadera con el indicador en el eje. Se levanta la corona y se hace girar varias vueltas de forma que los rodillos se coloquen correctamente, luego se asienta. Se compara esta lectura con la que se obtuvo cuando se levanto el eje. La diferencia entre ambas lecturas es el juego axial. Ver figura 65.

Se coloca el o-ring al sello laberíntico y se calienta a una temperatura máxima de 70 °C para no dañar el o-ring. Se procede a introducirlo en el eje.

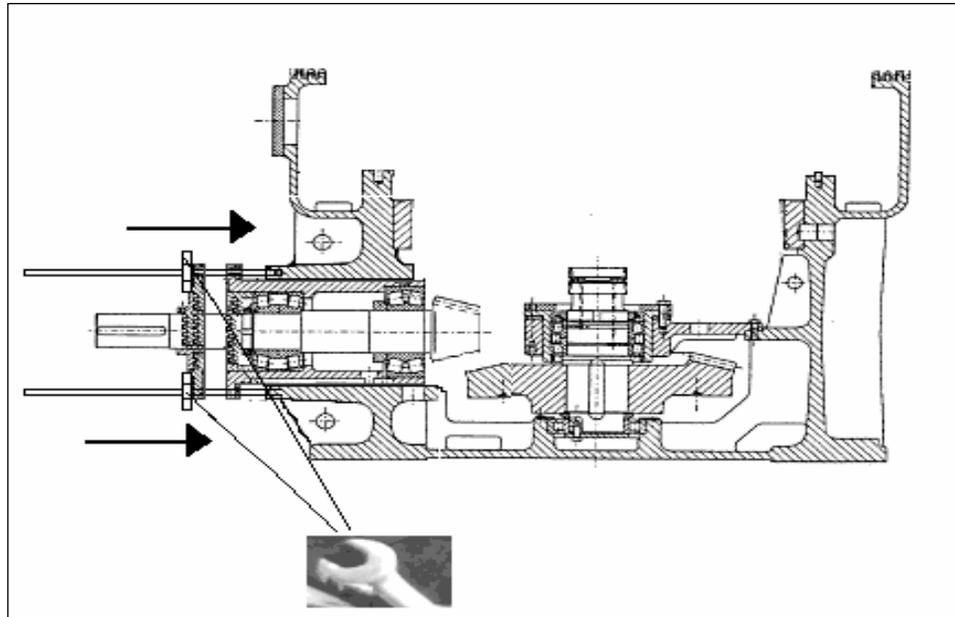
**Figura 65. Procedimiento para ensamble del reductor**



Se realiza una limpieza al alojamiento y al piñón antes de introducirlo en el reductor se coloca el respectivo o-ring en el alojamiento. A continuación se procede a introducir el eje en el alojamiento del reductor, se emplean dos espárragos que van introducidos por los orificios del *flange* del eje y se roscan en los orificios del reductor. Se acondiciona una tuerca en cada espárrago y se hacen girar de manera que vayan metiendo el eje a su posición de trabajo. Ver figura 66.

Se procede a colocar el *flange* de media luna en el eje de la corona cónica para poder realizar la medición del *backlash*.

**Figura 66. Ensamblaje del eje de alta velocidad**



Se procede a medir el “*backlash*” o juego interno entre dientes del piñón y la corona. Esta es una de las mediciones más importantes y debe ser la adecuada, para efectos de evitar la presión que pueda producir el contacto entre los dientes del piñón y la corona, y además para permitir la deflexión de los mismos, permitir la lubricación y la dilatación térmica cuando están engranando entre sí.

Un juego insuficiente entre dientes puede causar que un diente engrane con otro en forma incorrecta, dificultando la formación de la película lubricante. Este problema se manifiesta por la aparición de ralladuras o escoriaciones en ambas superficies o por una excoriación crítica en la raíz de los dientes.

Para hacer la medición se procede hacer la siguiente medición:

Se procede a sacar el paso diametral del piñón: que es la relación entre el número de dientes del piñón y el diámetro intermedio del piñón. Ver figura 67.

**Figura 67. Fórmula que se utiliza para sacar el paso diametral**

Table 8.3.8 Straight Bevel Gear Dimensions* (All linear dimensions in inches)		
1. Number of pinion teeth†	$n$	5. Working depth $h_k = \frac{2.000}{P_d}$
2. Number of gear teeth†	$N$	6. Whole depth $h_t = \frac{2.188}{P_d} + 0.002$
3. Diametral pitch	$P_d$	7. Pressure angle $\phi$
4. Face width	$F$	8. Shaft angle $\Sigma$
	Pinion	Gear
9. Pitch diameter	$d = \frac{n}{P_d}$	$D = \frac{N}{P_d}$
10. Pitch angle	$\gamma = \tan^{-1} \frac{n}{N}$	$\Gamma = 90^\circ - \gamma$
11. Outer cone distance	$A_o = \frac{D}{2 \sin \Gamma}$	
12. Circular pitch	$p = \frac{3.1416}{P_d}$	

Fuente: Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, cap. 8, Pag. 97.

$P_d$  = paso diametral

$n$  = número de dientes del piñón.

$d$  = diámetro intermedio del piñón.

Se tiene que:

$n = 13$  dientes

$d = 7''$ .

$P_d = 13/7 \approx 1.85$

- Se sujeta la corona rígidamente en sentido contrario a su rotación.

- Se instala un indicador de carátula contra un diente de tal forma que el vástago del indicador quede perpendicular al diente.
- El juego normal o *backlash* mostrará el indicador al tratar de mover el piñón hacia delante y atrás.

Al Buscar en la tabla se encuentra que para un paso diametral de 1.85 el rango del *backlash* podría ser entre: **0.014 - 0.018**. Ver figura 68.

**Figura 68. Tabla del paso diametral**

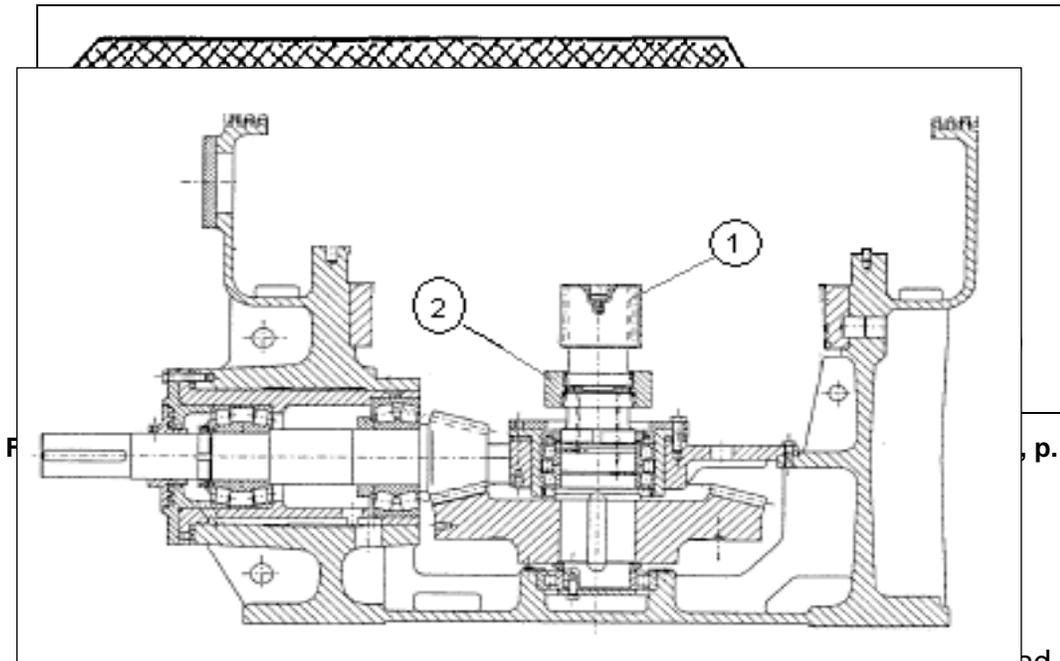
$P_d$	Backlash range	$P_d$	Backlash range
1.00–1.25	0.020–0.030	3.50–4.00	0.007–0.009
1.25–1.50	0.018–0.026	4–5	0.006–0.008
1.50–1.75	0.016–0.022	5–6	0.005–0.007
1.75–2.00	0.014–0.018	6–8	0.004–0.006
2.00–2.50	0.012–0.016	8–10	0.003–0.005
2.50–3.00	0.010–0.013	10–12	0.002–0.004
3.00–3.50	0.008–0.011	Finer than 12	0.001–0.003

\* The table gives the recommended normal backlash for gears assembled ready to run. Because of manufacturing tolerances and changes resulting from heat treatment, it is frequently necessary to reduce the theoretical tooth thickness by slightly more than the tabulated backlash in order to obtain the correct backlash in assembly. In case of choice, use the smaller backlash tolerances.

Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers, cap. 8, Pag. 97.

Luego de determinar el juego interno, se verifica el contacto de los dientes del piñón y la corona utilizando azul de Prusia. Ver figura 69. Se tornea toda la tornillería de la tapa de la corona y los del *flange* del eje de alta velocidad con el torque que le corresponde.

**Figura 69. Huellas de los contactos de los dientes**



Se conecta la tuerca de fijación para el piñón de alta velocidad y el anillo que lubrica el acople y el piñón del sistema planetario, se coloca el sensor de vibración para el rodamiento del eje del piñón de alta velocidad.

Se monta el piñón del planetario con el acople, se procede a colocar grasa en los dientes del piñón y en los dientes de la corona exterior para que el montaje del sistema planetario se deslice fácilmente y evitar que hayan ralladuras en los dientes. Ver figura 70.

**Figura 70. Piñón sol y acople de doble engranaje**

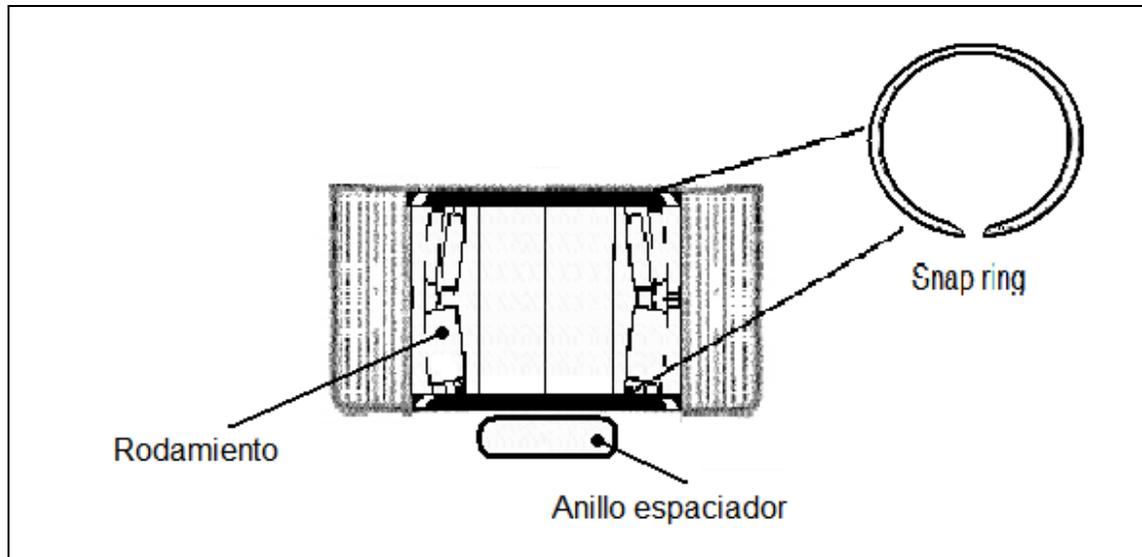
1. Piñón sol
2. Acople de doble engranaje

### **3.9.4 Ensamblaje del sistema planetario**

Se procede a insertar los cojinetes en cada uno de los tres engranajes del sistema planetario de la siguiente forma. Ver figura 71.

- Se colocan el anillo de retención o seguro en la parte inferior del engranaje.
- Se calienta el engranaje a una temperatura de 120° C, aproximadamente para que el engranaje se dilate y se monte el rodamiento.
- Se introduce en frío el cojinete en el engranaje.
- Se coloca el seguro superior del engranaje para fijarlo en su posición.
- Enseguida se procede a instalarlo en su alojamiento del sistema planetario junto con el anillo espaciador que va debajo del engranaje.

**Figura 71. Engranaje planetario, rodamiento y seguros**



Después de colocar los tres engranajes en el alojamiento planetario se procede a asegurarlos con los ejes planetarios. Para esto, se realiza de la siguiente manera.

- Los tres ejes planetarios se sumergen con etanol y nitrógeno líquido en un recipiente cerrado. El nitrógeno líquido se emplea para alcanzar temperaturas más bajas, produciendo el efecto que los ejes planetarios se contraigan. La mezcla con etanol se utiliza como anticongelante. Ver figura 72.

La manipulación de nitrógeno líquido se realizará con las precauciones necesarias para evitar accidentes en la utilización para enfriar los ejes planetarios.

Uno de los efectos más comunes que suelen presentarse en aquellas personas que manipulan nitrógeno líquido, suele ser el congelamiento de la piel en las zonas que han entrado en contacto con el gas. Debe evitarse la

inhalación del mismo, ya que es un gas asfixiante, que puede provocar incluso hasta la falta de oxígeno, causando la muerte.

Antes de utilizar el nitrógeno líquido y etanol para contraer los planetarios se deben seguir los siguientes puntos:

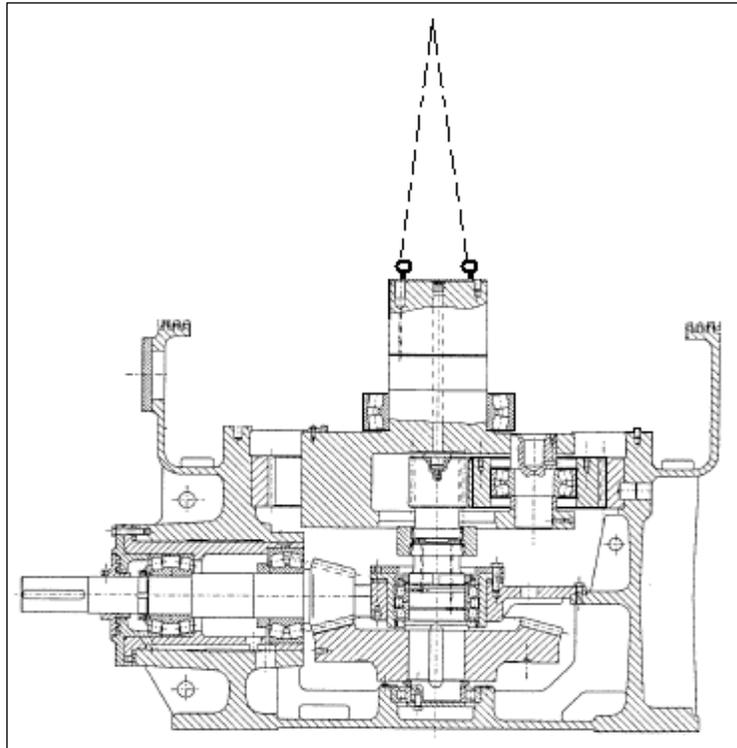
- Almacenamiento
  - El tanque de nitrógeno líquido debe ser almacenado en un lugar libre de riesgo de incendios y lejos de fuentes de calor.
  - No permitir que la temperatura de almacenamiento alcance los 50°C.
  - Asegurarse que el recipiente que se utilizará para colocar los planetarios sea hermético.
- Manipulación
  - No someter los contenedores a golpes mecánicos anormales, que pueden deteriorar las válvulas o equipos de protección.
  - Asegurarse antes del uso que no existan fugas en la tubería.
  - No eliminar ni intercambiar conexiones.
  - Comprobar la adecuación de todo el sistema de gas, especialmente los indicadores de presión
- Protección personal
  - Protección de las manos, utilizar guantes de cuero.
  - Protección de los ojos, uso de lentes para el transporte, manipulación y montaje de los ejes en el sistema planetario.
  - Protección de respiración, utilizar mascarilla para evitar la inhalación del gas.

**Figura 72. Ejes planetarios sumergidos en nitrógeno líquido y etanol**



- Seguidamente se procede a colocarlos en sus respectivos alojamientos. Cada eje planetario esta enumerado del uno al tres en la parte superior y deben coincidir con el número que se encuentra marcado en la carcasa planetaria.
- Se coloca los tornillos que ajustan los ejes con la carcasa planetaria.
- A continuación se prepara el cojinete calentándolo a 120 °C aproximadamente para ensamblarlo en el eje de alta velocidad y luego colocar el anillo espaciador.
- Se traslada el sistema planetario hacia el reductor y se conecta con el piñón solar. Ver figura 73.

**Figura 73. Colocación del sistema planetario en el reductor**



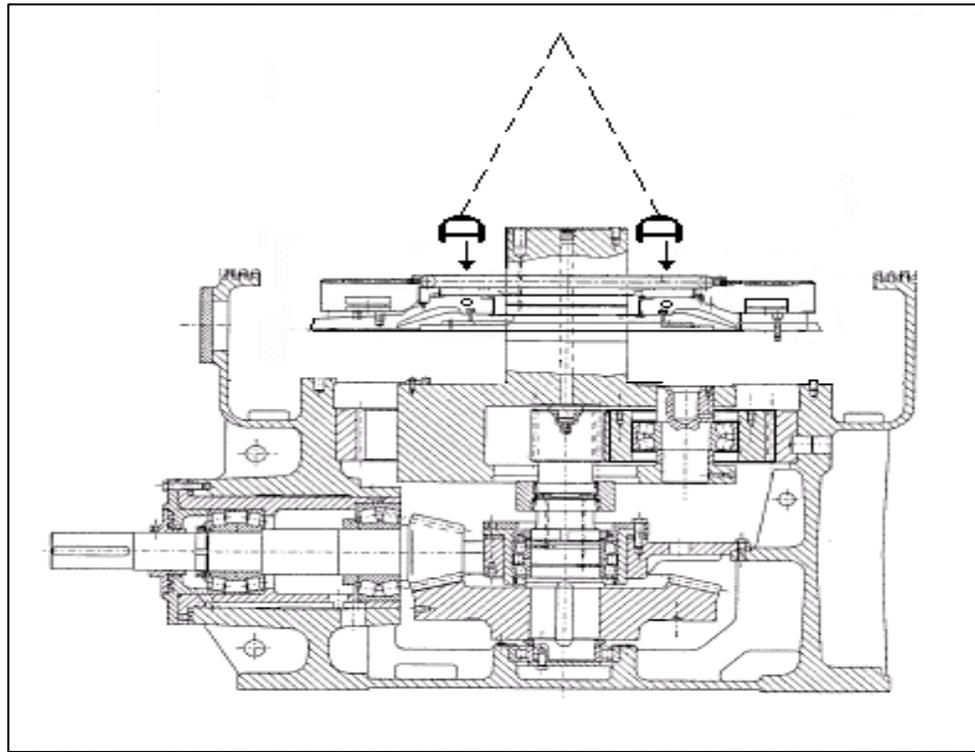
### 3.9.5 Ensamblaje del anillo de deslizamiento

Después de ensamblar el sistema planetario, se coloca la tapadera de soporte donde se atornillan las bases de las zapatas. Ver figura 74. Las zapatas y sus bases están enumeradas del 1 al 12, al igual que la tapadera, es decir que cada zapata ya está identificada en qué posición de la tapadera soporte debe de ir atornillada.

Una de las zapatas está modificada para poder ensamblar una termocopla que vigila continuamente la condición del cojinete de empuje cuando esta en funcionamiento el reductor.

Por lo cual se debe verificar que la zapata esté colocada en la posición donde se introduce la termocopla en la carcasa.

**Figura 74. Colocación de la tapadera base de las zapatas**

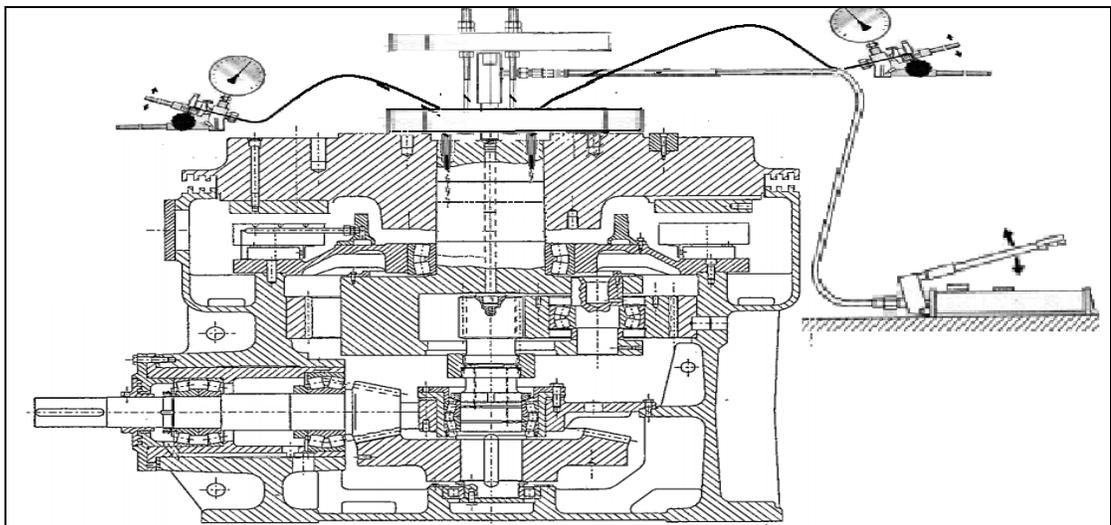


Por último, se monta la tapadera del reductor, de la siguiente manera:

- Se termina de colocar la tubería de lubricación y se vierte aceite sobre las zapatas.
- Se asienta la tapadera del reductor sobre la carcasa.
- Se coloca una barra o tapadera como soporte sobre la tapadera del reductor, donde se apoyará el tricket. Se roscan dos espárragos en el eje de baja velocidad, y en el otro extremo se emplea una barra de metal transversalmente roscada con los espárragos para ajustar bien el tricket, y poder ejercer presión. Ver figura 75.

- Se conectan las bombas SKF en los orificios del eje de baja velocidad y se empieza aplicar aceite a presión para expandir el alojamiento de la tapadera del reductor para facilitar la entrada de la tapadera en el eje.
- Seguidamente se acciona el tricket para terminar de ensamblar la tapadera.
- Se verifica la distancia entre la tapadera del reductor y el eje.
- Se coloca la tapadera central y se aprietan los tornillos a su respectivo torque según la tabla.

**Figura 75. Montaje del anillo de deslizamiento**



Después del armado, se procede a trasladarlo hacia su posición de trabajo en el molino vertical.

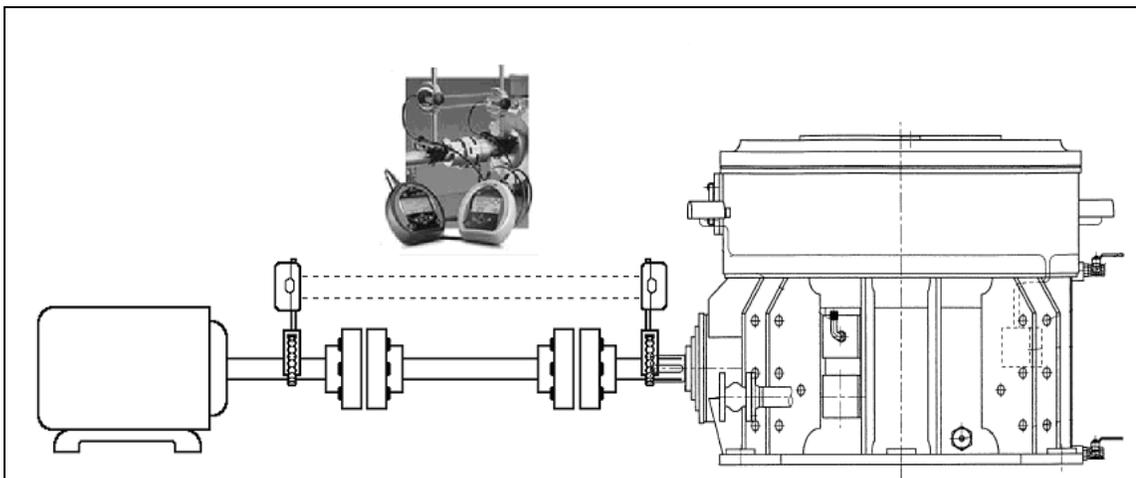
Se colocan los pernos de anclaje, se conecta la tubería al sistema hidráulico, se instalan la conexión eléctrica de los sensores y se procede a acoplarlo con la mesa de molturación.

### 3.9.6 Alineación y acoplamiento con el motor eléctrico

Se procede al montaje de los acoples en el eje del reductor y del motor eléctrico. La forma de medir el alineamiento de los ejes en los equipos es utilizar un dispositivo de alineación por láser que mide con precisión la desalineación que existe entre ellos. El sistema está formado por dos unidades de medición con emisor y receptor láser. Estas unidades se ajustan a los ejes del acoplamiento con cadenas. Ver figura 76

El operario utiliza una pantalla interactiva por la que introduce los datos de la geometría del conjunto y asimismo obtiene los resultados de la alineación.

**Figura 76. Alineación del reductor y motor eléctrico por laser**



### 3.9.7 Puesta en servicio

El reductor se abastece de aceite antes de la puesta en marcha para prelubricar durante 30 minutos como mínimo a través del sistema de abastecimiento de aceite.

Se llenará con tanto aceite como sea necesario para que el engranaje en reposo y la bomba del sistema de abastecimiento de aceite en funcionamiento, se alcance el nivel de aceite prescrito en los indicadores de nivel de aceite del reductor. Durante este tiempo se abastecen los rodamientos, cojinetes de segmentos axiales y los de engranajes.

Después de accionar el sistema de abastecimiento de aceite se pone en marcha el reductor durante varias horas sin carga. Si no se presenta ningún fallo, se puede incrementar la carga a intervalos prudentes bajo control permanente, poco a poco, hasta plena carga.

Durante este tiempo se observarán los siguientes puntos:

- a) El nivel de aceite deberá situarse entre las marcas del indicador de nivel de aceite y dado el caso deberá añadirse aceite.
- b) Los ruidos, a ser posible con un estetoscopio, se estará a la escucha en diferentes puntos del engranaje para comprobar si se oyen ruidos anómalos.
- c) Se examinarán todas las uniones de tornillo de las conducciones de aceite, para ver si tienen fugas de aceite.
- d) Medición de vibraciones (antes y después del desarme).
- e) Análisis de aceite (antes y después del desarme).



## CONCLUSIONES

1. Al aplicar un programa de mantenimiento preventivo efectivo a través de la vigilancia sistemática de las condiciones de aceite, temperatura, vibraciones e inspecciones visuales, se permite analizar el estado del reductor y tomar las acciones necesarias para conservar al reductor en óptimas condiciones.
2. La guía del reductor proporciona la información de manera clara y detalla los pasos para desmontar y montar las piezas mecánicas del reductor adecuadamente, para disminuir el tiempo fuera de servicio. Por consiguiente contribuye a:
  - Proporcionar las herramientas necesarias que se utilizan para desmontar y montar las piezas del reductor; disminuyen los atrasos que se pudieran producir por la búsqueda y/o fabricación de las mismas.
  - Muestra el procedimiento y cálculo para efectuar la medición del juego interno entre dientes o *backlash* que se realiza en el piñón y el engranaje cónico, ya que es una de las medidas más importantes para el adecuado funcionamiento del reductor.
  - Se especifica puntos de orientación para la búsqueda de fallas, causas probables y la realización de las medidas pertinentes para mantener el estado del reductor

3. Las políticas y normas de seguridad e higiene deben de cumplirlas todo el personal que desarrolla los trabajos de mantenimiento del reductor, ya que se encuentran expuestos a fuentes de energía (cinética, mecánica, eléctrica, etc.) lo cual pone en riesgo su salud y seguridad. Por tal motivo, es necesario el aislamiento y bloqueo de los equipo y seguir las reglas cardinales OH&S.

## RECOMENDACIONES

1. Al personal del *tool room*. Todas las herramientas utilizadas para desmontar y armar las piezas del reductor deberán almacenarse en conjunto e identificarlas para que reductor pertenece para próximos desarmes. Para optimizar el tiempo en la búsqueda y/o fabricación de extractores, estrobos, etc. que sean necesarios.
2. Al jefe del almacén. Los repuestos de los reductores deben ser almacenados apropiadamente, según recomendaciones del fabricante, para protegerlos contra la humedad, polvo y partículas extrañas que pudieran deteriorarlos y afectar el funcionamiento del reductor.
3. Al jefe responsable del mantenimiento del reductor. Verificar que la designación de los rodamientos que se adquieran, coincidan con la misma indicada en el manual de piezas de cambio del reductor, pues de lo contrario, se puede afectar el juego interno del rodamiento, falta de componentes del rodamiento etc.
4. Al jefe responsable del mantenimiento. El desarme y armado del reductor se deberá realizar en un área específica donde exista suficiente espacio para los trabajos de mantenimiento. Y así evitar daños que pudieran ocasionarse a las piezas y contaminación con partículas que puedan alojarse en las tuberías y partes del reductor que ya se hayan montado.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Albarracín Aguillón. **Tribología y lubricación industrial y automotriz**. 2a ed. Tomo I. Colombia: LITOCCHOA, 1993.
2. Cortez José. **Técnicas de prevención de riesgos laborales**. 9ª ed. España: TEBAR, S.L., 2007.
3. F. L. Smidth. **Manual de mantenimiento mecánico de molinos verticales**. F. L. Smidth.
4. Lindley R. Higgins, ***Maintenance engineering handbook***. 6a ed. Estados Unidos: Mc-Graw Hill, 2007.
5. Norton L. Robert. **Diseño de máquinas**. 1a ed. México: Pearson Education, 1999.
6. Pérez Jaramillo, Carlos Mario. **Manual de mantenimiento de FEDEMETAL**, 2a ed. Colombia: SENA, 1993.
7. SKF. **Manual SKF de mantenimiento de rodamientos**. SKF.