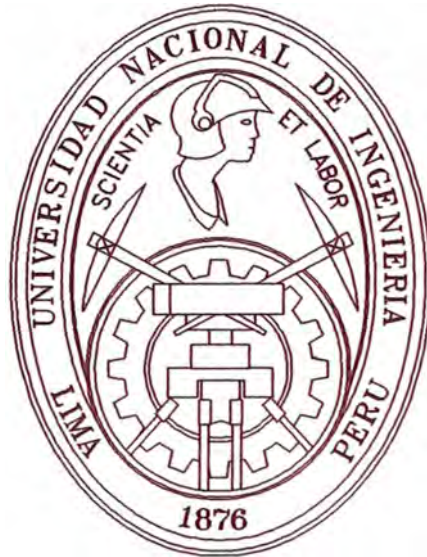


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**ALINEAMIENTO Y PLAN DE MANTENIMIENTO DE UN  
HORNO ROTATORIO DE CLINKER EN UNA PLANTA  
CEMENTERA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECANICO**

**JORGE LUIS GAMARRA LA BARRERA**

**PROMOCION 1983-II**

**LIMA-PERU**

**2009**

## INDICE DE CONTENIDOS

<b>Prólogo</b>	.....	1
 <b>Capítulo I</b>		
<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	3
1.1	Antecedentes.....	3
1.2	Objetivo.....	4
1.3	Alcances.....	4
1.4	Justificación.....	4
1.5	Limitaciones.....	5
 <b>Capítulo II</b>		
<b>2</b>	<b>Descripción</b> .....	6
2.1	Tipos de hornos rotativos para la producción de clinker.....	6
2.2	Descripción técnica y operativa de la producción de cemento en proceso por vía húmeda.....	7
2.2.1	Perforación y extracción de las materias primas.....	8
2.2.2	Trituración.....	11
2.2.3	Dilución de arcilla.....	12
2.2.4	Molienda de crudos.....	12
2.2.5	Homogenización del crudo.....	12
2.2.6	Calcinación.....	13
 <b>Capítulo III</b>		
<b>3</b>	<b>Generalidades del horno rotatorio</b> .....	15

3.1	El horno rotatorio.....	15
3.1.1	Zonas del horno rotatorio.....	16
3.1.2	Componentes principales del horno.....	22
3.1.2.1	Virola del horno.....	23
3.1.2.2	Aros de rodamiento.....	23
3.1.2.3	Polines de rodadura.....	24
3.1.2.4	Transmisión del horno.....	25
3.1.2.4.1	Componentes de la transmisión del horno.....	27
3.1.2.4.2	Características de los engranajes.....	27
3.1.2.5	Enfriadores planetarios.....	29
3.2.	Resumen de las cargas actuantes en el horno.....	30
3.2.1	Cargas vivas.....	30
3.2.2	Cargas muertas.....	30
3.3	Consideraciones técnicas.....	31

#### **Capítulo IV**

<b>4</b>	<b>Alineamiento del horno.....</b>	<b>34</b>
4.1	Introducción.....	34
4.1.1	Trabajos preliminares.....	35
4.2	Medición de los ejes del horno.....	38
4.2.1	Medición en el plano vertical.....	40
4.2.2	Movimientos para corrección del eje vertical.....	42
4.2.3	Medición en el plano horizontal.....	43
4.2.4	Movimientos para corrección en el plano horizontal.....	45
4.3	Ajustes del eje del horno.....	46
4.4	Control del empuje axial.....	48
4.5	Vigilancia después del ajuste.....	49
4.6	Alineación laser.....	55

#### **Capítulo V**

<b>5</b>	<b>Ovalidad.....</b>	<b>57</b>
5.1	Consideraciones técnicas.....	57

5.2	Holgura/desplazamiento del aro de rodamiento.....	60
5.3	Medición del desplazamiento del aro de rodamiento.....	61
5.4	Interpretación del desplazamiento.....	63
5.5	Reducción del desplazamiento.....	64
5.6	Medición de ovalidad laser.....	66
5.7	Interpretación de las curvas de ovalidad.....	67
5.8	Lubricación del aro de rodamiento.....	69

## Capítulo VI

<b>6</b>	<b>Inspección del horno.....</b>	<b>71</b>
6.1	Consideraciones generales para la inspección.....	71
6.1.1	Roldana de soporte y cojinete.....	72
6.1.2	Aro de rodamiento.....	73
6.1.3	Estación motriz (corona – piñón).....	74
6.1.3.1	Mantenimiento programado.....	74
6.1.3.2	Verificación del contacto de dientes.....	77
6.1.3.3	Alineación de engranes.....	79
6.1.4	Rodillos de guía.....	82
6.1.5	Casco del horno.....	83
6.1.6	Sellos en los extremos de entrada y salida.....	83
6.1.7	Inspecciones que pueden ser realizadas durante una parada del horno.....	83
6.2	Métodos de inspección.....	84
6.2.1	Inspección visual.....	85
6.2.2	Prueba con líquido penetrante.....	85
6.3	Aspectos de seguridad.....	86

## Capítulo VII

<b>7</b>	<b>Fallas típicas en hornos.....</b>	<b>88</b>
7.1	Consideraciones generales.....	88
7.1.1	Clasificación de fallas.....	88
7.1.2	Causas generales de fallas.....	88

7.1.3	Elementos básicos involucrados que participan en la generación de fallas.....	89
7.2	Fallas en la carcasa del horno.....	89
7.2.1	Deformaciones de la carcasa.....	90
7.2.2	Fisuras en la carcasa.....	95
7.2.3	Corrosión interna de la carcasa del horno.....	108
7.3	Fallas en anillos.....	110
7.3.1	Fallas en la superficie rodante.....	110
7.3.2	Fisuras en anillos.....	114
7.3.3	Fallas en la sujeción del anillo flotante.....	117
7.4	Fallas en los rodillos de soporte.....	121
7.4.1	Fallas en la superficie rodante.....	121
7.4.2	Fisuras en el cuerpo del rodillo.....	126
7.4.3	Fractura del eje del rodillo.....	127
7.5	Fallas en cojinetes de soporte.....	129
7.6	Ruptura de la caja del cojinete.....	131
7.7	Fallas en rodillos de empuje axial.....	132
7.7.1	Daños en la superficie rodante.....	132
7.7.2	Fractura en el eje de rodillos de empuje.....	133
7.8	Fallas en el accionamiento del horno.....	135
7.8.1	Desgaste.....	135
7.8.2	Desgaste corrosivo.....	138
7.8.3	Erosión, cavitación.....	139
7.8.4	Descarga eléctrica.....	139
7.8.5	Fallas por fatiga.....	140
7.8.6	Deformaciones plásticas.....	142
7.8.7	Grietas.....	144
7.8.8	Roturas de dientes.....	145
7.9	Fallas en enfriadores planetarios.....	145
	<b>8.- Tabla general de mantenimiento.....</b>	<b>148</b>

<b>Conclusiones.....</b>	<b>153</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>155</b>

## PROLOGO

El propósito de este informe está centrado en presentar una guía que nos ayudará en el análisis del comportamiento mecánico y los conceptos importantes del funcionamiento de un horno rotatorio, lo que nos servirá como una herramienta de gestión en la implementación de un plan de mantenimiento a fin de lograr una marcha exitosa de un horno rotatorio de una planta cementera.

Este informe se divide en siete capítulos, en el Capítulo I que es la Introducción comenzamos haciendo referencia a los antecedentes, objetivo, alcance, justificación y las limitaciones de nuestro presente informe, en el Capítulo II, denominado Descripción, mencionamos los tipos de hornos, operación y proceso de fabricación del cemento en forma general, continuamos con el Capítulo III (Generalidades del horno rotatorio) donde identificamos puntualmente al horno, materia de nuestro trabajo, donde veremos las partes principales que lo componen.

Para centrarnos en el estudio principal de nuestro informe, en el Capítulo IV (Alineamiento del horno) tocamos uno de los puntos importantes que es el alineamiento y los trabajos que se realizan en campo, asimismo en el Capítulo V (Ovalidad) tratamos otro de los puntos importantes que es acerca de la Ovalidad en el casco del horno, para

continuar con el Capítulo VI (Inspección del horno) donde veremos los puntos principales a considerar en una inspección de campo.

En el Capítulo VII (Fallas típicas) analizamos las diferentes fallas que comúnmente ocurren en un horno, sus características, causas, consecuencias y reparaciones inmediatas a realizar, continuamos luego elaborando una Tabla general de mantenimiento, para finalmente enumerar las Conclusiones, Bibliografía consultada y Anexos.

Este trabajo revisa aspectos mecánicos de los componentes principales del horno, en base a experiencias ganadas en este campo, esperando que estos temas sean de ayuda al lector interesado en analizar las fallas y como proceder a fin de lograr una disponibilidad elevada y costos de producción bajos en una planta cementera.



# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCION**

### **1.1 ANTECEDENTES**

El horno rotatorio representa el equipo mecánico más importante en una planta de cemento, en el transcurso del tiempo la capacidad de producción se ha incrementado hasta 100 veces por unidad, aunque las dimensiones correspondientes aumentaron por un factor de sólo 2 a 4.

El tamaño de los hornos fue determinado por nuevos conceptos de tecnología de proceso y por la exigencia de capacidades de producción más elevadas y más económicas, a través de los años progresó también el diseño mecánico y la tecnología de fabricación del horno y de sus componentes.

En nuestro caso, para el desarrollo del tema, hemos tomado a un horno rotatorio de producción de clinker por vía húmeda, de fabricación FLS del año 1963, de 100 metros de longitud, 3.15 metros de diámetro interior con 4 apoyos de rodadura y una producción de 250 ton/día, y se encuentra trabajando a 3820 m.s.n.m.

## **1.2 OBJETIVO**

Desarrollar la metodología tomando en consideración los criterios principales del funcionamiento del horno en base al análisis del comportamiento mecánico y de los procedimientos de alineamiento, el cual será la base para la gestión de mantenimiento de un horno de vía húmeda en la producción de clinker de una planta de cemento, con el propósito de mejorar sus índices de confiabilidad operacional, y así garantizar su funcionabilidad y por ende la producción programada.

## **1.3 ALCANCE**

El trabajo estará centrado en el casco del horno propiamente y sus componentes mecánicos que directamente intervienen en la rotación el cual nos llevarán al análisis del comportamiento mecánico, del estudio del alineamiento y los criterios para la elaboración de un plan de mantenimiento.

## **1.4 JUSTIFICACION**

Por ser el horno el equipo principal de la planta, es de suma importancia que las personas encargadas del mantenimiento tengan un conocimiento de la mecánica de este equipo, deben ser capaces de entender las diferentes condiciones físicas externas e internas y tomar las acciones necesarias para evitar, o por lo menos reducir al mínimo las consecuencias de una situación de operación peligrosa, un alto factor de marcha del horno, es decir, un servicio mecánico tan estable, como sea posible, es esencial para la economía

total de la fábrica, las paradas involuntarias representan grandes gastos de reparación y pérdidas extraordinarias de producción.

En base a estas consideraciones el encargado de mantenimiento trabajará con esta metodología que le permitirá proyectar y programar un sistema de paradas planificadas oportunas.

### **1.5 LIMITACIONES**

Esta metodología será aplicada a un horno de proceso de vía húmeda, el cual es más largo y con mas bases de apoyo en comparación con un horno moderno, que son de proceso de vía seca y quienes inclusive tienen mayor volumen de producción debido a los nuevos diseños producto del avance tecnológico, no obstante, el principio de funcionamiento se ajusta a todos los hornos rotatorios.

## **CAPITULO II**

### **DESCRIPCION**

#### **2.1. TIPOS DE HORNOS ROTATIVOS PARA LA PRODUCCIÓN DE CLINKER**

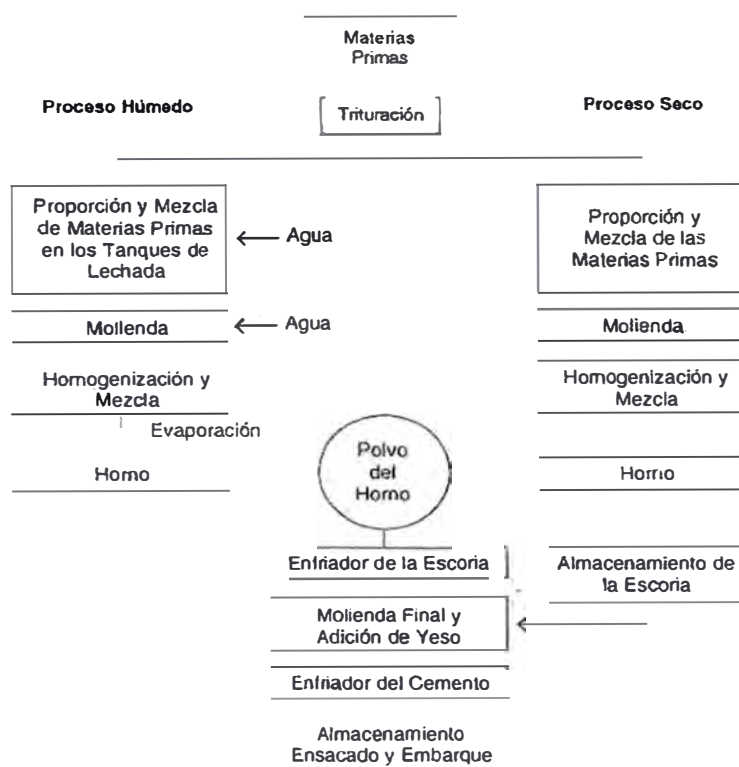
En el transcurso de los años se ha experimentado un gran desarrollo de los hornos, desde el año 1877 a partir del cual se realizaron ensayos con hornos rotativos y que desde entonces se ha perfeccionado en forma continua.

Estos primeros hornos rotatorios fueron hornos de vía húmeda con una capacidad diaria de 50 a 100 toneladas, su consumo de calor fue muy elevado (aproximadamente 30% del clinker en carbón= 9500 kJ/Kg-clinker) y tenían una emisión de polvo increíble (usualmente más de un tercio de la producción total).

Actualmente para la cocción de clinker existen cuatro tipos de procesos básicamente diferentes (diferenciados en el porcentaje de agua,  $\phi$ ) pero de frecuente aplicación todos ellos:

- El proceso seco, alimentado con harina seca(  $\phi < 1\%$  )

- El proceso semi-seco, alimentado con nódulos húmedos ( $\varphi \sim 10\text{...}12\%$ ), hechos de harina cruda y agua.
- El proceso semi-húmedo, alimentado con nódulos prensados ( $\varphi \sim 17\text{...}21\%$ ) hechos de una galleta de filtración de pasta.
- El proceso húmedo, donde una pasta de material crudo se bombea dentro del horno ( $\varphi \sim 25 - 40\%$ ).



**FIG. 2.1 Proceso de fabricación del cemento**

## 2.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA Y OPERATIVA DE LA PRODUCCIÓN DE CEMENTO EN PROCESO POR VÍA HÚMEDA

Para la producción de cemento Portland tipo I, tipo II, tipo V y cemento puzolánico, cumpliendo los requerimientos estándares físicos y químicos de

las normas ASTM, por el proceso de vía húmeda se siguen las siguientes operaciones:

- Perforación
- Trituración
- Dilución de arcilla
- Molienda de crudos
- Homogenización de crudos
- Calcinación
- Molienda de cemento
- Envasado y despacho

La descripción de cada etapa de operación para la producción de cemento se presenta a continuación:

### **2.2.1 Perforación y extracción de las materias primas**

El método de explotación es a cielo abierto, las operaciones de extracción de las materias primas a excepción de la arcilla y el yeso comprenden lo siguiente:

- Exploración y muestreo
- Preparación
- Perforación
- Voladura
- Carguío

- Transporte

Para la producción de cemento se requiere la explotación de las materias primas básicas las cuales son:

**a) Piedra caliza:**

Constituye la materia prima principal en la fabricación de cemento y se presenta como roca sedimentaria, posee por lo general estructura cristalina de grano fino, color blanquecino, su principal componente es el carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) se encuentra en un rango de 75 a 90% de ley.

**b) Arcilla:**

Materia prima importante en la fabricación de cemento por lo general cuentan con elevados índices de humedad, la arcilla con que se cuenta posee un análisis químico promedio aproximado de:

- $\text{SiO}_2$ : 60.86%
- $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 15.71%
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ : 5.45%
- $\text{CaO}$ : 5.86%
- $\text{MgO}$ : 3.48%
- Loss: 6.97%

Los rangos de carbonatos son:

- $\text{CO}_3$  7.7 a 12%

- $\text{CO}_3\text{Ca}$       3 a 9.8%
- $\text{CO}_3\text{Mg}$       1.5 a 1.8%

La arcilla para la fabricación de cemento es utilizada como correctivo cuando el carbonato de calcio en la piedra caliza es alto.

**c) Óxido de hierro:**

Materia prima que se añade al crudo para ajustar su composición química y mejorar su aptitud para la sinterización, de color verdoso y aspecto granular, presenta un análisis químico promedio aproximado de:

- $\text{SiO}_2$             12.68%
- $\text{Al}_2\text{O}_3$            13.47%
- $\text{Fe}_2\text{O}_3$           57.39%
- $\text{CaO}$              2.16%
- Loos              5.29%

**d) Yeso:**

Materia prima de mucha importancia utilizada en la última etapa en la fabricación de cemento moliéndose conjuntamente con el clinker en una proporción de 2.5 – 3%, su finalidad es retardar el fraguado por una reacción del sulfato con el aluminato tricálcico.

Su análisis químico promedio aproximado es de:

- Agua superficial                            0.17%



- Agua de combinación: 17.18%
- SO<sub>3</sub> 42.74%
- Loss 21.46%
- Anhidrita 6.96%
- Yeso aparente 91.96%
- Yeso total 85.00%

e) **Puzolana (para cemento puzolánico):**

Son materiales silicios o sílico-aluminosos de diferente origen, estructura y composición química y mineralógica, en la industria del cemento se le utiliza para producir los cementos puzolánicos que esencialmente es el cemento portland base (clinker) añadiéndose material puzolánico alrededor de un 20% el cual controla el calor de hidratación, proporciona una resistencia química en ambientes agresivos y da una buena resistencia mecánica.

### 2.2.2 **Trituración**

Su función es reducir la caliza proveniente de canteras de 600 mm a 25 mm, asimismo triturar el mineral de fierro y el yeso mediante una chancadora de martillos de doble cámara.

El material triturado por la trituradora de martillos es recepcionado por una faja transportadora que se encuentra bajo la trituradora y

descargarlo por medio de un chute a una faja inclinada, la cual la lleva hasta la faja móvil superior sobre las tolvas.

### **2.2.3 Dilución de arcilla**

La arcilla materia prima de mucha importancia en la fabricación de cemento se transforma en pasta de arcilla mediante la diluidora, utiliza también para corregir la composición química del crudo en lo referente al carbonato de calcio.

### **2.2.4 Molienda de crudos**

La piedra caliza almacenada en las tolvas es transportada al circuito de molienda al cual se le agrega agua para conseguir la pasta cruda esta molienda se realiza mediante dos molinos de bolas UNIDAN de 2.40 metros de diámetro y 8,80 m de largo, utilizando el sistema de circuito abierto con dos cámaras de molienda. La pasta producida por los dos molinos es transportada mediante tuberías a los silos de pasta por 4 bombas que operan en forma independiente.

### **2.2.5 Homogenización del crudo**

Se realiza en los silos de homogenización. Un análisis aproximado promedio de pasta que se alimenta al horno en planta es:

- SiO<sub>2</sub> 13.19 %
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.75 %
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.92%

- CaO 42.05%
- MgO 3.64%
- Perdida al fuego 35.45%

Y en cuanto a carbonatos:

- Ca CO<sub>3</sub> 72.90%
- CO<sub>3</sub> total 76.00%
- Mg CO<sub>3</sub> 1.85%

#### **2.2.6 Calcinación**

La pasta homogenizada es transportada por medio de bombas centrifugas a los alimentadores rotativos que dosifican la pasta cruda para los hornos y están sincronizados con la marcha del mismo, mediante un equipo eléctrico especial que permite una alimentación constante y uniforme a los hornos.

El proceso de calcinación se realiza mediante hornos rotativos provistos de quemadores de carbón para la combustión, una vez en el interior del horno la pasta se calienta lentamente y a medida que la pasta fluye a lo largo del horno la temperatura va en aumento, ocurriendo reacciones químicas hasta obtener el clinker.

El clinker es un producto que puede considerarse sintético, obtenido mediante un tratamiento térmico de la mezcla de los minerales

naturales no hidráulicos, calcita, cuarzo, arcillas y feldespatos, es transformada en una mezcla íntima de los minerales hidráulicamente activos Alita, velita alúmina y ferrita. El tratamiento y enfriamiento responsable para esta transformación se denomina Clinkerización.

## **CAPITULO III**

### **GENERALIDADES DEL HORNO ROTATORIO**

#### **3.1 EL HORNO ROTATORIO**

El horno rotatorio materia de nuestro estudio es un horno largo de vía húmeda para la fabricación de clinker con sistema de cadenas interiores en la zona de secado, este horno de procedencia danesa marca F.L.SMIDTH, tiene una capacidad de diseño de 250 Tm/día de clinker accionado por un motor eléctrico de velocidad variable de 100 HP.

El horno es una virola de material SAE-20 con espesor variable desde 35 a 55 mm., tiene un diámetro interior de 3.15 m y su longitud 100 m. posee además una inclinación de 2,5% con respecto a la horizontal.

El soporte del horno se realiza mediante 4 bases, donde se apoyan los aros de rodamientos montados a lo largo del horno, sobre los polines de rodadura en cada base, siendo sobre estos polines el giro del horno, posee además 12 enfriadores planetarios tipo Unax de 1 m de diámetro por 6 m de longitud y una capacidad de 22 Tm/h de clinker, se encuentran instalados sobre el casco del horno y se encuentran sujetos mediante abrazaderas unos a otros.

El dispositivo rotativo para alimentar pasta al horno tiene una capacidad de 15 TM/H, cuenta además de un registro de celosía para el control de los gases de escape, una cámara de gases, una rosca de polvos en la cámara de humos y un ventilador extractor de gases.

El sistema de combustión del horno consiste en la inyección de carbón bituminoso pulverizado al quemador del horno a una temperatura de 80°C, con un consumo promedio de 2900 kg/hora, siendo el consumo específico de calor en el horno de 1859.27 Kcal/kg-clinker. Para el pulverizado del carbón se cuenta con un molino vertical marca Raymond de 5 TM/H de capacidad.

El grado de llenado es de 7%, se denomina grado de llenado a la relación en porcentaje, del área transversal ocupada por el material al área de la sección transversal del horno y la velocidad angular de rotación del horno es 1.25 RPM.

### **3.1.1 Zonas del horno rotatorio**

#### **a) Zona A:**

Zona de secado, es la zona donde se evapora el contenido de agua de la pasta, esta zona consiste esencialmente en un tramo donde se ha instalado cadenas en su interior en forma de anillos. En esta zona el material es calentado en el orden de 200°C a 400°C, gracias a la transferencia de calor que se produce entre los gases de combustión y las cadenas sobre el material (pasta).

En hornos de vía húmeda el largo de la zona de secado varía entre 7 a 9 veces el diámetro del horno, en nuestro caso la longitud de la zona de secado es de 26.3 m.

El revestimiento de esta zona está conformado por los ladrillos densos de bajo contenido de alúmina y alta resistencia a la abrasión a fin de contrarrestar la acción abrasiva de las cadenas (Ladrillo REPSA 18, espesor del revestimiento es de 114 mm ó 4½").

- Longitud : 26.3 m
- T° superficie : 95° C

b) Zona B:

Zona de precalentamiento, en esta zona se expulsa el agua de hidratación y la materia prima es calentada hasta la temperatura de aproximadamente 700°C, el largo de la zona de precalentamiento en este tipo de horno varia de 4 a 8 veces el diámetro del horno, para nuestro horno actual esta zona tiene una longitud de 11.025 m.

El revestimiento de ladrillos refractarios en esta zona son de bajo contenido de alúmina o también ladrillos livianos para mejorar el aislamiento térmico (Ladrillo REPSA tipo A).

- Longitud : 11.025 m
- T° superficie : 130° C

c) Zona C:

Zona de calcinación, en esta zona se produce la reacción de calcinación el cual empieza con temperaturas del material en 600°C y se completa con temperaturas de aproximadamente 1200°C, sin embargo en vista de que la mayor parte de la calcinación se lleva a cabo con temperaturas de material entre 700°C y 900°C, es este margen el que es designado como zona de calcinación.

El largo de la zona de calcinación en este tipo de horno es del orden de 6 a 9 veces del diámetro del horno, para nuestro caso del horno actual esta zona tiene una longitud de 28.332 m.

El revestimiento de esta zona es variado.

- Longitud : 28.332 m
- T° superficie : 180° C

d) Zona D:

Zona de transición, es la sección entre la zona de calcinación y la de clinkerización, donde las temperaturas de la materia prima varían entre 900°C y 1150°C.



El largo de esta zona es del orden de 4 a 6 veces el diámetro del horno, para nuestro caso del horno actual es de 15.83 m.

Como en esta zona las condiciones de trabajo son a veces muy rigurosas y la formación de la fase líquida es muy pequeña lo que produce que no se forme costra, los ladrillos alcanzan entonces temperaturas muy elevadas. En estos casos el ataque químico y la abrasión sobre el ladrillo alcanzan valores altos.

En hornos de diámetro menor a 4 metros dan excelentes resultados los ladrillos de alto contenido de alúmina (70% a 80%), en nuestro caso el ladrillo utilizado en esta zona es el ALUSITE, que es de alta alúmina de la clase de 70%  $Al_2O_3$ , el espesor del revestimiento es de 200 mm.

- Longitud            15.83 m
- T° superficie      275° C

e) Zona E:

Zona de clinkerización ó sinterización, generalmente en esta zona se forman costras e incrustaciones más o menos estables, formadas por clinker y la fase líquida, la cual empieza a formarse con temperaturas de materia prima superiores a 1250°C.

El largo de la zona de sinterización es generalmente entre 3 y 5 veces el diámetro del horno y depende de gran medida del largo de la llama

y del tipo de combustible en el quemador, para nuestro horno esta zona tiene una longitud de 15.83 m.

El ladrillo utilizado en nuestro horno es el NUCON 60, que es de magnesita-cromo de liga directa, con un porcentaje de magnesia de 64.5%.

- Longitud : 15.83 m
- T° superficie : 290° C

f) Zona F:

Zona de enfriamiento, esta zona va aproximadamente desde la boquilla del quemador hasta la salida del horno, dentro de esta zona el clinker es enfriado desde su temperatura máxima de cocción de 1400°-1500°C hasta 1250°C, pasando posteriormente hasta los enfriadores.

Para este tipo de hornos la zona de enfriamiento tiene un largo aproximado de 1 a 1.5 veces el diámetro del horno, en nuestro caso esta zona tiene una longitud de 2.683 m.

Los ladrillos utilizados en nuestro horno para esta zona es el CORAL BP el ladrillo REPSA como base.

- Longitud : 3.78 m
- T° superficie : 285° C

## g) Zona G:

Es la zona donde se ubican los enfriadores planetarios cuyas dimensiones son:

- Longitud : 5.80 m
- Diámetro : 1.050 m
- Cantidad : 12
- T° superficie : 260° C

Espesor promedio del refractario: 0.2 m.

Velocidad angular del horno es de 1.25 rpm y el tiempo de transporte del material dentro del horno es de 198.5 minutos.

## h) Extremos del horno:

- Cono de entrada:

En este horno el cono tiene una longitud de 2.2 m y es una zona libre de choques térmicos, abrasión y alta temperatura, se utiliza para esta zona un concreto refractario silico-aluminoso, de resistencia mecánica normal.

Para nuestro horno se utiliza el CASTABLE SUPER, también se tiene una zona adyacente al cono y a los marcos de salida el cual es revestido con ladrillos REPSA, REPSA 18 y CORAL BP.

- Zona de carga:

Es la zona donde hace ingreso el material al horno, forma parte de la zona de secado y tiene una longitud de 1.30 m en nuestro horno.

El revestimiento refractario consiste en ladrillos densos de bajo contenido de alúmina y alto contenido de sílice a fin de contrarrestar la acción abrasiva del impacto de la pasta en esta zona.

Se utiliza en nuestro horno el ladrillo REPSA 18 para el revestimiento de esta zona.

### **3.1.2 Componentes principales del horno**

Como se mencionó anteriormente, el horno diseñado para la fabricación de clinker por vía húmeda, tiene una producción de 250 TM/día y accionado por un motor eléctrico de 100CV de potencia.

El horno consiste principalmente en un tubo de acero de 3.15 m de diámetro interior y 100 metros de longitud desde el extremo del horno hasta los marcos de salida para el clinker, este tubo tiene una pendiente de 2.5%.

Es sobre este tubo de acero en que se instalan los componentes principales (incluye el tubo de acero) y auxiliares del horno rotativo (ver apéndice, fig. 1).

### 3.1.2.1 Virola del horno

La virola o casco del horno consiste en un tubo cilíndrico fabricado de plancha de acero el cual tiene dos funciones fundamentales:

- Proporcionar una cavidad interior cilíndrica apropiada para que se realice el proceso de clinkerización.
- Soportar los esfuerzos que se presentan debido a las cargas variables de los componentes del horno y del material de alimentación.

**Tabla 3.1 Dimensiones de la virola del horno**

<i>LONGITUD TOTAL</i>	<i>103.3 Metros</i>
<i>Espesor zona de aro de rodamiento 1</i>	<i>55 mm</i>
<i>Espesor zona de aro de rodamiento 2</i>	<i>55 mm</i>
<i>Espesor zona de aro de rodamiento 3</i>	<i>55 mm</i>
<i>Espesor zona de aro de rodamiento 4</i>	<i>55 mm</i>
<i>Espesor tramo bases I-II; II-III; III-IV</i>	<i>25 mm</i>
<i>Material</i>	<i>Acero AISI 1020</i>

### 3.1.2.2 Aros de rodamiento

Los aros de rodamientos también llamados llantas de rodadura son anillos de acero fundido el cual se instala en la virola del horno y que sirven de pista para los apoyos con los polines de rodadura.

Estos aros de rodamiento son del tipo flotante y además de servir de apoyo suministran estabilidad del corte transversal al casco del horno.

**Tabla 3.2 Dimensiones de los aros de rodamiento**

ARO DE RODAMIENTO DIMENSIONES (mm)	BASE 1	BASE 2	BASE 3	BASE 4
Diámetro exterior	3850	3840	3850	3853
Diámetro interior	3350	3340	3350	3341
Ancho	700	650	665	650
Material: Acero fundido	Tipo:GS- 70 DIN 1.0553	Tipo:GS- 70 DIN 1.0553	Tipo:GS- 70 DIN 1.0553	Tipo:GS- 70 DIN 1.0553

### 3.1.2.3 Polines de rodadura

Los polines de rodadura llamados también roldanas de soporte son elementos cilíndricos (rodillos) fabricados de acero fundido y que fundamentalmente sirven de apoyo los cuales soportan las cargas

estáticas del horno inclusive del revestimiento, formación de costra y material de proceso.

Estos polines son en número de dos por cada base del horno.

**Tabla 3.3 Dimensiones de los polines de rodadura**

<i>POLINES DE RODADURA (Dimensiones en mm.)</i>	<i>BASE 1</i>	<i>BASE 2</i>	<i>BASE 3</i>	<i>BASE 4</i>
<i>CANTIDAD</i>	2	2	2	2
<i>Diámetro del polín</i>	1200	1100	1100	1100
<i>Ancho</i>	850	700	700	700
<i>Diámetro del eje</i>	360	320	320	320
<i>Peso (c/u) Kg</i>	6800	5000	5000	5000

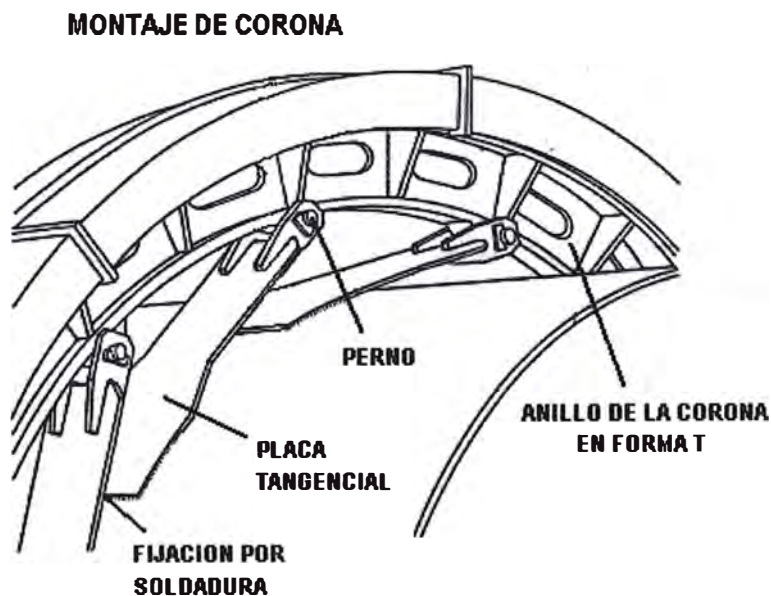
#### 3.1.2.4 Transmisión del horno

El accionamiento principal se efectúa por el sistema de engranajes cilíndricos piñón-rueda dentada.

El sistema de transmisión consiste en dos tramos de engranajes los cuales son accionados por un motor eléctrico de velocidad variable de 100CV.

El motor eléctrico se conecta directamente al reductor de velocidad de precisión TD-1150, la salida de este reductor se acopla a un eje y acciona al primer tren de engranajes el cual entrega la potencia transmitida al piñón del segundo tren de engranajes y este lo entrega a la rueda dentada principal del horno transmitiendo el movimiento rotatorio.

La rueda dentada principal en mitades se encuentra montada a la virola del horno mediante sujeción de 12 resortes o flejes de acero (fig. 3.1) los cuales se instalan directamente al casco del horno y tienen la finalidad de absorber el desalineamiento y ovalidad del casco en la zona donde se instala la rueda principal del horno.



**FIG. 3.1 Montaje de corona**



### 3.1.2.4.1 Componentes de la transmisión del horno

**Tabla 3.4 Componentes de la transmisión**

	COMPONENTE
1	<i>Piñón de acero colado Z=19, mandrilado: 220 mm.</i>
2	<i>Rueda dentada de acero colado Z=65, mandrilado: 310 mm.</i>
3	<i>Piñón de acero colado Z=19, mandrilado: 310 mm.</i>
4	<i>Corona dentada principal en mitades de acero colado, Z=120</i>
5	<i>Resorte para corona dentada ( Cantidad:12)</i>
6	<i>Eje de gran velocidad <math>\varnothing</math>160/180/220 x 2380 mm</i>
7	<i>Eje de baja velocidad <math>\varnothing</math> 240/310 x 2040 mm</i>

### 3.1.2.4.2 Características de los engranajes

#### a) Transmisión principal piñón- engranaje

Reducción: 6.3157.

Tipo: Engranajes cilíndricos de dientes rectos.

#### PIÑÓN:

- Número de dientes ( $Z_p$ ) : 19
- Diámetro de paso ( $D_p$ ) : 722 mm
- Módulo (m) : 38
- Ancho del flanco del diente : 430 mm
- Angulo de presión ( $\alpha$ ) : 20°
- Material del engranaje : AISI C 1045 templado y revenido

- Dureza del material : 350 BHN
- Dimensiones del eje :  $\varnothing 240/\varnothing 310 \times 2040$  mm
- Material del eje : VCN 150

#### ENGRANAJE:

- Número de dientes ( $Z_e$ ) : 120
- Diámetro de paso ( $D_e$ ) : 4560 mm
- Módulo (m) : 38
- Ancho del flanco del diente : 400 mm
- Angulo de presión ( $\alpha$ ) :  $20^\circ$
- Material del engranaje : AISI C 1045 templado y revenido
- Dureza del material : 300 BHN

#### b) Engranajes del tren secundario

Reducción: 3.421

Tipo: Engranajes cilíndricos de dientes rectos

#### ENGRANAJE 1

- Número de dientes ( $Z_1$ ) : 19
- Diámetro de paso ( $D_1$ ) : 475 mm
- Módulo (m) : 25
- Ancho del flanco del diente : 290 mm
- Angulo de presión ( $\alpha$ ) :  $20^\circ$
- Material del engranaje : AISI C 1045 templado y revenido

- Dureza del material : 350 BHN
- Dimensiones del eje :  $\varnothing 160/\varnothing 180 \times 2380$  mm
- Material del eje : VCN 150

#### ENGRANAJE 2

- Número de dientes (Z2) : 65
- Diámetro de paso (D2) : 1625 mm
- Módulo (m) : 25
- Ancho del flanco del diente : 290 mm
- Angulo de presión ( $\alpha$ ) :  $20^\circ$
- Material del engranaje : AISI C 1045 templado y revenido
- Dureza del material : 350 BHN

#### 3.1.2.5.- Enfriadores planetarios

Al diseño de los enfriadores de clinker se le conoce como enfriador UNAX, estos enfriadores consisten en varios tubos entre 10 ó 12, situados en la periferia del extremo más caliente del horno, los tubos enfriadores individuales están, hasta el 25% de su longitud revestidos con material refractario, el resto de su longitud, a fin de que produzca un intercambio térmico intensivo, va provista con cadenas y dispositivos elevadores para su vertido ulterior. El clinker corre a través de aberturas efectuadas en la envolvente del horno para entrar en los tubos enfriadores.

La relación L/D es generalmente para este tipo de enfriadores de 6:1 y un rendimiento térmico del enfriador del orden de 60-65% y tienen las siguientes características:

- Capacidad máxima : 500 TM/día
- Longitud : 5.800 m.
- Diámetro : 1.050 m.
- Cantidad : 12
- Temperatura del clinker ingreso al enfriador : 1250°C
- Temperatura del clinker salida del enfriador : 120° C

## **3.2 RESUMEN DE LAS CARGAS ACTUANTES EN EL HORNO**

### **3.2.1 Cargas vivas**

- Carga del material en proceso.
- Reacciones en el engranaje de transmisión.
- Torque para el accionamiento del horno.

### **3.2.2 Cargas muertas**

- Peso de la virola del horno.
- Peso del revestimiento refractario.
- Peso de los tubos enfriadores.
- Peso de la formación de costra.
- Peso de los aros de rodamientos (llantas).
- Peso del engranaje.

### 3.3 CONSIDERACIONES TECNICAS

El horno rotatorio es un cuerpo elástico soportado por un número de soportes, en nuestro caso es uno de cuatro soportes, los componentes básicos de un horno rotatorio son:

- Un aro de rodamiento que rodea al casco flexible del horno asegurando de esta manera su rigidez de corte transversal.
- Dos roldanas de soporte cada una en dos cojinetes de soporte.
- Una placa de base, normalmente una construcción de acero soldado, empotrada en una estructura de hormigón armado: la base del horno.

Para asegurar que el material fluya por abajo en el interior del horno, normalmente el horno está montado con una inclinación horizontal, en nuestro caso es de 2,5%, hacia la salida, esta inclinación origina una componente axial debida a la fuerza gravitacional sobre la masa total del horno, revestimiento refractario, formación de costra y material de proceso en el interior, para equilibrar esta fuerza de las cargas estáticas los soportes deben reaccionar numéricamente igual pero en sentido contrario a aquellas.

Cuatro tipos de inspecciones, mutuamente independientes, pueden revelar las condiciones mecánicas. Estas inspecciones son:

- Inspección del eje del horno,
- Inspección del equilibrio mecánico del horno, eso es el equilibrio axial del horno,
- Inspección en cuanto al cigüeñal del horno, e

- Inspección de la ovalidad.

Además, la inspección visual antedicha de todos los componentes principales del horno, determinará la situación mecánica del horno rotatorio actual.

La inspección de la forma del eje del horno es una interpretación física de su comportamiento considerado como una viga, larga, elástica y simplemente soportada, si esta viga tiene más de dos soportes, lo que tienen la mayoría de los hornos rotatorios, se torna estáticamente indeterminada, esto significa que el tamaño de las reacciones de los soportes depende no sólo del propio peso y de las cargas, sino también de la rigidez del horno. Por esto, con conocimiento de las coordenadas de dos puntos de la superficie y los radios principales del aro de rodamiento elíptico las coordenadas de su centro pueden ser calculadas. El conjunto de los centros forma el eje de rotación de los aros de rodamiento.

En la inspección del equilibrio axial del horno, aseguramos un equilibrio estable entre la gravitación y la rotación del horno que forman las fuerzas de empuje de la corriente axial de clinker en el horno, normalmente para asegurar la corriente estable, el horno es instalado con una inclinación del 2,5 al 4% en dirección hacia la salida.

En la inspección del cigüeñal, debemos determinar si el centro del horno coincide con el centro rotativo del eje del horno, de lo contrario, se dice que

el horno tiene cigüeñal, cuando ocurre esto, aparece una fuerza rotatoria que se suma a la carga constante del rodillo de soporte, y el efecto a la carga total puede ser considerable.

En la inspección de la ovalidad, debemos determinar el juego entre el aro de rodamiento muy rígido y el tubo del horno muy flexible, cuanto más juego, es decir más ovalidad, tanto más flexión y carga mecánica. Por muchas razones, por ejemplo de desgaste y de constricción, el juego puede crecer con el tiempo. Esto implica un riesgo incrementado de la formación de fisuras axiales en la placa del horno y, duración de la vida corta del revestimiento.

## **CAPITULO IV**

### **ALINEAMIENTO DEL HORNO**

#### **4.1 INTRODUCCION**

El propósito de realizar una alineación del horno es establecer:

- Un correcto equilibrio mecánico del horno, es decir que el empuje axial es absorbido por las roldanas de soporte y los rodillos de empuje.
- Una óptima distribución de la carga sobre los cojinetes del horno.
- Un buen estado mecánico de marcha del sistema del horno.

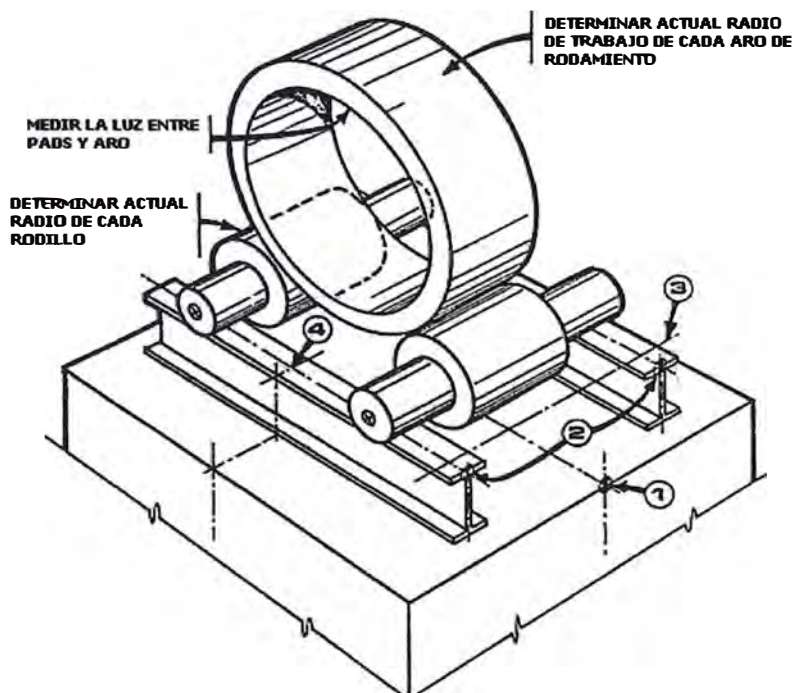
Para obtener los objetivos arriba mencionados son necesarios los siguientes requerimientos:

- El eje del horno debe ser ajustado de manera correcta.
- El ajuste (oblicuidad e inclinación) de las roldanas de soporte debe ser correcto.
- Las pistas de rodadura de las roldanas de soporte y aros de rodamientos deben ser verdaderamente cilíndricas.
- Las placas de base deben estar niveladas de acuerdo a la inclinación del horno (en nuestro caso es de 2,5%).



#### 4.1.1 Trabajos preliminares

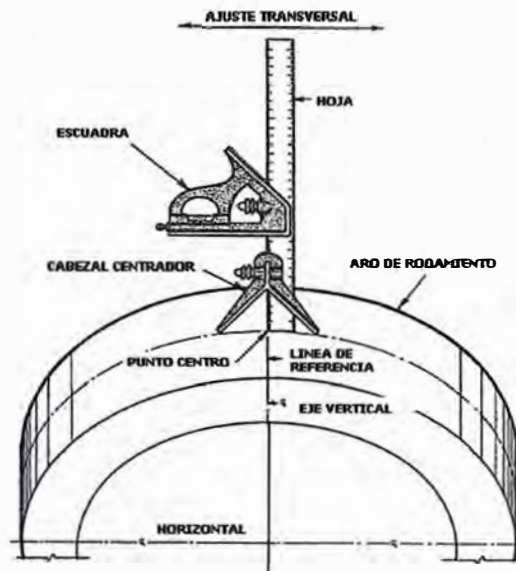
Antes de realizar los trabajos de mediciones de los ejes del horno, realizaremos las siguientes comprobaciones como se muestran:



**FIG. 4.1 Trabajos preliminares**

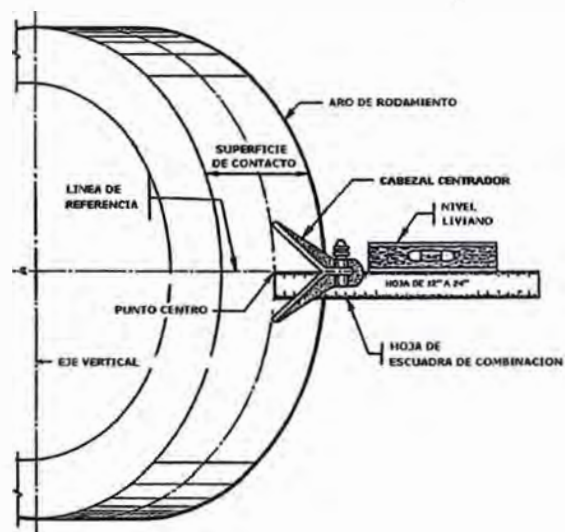
- 1.- Verificar las cotas de cada base de acuerdo a los planos de fundación.
- 2.- Verificar las elevaciones de cada soporte para comprobar si han sufrido modificaciones.
- 3.- Establecer la línea de referencia y marcarla en cada soporte de cada base.
- 4.- Establecer línea de eje en los soportes a partir de la línea de referencia.

Para localizar el punto centro en cada aro de rodamiento en la parte superior procederemos de acuerdo a:



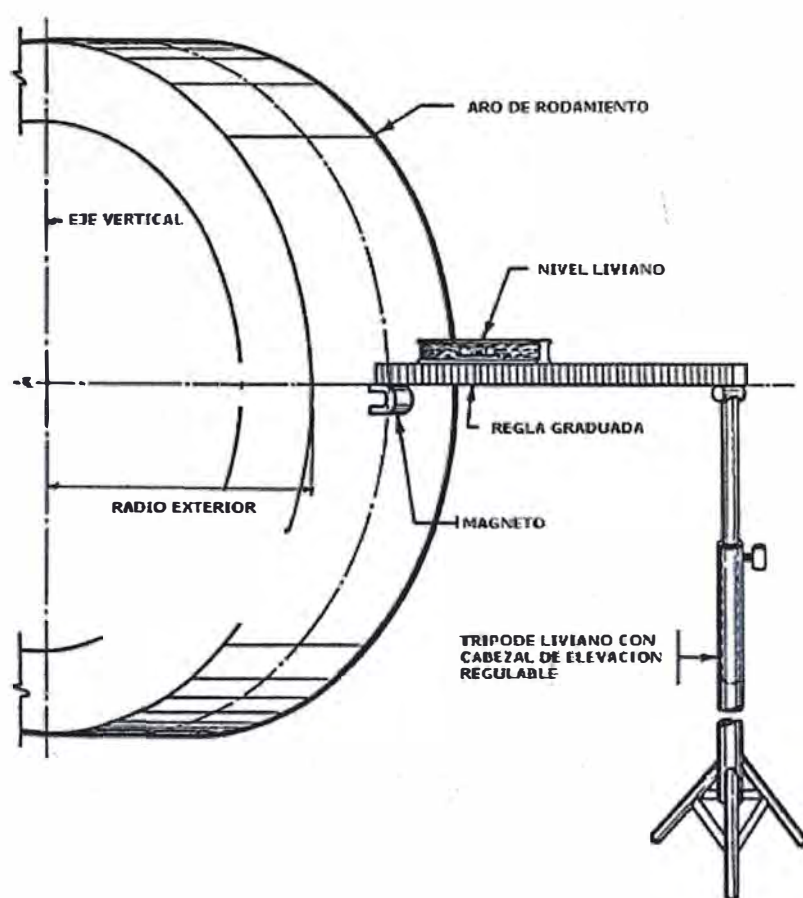
**FIG. 4.2 Disposición para localizar eje vertical**

Por otra parte, para localizar el punto centro del aro en el eje horizontal, procedemos de acuerdo a:



**FIG. 4.3 Disposición para localizar eje horizontal**

Una vez localizado el punto centro en el aro de rodamiento, posicionamos un trípode con una regla graduada el cual nos dará la lectura de la distancia del aro a una nuestra línea de referencia, como se muestra en la fig.4.4.



**FIG. 4.4 Disposición para posicionar trípode**

## 4.2 MEDICION DE LOS EJES DEL HORNO

El eje del horno actual, es decir el centro de rotación del tubo del horno mismo en cada soporte, se determina mediante 2 juegos de mediciones que son:

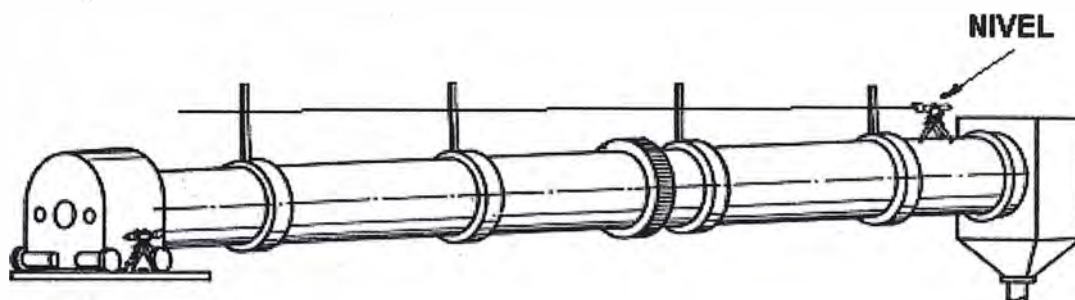
- Medición del eje en el plano vertical.
- Medición del eje en el plano horizontal.

Con estas mediciones se obtiene la posición de cada centro del horno en relación a una línea recta, esta posición nos muestra la desviación de la línea recta con respecto al plano horizontal y vertical.

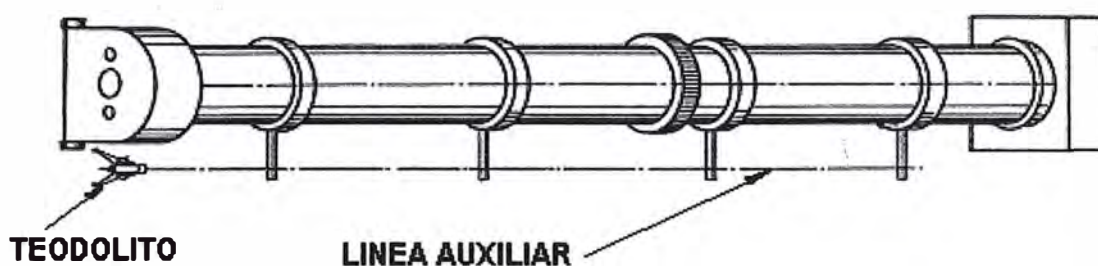
Después calcularemos cuanto debe moverse cada roldana de soporte para poner el eje del horno en su correcta posición.

Estas mediciones la realizaremos cuando el horno está parado y en frío, con ayuda de un nivel y teodolito.

El nivel nos ayudará para tomar las medidas de diferencias de cota en la parte superior del horno (fig. 4.5) para las medidas en el plano vertical y el teodolito nos servirá para medir las distancias exteriores de los aros de rodadura con respecto a una línea auxiliar (fig. 4.6) para encontrar la posición del eje en el plano horizontal.



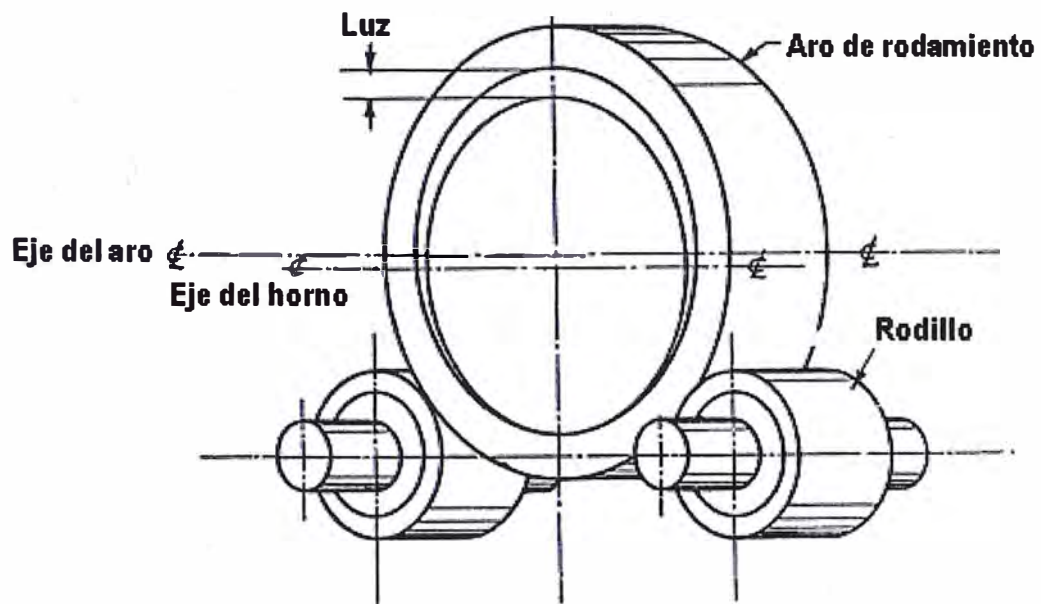
**FIG.4.5 Toma de cotas con nivel**



**FIG. 4.6 Toma de medidas con teodolito**

Considerar la luz que existe entre el diámetro interior del aro de rodamiento y el diámetro exterior del horno (ó almohadillas, si fuese el caso) para hacer la respectiva corrección del eje del horno en el plano vertical (fig. 4.7), ya que nos interesa precisamente es el eje del horno y no del aro de rodamiento, esta diferencia entre ejes es de:

$$(Luz/2) \text{ mm}$$



**FIG. 4.7 Luz entre aro y horno**

#### **4.2.1 Medición en el plano vertical**

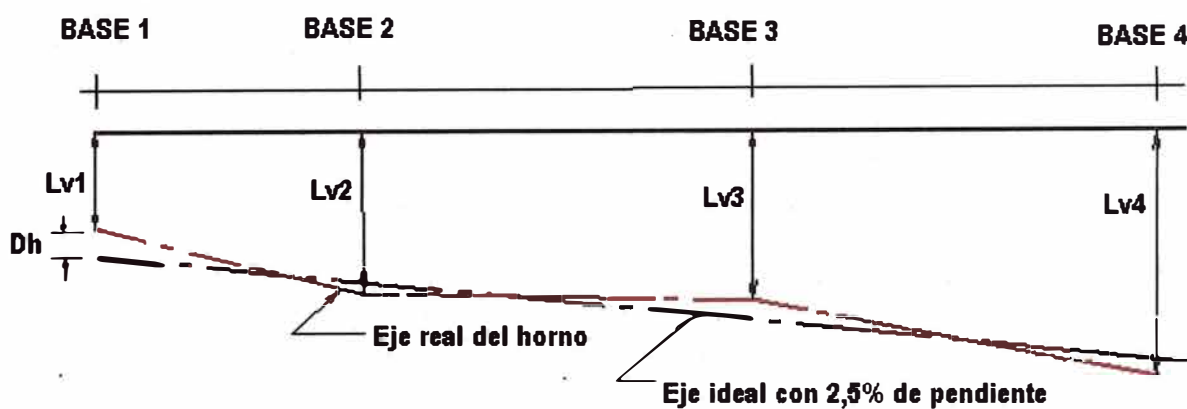
Como se mencionó anteriormente, con la ayuda de un nivel óptico se toman las medidas de las cotas en la parte superior de los aros de rodamiento, justamente en el punto centro mostrado en la figura 4.2.

Con estos datos, además de la luz entre el aro y el horno y el radio del aro se obtiene el siguiente cuadro:

**Tabla 4.1 Medidas en el plano vertical**

	BASE 1	BASE 2	BASE 3	BASE 4
Cota (mm)	(1)			
Luz/2 (mm)	(2)			
Radio del aro (mm)	(3)			
Longitud vertical (Lv) en mm)	$\Sigma (1)+(2)+(3)$			

Graficando a escala estos datos a partir de la línea visual del nivel, y comparando con una recta de 2,5% de pendiente, obtenemos:

**FIG. 4.8 Gráfico de medidas en el plano vertical**

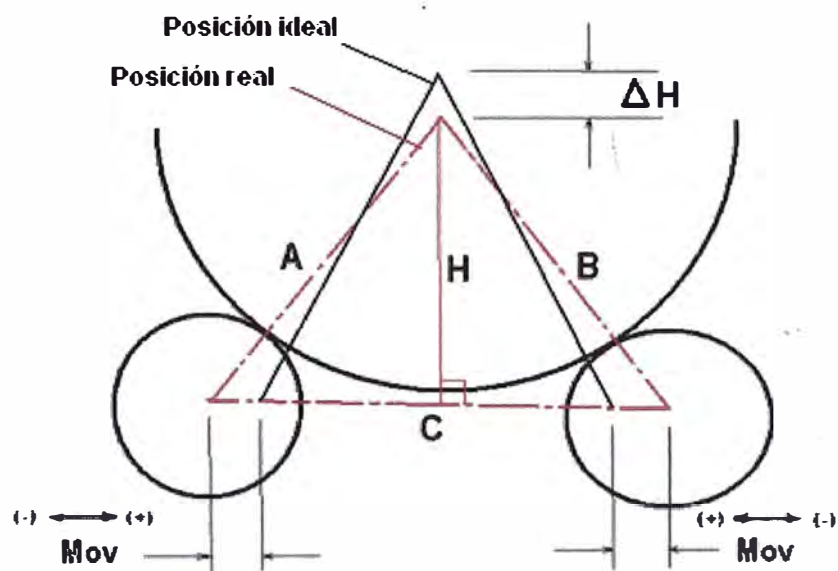
Donde:

$L_v$  = Es la longitud vertical en cada base obtenida de la tabla.

$D_h$  = Es la diferencia de altura vertical que necesitamos corregir para llevar al eje del horno a la posición ideal (2,5% de pendiente).

#### 4.2.2 Movimientos para corrección del eje vertical

Considerando el siguiente gráfico:



**FIG. 4.9 Triángulo para corrección en eje vertical**

De donde:

$A$  = Radio del aro + radio de rodillo izquierdo.

$B$  = Radio del aro + radio de rodillo derecho.

$C$  = Distancia entre centros de los rodillos (tomado en campo).

$H$  = Altura del triángulo, se obtiene de:



$$H = \frac{2\sqrt{p(p-A)(p-B)(p-C)}}{C}$$

donde:

$$p = \frac{A + B + C}{2}$$

$\Delta H$  = Diferencia de altura;

$\Delta H (+)$  = subir

$\Delta H (-)$  = bajar

Obtenemos:

$$\text{Mov} = \frac{c^2 + B^2 - A^2}{2c} - \sqrt{B^2 - (H + \Delta H)^2}$$

Mov = Movimiento a realizar, si es (+) debemos realizar un movimiento de acercamiento de las chumaceras de apoyo, si es (-) debemos realizar un movimiento de alejamiento.

#### 4.2.3 Medición en el plano horizontal

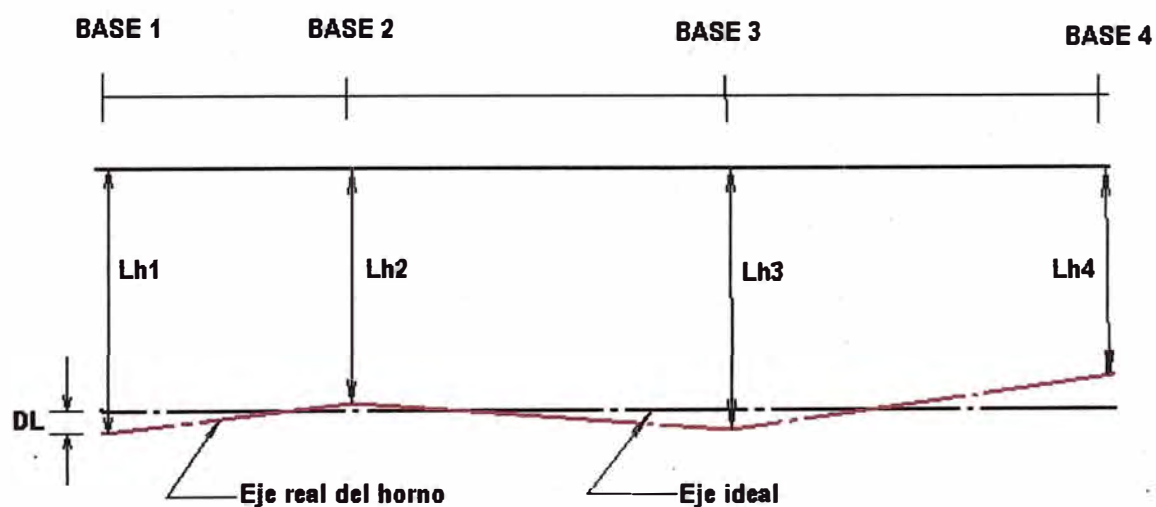
Para tomar las medidas en el plano horizontal, trazamos una línea auxiliar paralela al eje del horno y con ayuda del teodolito medimos la distancia perpendicular entre la tangente del aro de rodadura y la línea de la mira del instrumento como se muestra en la fig. 4.4.

Con este dato más la medida del radio del aro de rodamiento obtenemos la siguiente tabla:

**Tabla 4.2 Medidas en el plano horizontal**

	BASE 1	BASE 2	BASE 3	BASE 4
Distancia horizontal (mm)	(1)			
Radio del aro de rodamiento (mm)	(2)			
Longitud horizontal (Lh), (mm)	$\Sigma (1) + (2)$			

Graficando a escala estos datos y comparando con una línea recta (línea auxiliar) obtenemos:



**FIG. 4.10 Gráfico de medidas en el plano horizontal**

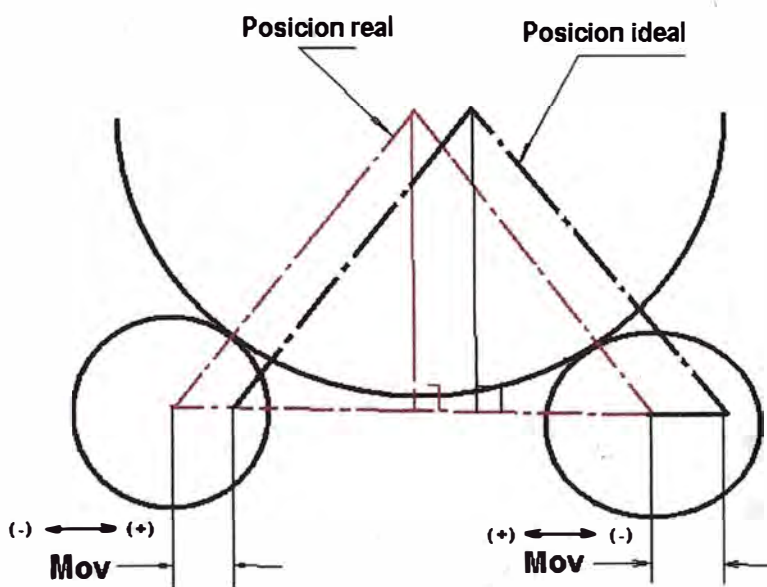
De donde:

$L_h$  = Es la longitud horizontal obtenida de la tabla.

$DL$  = Es la diferencia del eje real del horno con respecto al eje ideal (recta), es lo que necesitamos mover para llevar a la condición ideal.

#### 4.2.4 Movimientos para corrección en el plano horizontal

Considerando el siguiente gráfico:



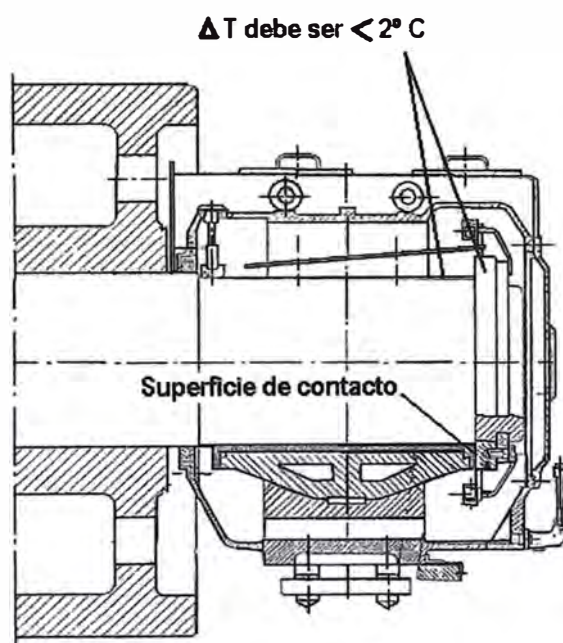
**FIG. 4.11 Triángulo para corrección en el plano horizontal**

Con los resultados obtenidos en los cálculos según 4.2.2 y 4.2.4, obtenemos la tabla 4.3, que es un resumen de los movimientos donde las correcciones finales son la suma algebraica de las correcciones parciales tanto del plano vertical como del horizontal, señalando que

gatas para forzar la caja del cojinete hacia el centro del horno, si hay que mover las cajas de cojinete hacia fuera no se necesitan las gatas.

Es necesario el uso de comparadores para observar el movimiento de las cajas de cojinete al operar las gatas, estos movimientos es de solo unos pocos milímetros por vez (se recomienda que cada movimiento sea de 0.15 mm).

Se debe verificar la temperatura de las cajas de cojinete durante la operación para evitar la sobrecarga (como se muestra en la fig. 4.12) una vez completado los movimientos se deben de apretar los pernos que sostienen a la caja con su base así como los tornillos de ajuste.



**FIG. 4.12 Chequeo de temperaturas del cojinete**

#### 4.4 CONTROL DEL EMPUJE AXIAL

En principio, las roldanas de soporte deberían ser paralelas al eje del horno de manera tal que no habría reacción axial, en la práctica esto no es posible y las roldanas de soporte deben colocarse de tal manera que todas tengan una ligera tendencia a forzar el horno hacia arriba, originando una condición de “flotación” del horno.

La dirección de la fuerza puede controlarse visualmente examinando en que cojinete hay una holgura entre el anillo de presión y el collar de presión del casquillo (fig. 4.13), los ajustes deben realizarse durante la marcha normal del horno.

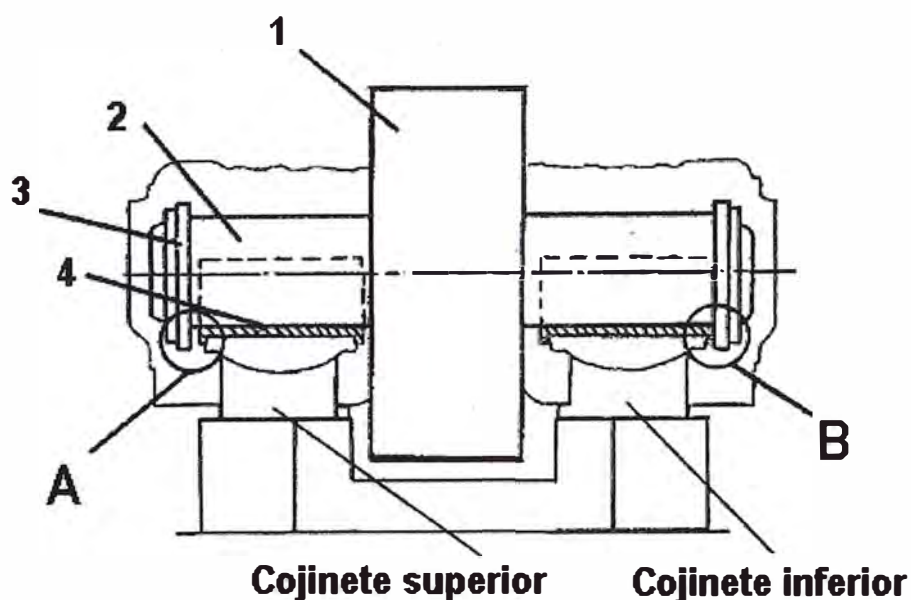


FIG. 4.13 Chequeo del juego axial del cojinete

- 1.- Roldana de soporte.
- 2.- Gorrón de la roldana de soporte.
- 3.- Anillo de presión.
- 4.- Casquillo.

A = Ningún contacto entre casquillo y anillo de presión.

B = Contacto entre casquillo y anillo de presión.

El contacto entre las roldanas de soporte y aros de rodamiento pueden ser controlado mediante una prueba con alambre de plomo, de un diámetro de 2-3 mm., el cual es colocado entre las superficies de contacto de ambos elementos mientras esté rotando el horno, entonces el alambre de plomo es aplastada por laminación.

#### **4.5 VIGILANCIA DESPUES DEL AJUSTE**

Después de cada ajuste hay que observar detenidamente cualquier efecto no previsto, particularmente la temperatura del cojinete así como las superficies de contacto entre la roldana de soporte y el aro de rodamiento.

Al ocurrir una carga muy alta se revela porque el cojinete se pone caliente y en este caso hay que tomar medidas inmediatas cambiando la posición de la roldana de soporte.

Lo primero es lograr colocar el cojinete en posición de flotación, es decir que haya holgura entre el casquillo y el anillo de presión del cojinete, una vez

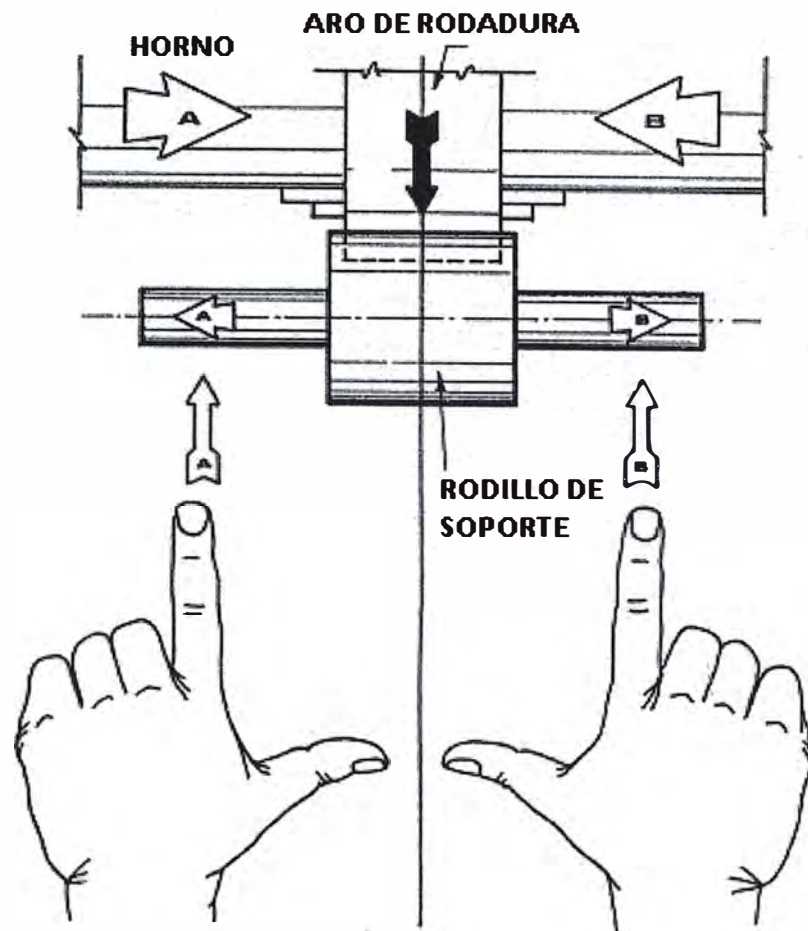
logrado, se dará el ajuste para que la roldana empuje en la dirección deseada, en aproximadamente 0.15 mm, esta oblicuidad garantiza que el empuje no sea más grande de lo necesario y la temperatura del cojinete debe normalizarse.

Debemos tener siempre presente el efecto de la oblicuidad de la roldana en el empuje del horno cuando se hacen trabajos de corrección, hay que decidir cuál de los dos cojinetes de la roldana de soporte debe ser movido, si es el cojinete superior o inferior depende del sentido de rotación del horno.

Para esto, podemos utilizar, entre otros, el método de la “regla de los pulgares”, los cuales podemos observarlos en los cuadros siguientes:

**Caso 1.-**

Si nos colocamos en el lado del horno donde el movimiento de rotación es hacia abajo, colocamos las manos con las palmas hacia abajo, extendemos los dedos índice y pulgar hacia afuera, el dedo índice indica el lado del rodamiento y la dirección del ajuste lo que causará el movimiento del horno hacia la dirección indicada por el pulgar de la misma mano (fig. 4.14).

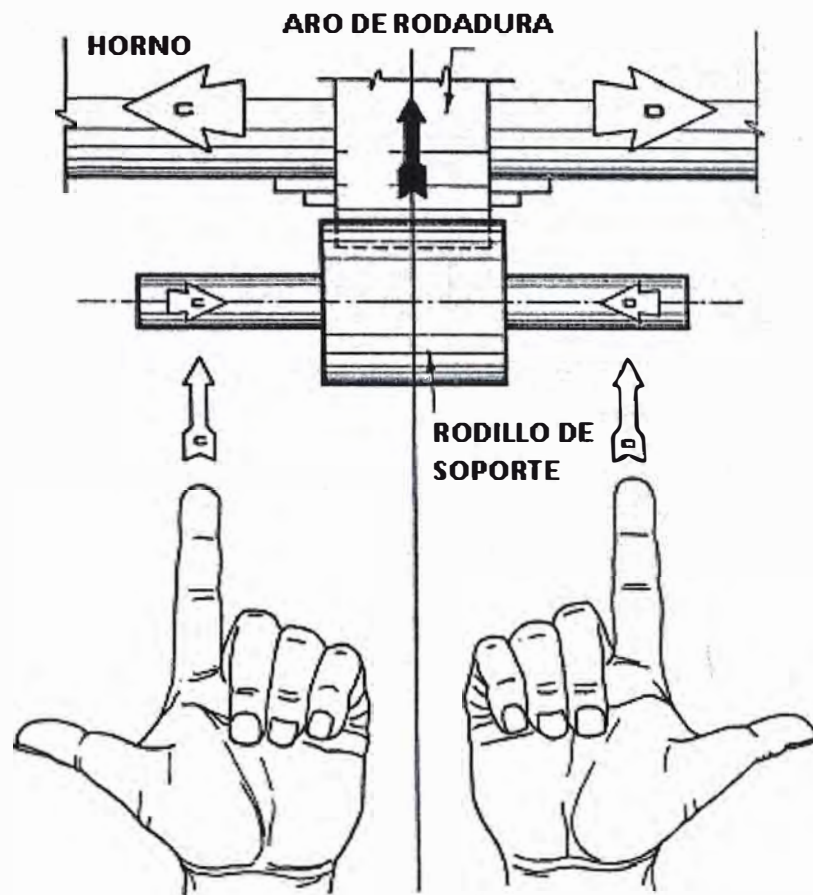


**FIG. 4.14 Rotación del horno es hacia abajo**

**Caso 2.-**

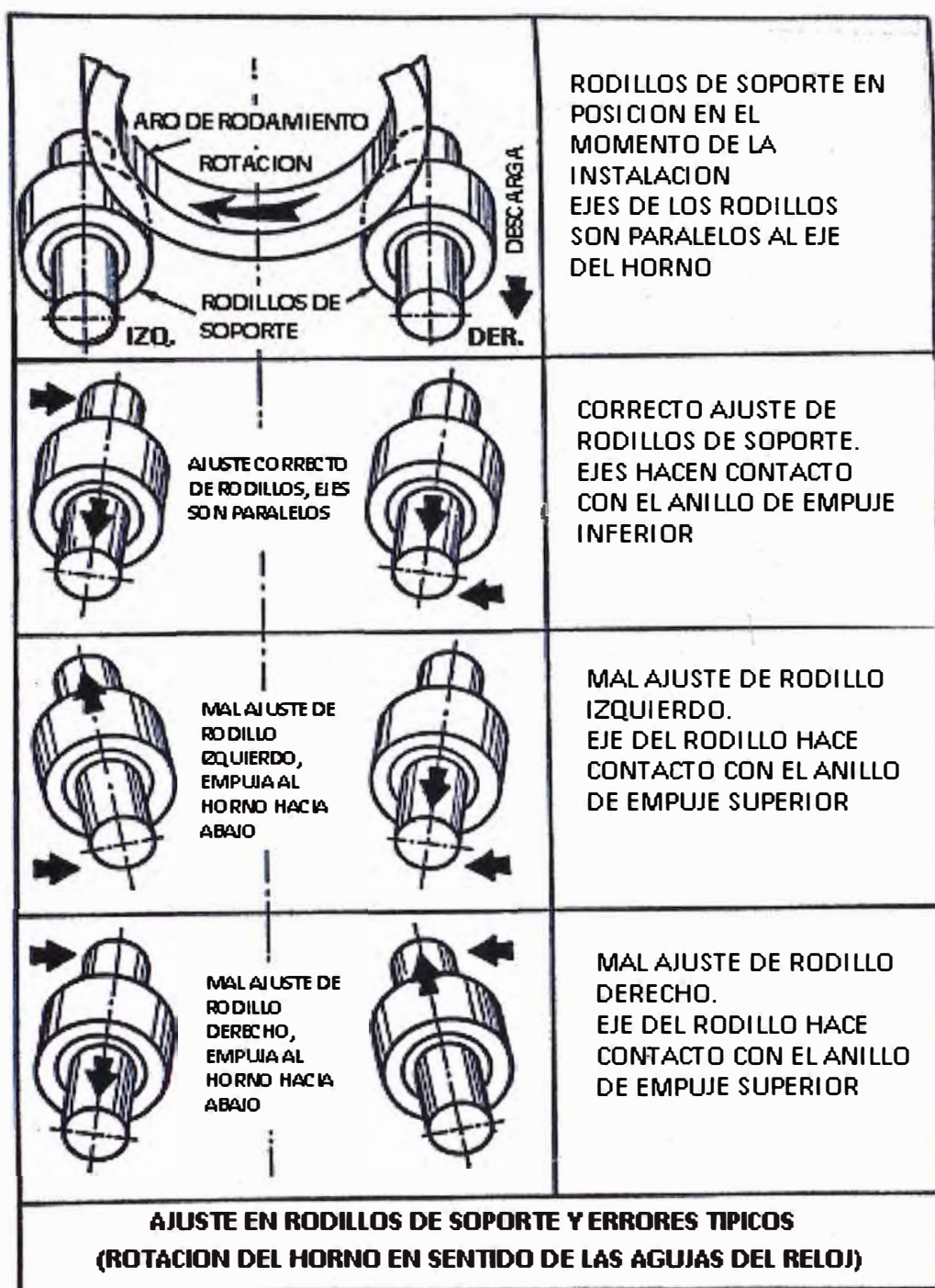
Si nos colocamos en el lado del horno donde el movimiento de rotación es hacia arriba, colocamos las manos con las palmas hacia arriba, extendemos los dedos índice y pulgar hacia afuera, el dedo índice indica el lado del rodamiento y la dirección del ajuste lo que causará el movimiento del horno hacia la dirección indicada por el pulgar de la misma mano (fig.4.15).





**FIG. 4.15 Rotación del horno es hacia arriba**

Debemos tener siempre presente que los rodillos deben empujar al horno hacia “arriba” es decir hacia la entrada de la alimentación, para esto se debe observar donde se encuentra la holgura entre el anillo de presión y el casquillo, tal como se detalla en la fig. 4.16.



**FIG. 4.16 Ajustes en rodillos de soporte y errores típicos**

Idealmente, todos los rodillos deberían compartir por igual la carga de empuje, cualquier desbalance podría ser manejado tal que los rodillos de la base cerca de la alimentación hagan la mayor parte del trabajo, esto es

análogo a “jalar” el horno hacia arriba desde la parte superior, si los rodillos de la base cerca de la descarga, que se encuentran muy calientes, realizan el mayor trabajo de empuje, podrían “arrugar” el Shell del horno. Todos los rodillos de soporte deberían ser ajustados de tal manera que estén entre 0.75mm de la posición neutral y la posición de empuje hacia arriba, para esto, debemos proceder como se indica:

- a) Encontrar la posición neutral de cada rodillo de soporte, esta es la posición donde un movimiento de 0.125mm en uno de los cojinetes puede causar un cambio de dirección en el empuje, es preferible tener a los rodillos cerca de la posición neutral y la posición de empuje ligeramente hacia arriba.
- b) Luego de localizar la posición neutral de empuje, ajuste un cojinete en 0.25mm (para empujar hacia arriba al horno), luego ajustar todos los rodillos 0.25mm, observar la operación del horno, adicionar un ajuste de 0.125mm (para empujar hacia arriba al horno), la llanta debe hacer contacto por momentos con el rodillo de guía inferior y ocasionalmente se separa de él y raramente alcanza al rodillo de guía superior.
- c) Los ajustes deben ser supervisados por una sola persona, quien debe mantener un libro de notas conteniendo todos los registros de ajuste del horno.

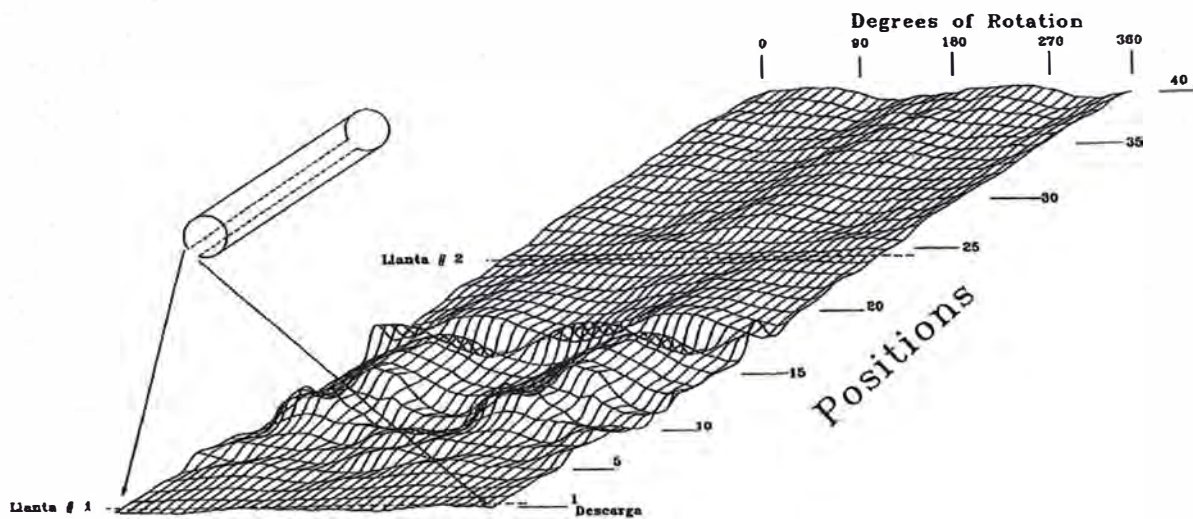
#### 4.6 ALINEACION LASER

Es también conocido como **Procedimiento directo** de alineamiento de hornos rotatorios, este ha sido desarrollado para poder llevar a cabo el alineamiento según el eje del horno, sin necesidad alguna de medición en los componentes de soporte del horno, o sea en los aros o en los rodillos de rodaduras, estando el horno en pleno funcionamiento, en estado caliente, tiene además la ventaja que las mediciones se realizan desde fuera, siendo una herramienta de mantenimiento preventivo que puede ser aplicado en cualquier momento.

Partiendo de la base de que el cilindro del horno es un objeto en rotación, cuyo movimiento no es del todo redondo, o sea que realiza movimientos planetarios, se trata de encontrar los centros de rotación en diferentes secciones del cilindro. Con este método se elige cuidadosamente tres posiciones medias de la envolvente del horno (mediante las lecturas de instrumentos laser, quienes se encuentran integrados a un software), los cuales nos pueden proporcionar el centro de rotación, el aspecto más importante consiste en que el alineamiento se efectúa con ayuda de las mediciones realizadas desde fuera sin que se disponga de más detalles sobre el estado de los soportes del horno.

De esta manera se obtienen los centros de rotación frente a los centros físicos de los aros de rodadura y de la envolvente del horno.

Mediante este método se encuentran la posición del eje del horno con respecto al plano vertical y horizontal y calcula los ajustes necesarios en cada base de apoyo para corregir el desalineamiento, además de medir el runout y la deformación del casco del horno, obteniendo datos que al ser graficados nos resulta el mapa topográfico del horno como se muestra en la fig. 4.17.



**FIG. 4.17 Mapa topográfico del casco del horno**

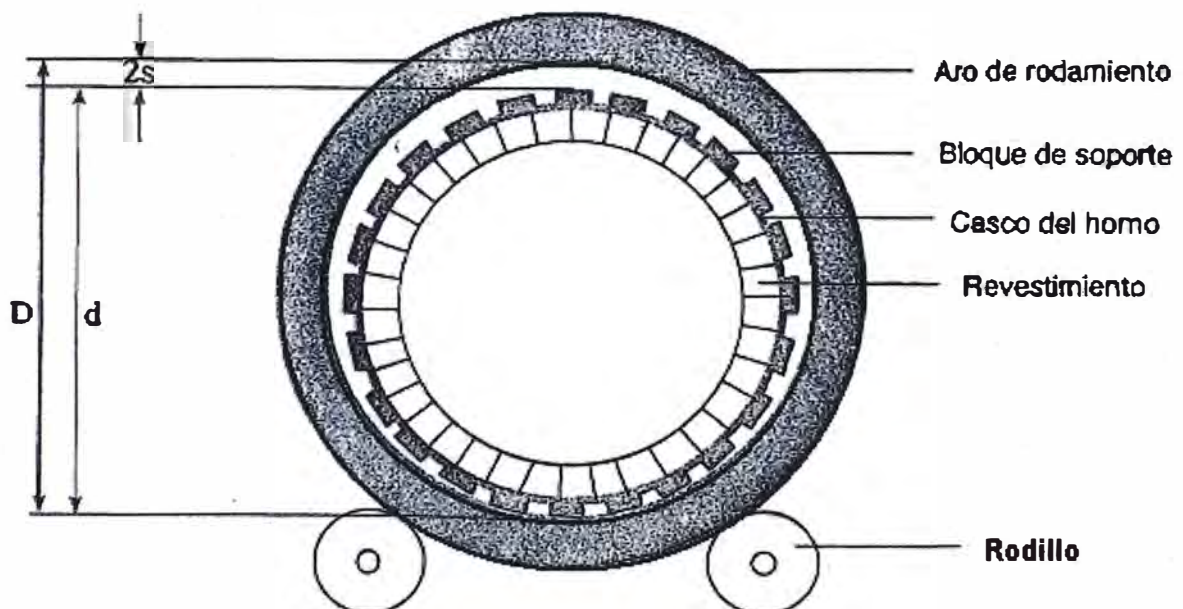
Con este procedimiento también medimos la ovalidad en todas las bases de apoyo, esto lo veremos cuando se toque en el próximo capítulo.

## CAPITULO V

### OVALIDAD

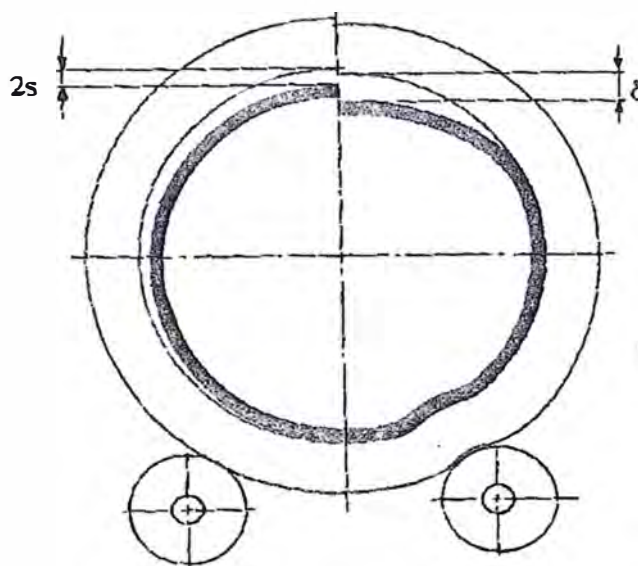
#### 5.1 CONSIDERACIONES TECNICAS

Puesto que el tubo del horno y el aro de rodamiento no quedan completamente rígidos, el peso de las piezas les dará cierta elasticidad tanto en el estado frío como en el caliente. La fig. 5.1 muestra un estado ideal del tubo del horno.



**FIG. 5.1 Estado ideal del casco del horno**

La mitad izquierda de la figura 5.2 muestra un tubo de horno y aro de rodamiento completamente rígido, mientras la mitad derecha de la figura, bastante exagerada, muestra que en la práctica las partes quedan expuestas a deformación elástica.



**FIG. 5.2 Comparación entre estado ideal y real del casco del horno**

La deformación es mayor bajo los aros de rodamiento, normalmente se refiere a la deformación como la ovalidad del horno.

La deformación elástica (ovalidad) “ $\omega_o$ ” del casco del horno puede expresarse como la diferencia entre los diámetros horizontal y vertical de un tubo del horno durante la deformación elástica (fig. 5.3), es decir:

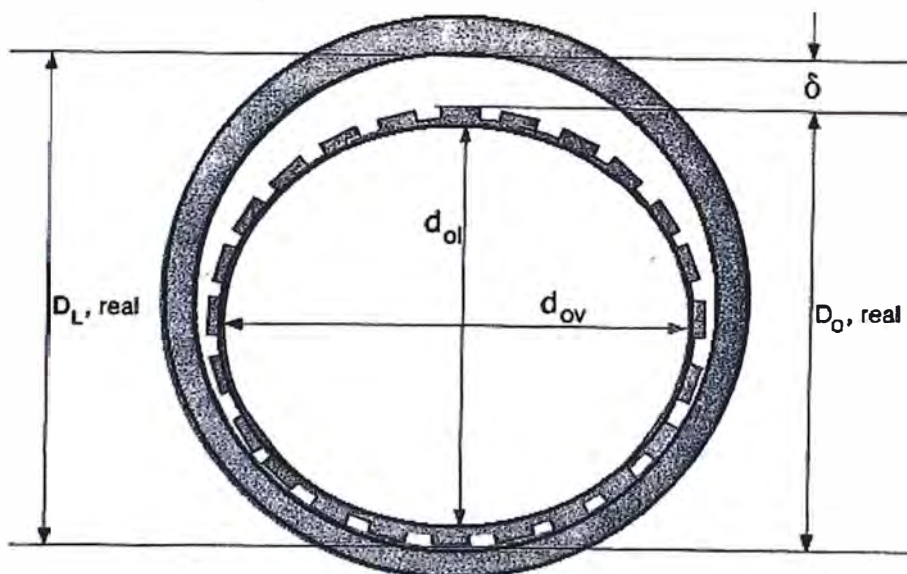
$$\omega_o = d_{ov} - d_{ol}$$

La ovalidad relativa “ $\omega_{or}$ ” del horno se expresa en por ciento y deriva de:

$$\omega_{or} = 100 \frac{d_{ov} - d_{ol}}{d_o} \%$$

Donde  $d_o$  es el diámetro nominal del horno.

A título de ejemplo los hornos FLS normalmente quedan diseñados para tener una ovalidad relativa de 0,3%, aproximadamente, durante marcha normal, lo que corresponde a un desplazamiento del aro de rodamiento de 10 mm, aproximadamente.



**FIG.5.3 Deformación elástica del casco del horno**



## **5.2 HOLGURA/DESPLAZAMIENTO DEL ARO DE RODAMIENTO**

Es importante mantener la holgura entre el tubo del horno y el aro de rodamiento dentro de ciertos valores establecidos de manera empírica.

Si la temperatura del tubo del horno se pone extremadamente elevada, de manera tal que hay una gran diferencia de temperatura entre el tubo del horno y el aro de rodamiento, la holgura entre los dos podrá resultar cero. Si la temperatura del casco aumenta todavía más, el casco en ambos lados del aro de rodamiento se extenderá más con el resultado de que se forme una deformación permanente denominada “constricción”.

El riesgo es mayor junto a los aros de rodamiento antes y después de la zona de cocción, por eso es importante comprobar el desplazamiento relativo entre el horno y los aros de rodamiento. En el caso de una deformación permanente del tubo del horno una diferencia de diámetro aumentada podrá causar problemas en cuanto al revestimiento y podrá resultar necesario reducir la holgura entre el aro de rodamiento y los bloques del aro de rodamiento insertando suplementos bajo los bloques.

Una verificación sencilla y precisa de la diferencia de diámetro actual durante la marcha del horno se realiza midiendo el desplazamiento del aro de rodamiento, es decir el movimiento relativo del horno en relación con los aros de rodamiento.

### 5.3 MEDICIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DEL ARO DE RODAMIENTO

Los soportes del horno están diseñados de forma que haya una diferencia de diámetro mínima entre el tubo del horno caliente y el aro de rodamiento. Por ejemplo, la diferencia es de 0 – 3 mm en un horno FLS.

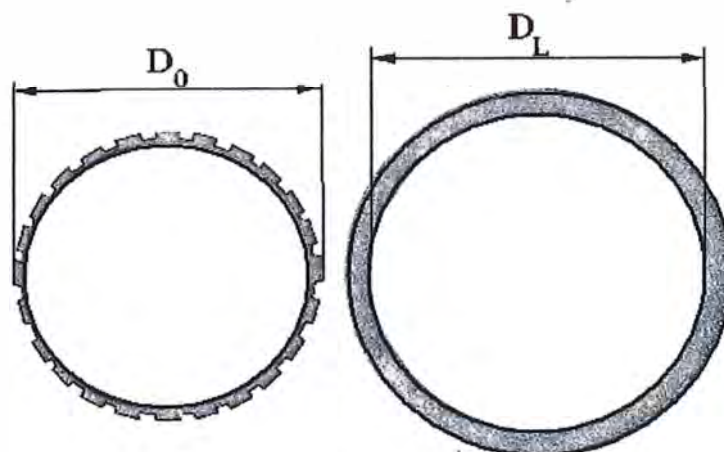
La diferencia de diámetro u holgura entre el casco del horno y el aro de rodamiento causa un movimiento relativo entre los dos componentes. La diferencia de diámetro teórica “2s” causa un movimiento relativo que es:

$$V = \pi (Dl - D_o)$$

$$2s = (Dl - D_o)$$

$$V = \pi \cdot 2s$$

Como queda mostrado en la figura 5.4:



**FIG. 5.4 Diferencia de diámetros entre el casco y el aro de rodadura**

Como regla general este movimiento relativo “V” entre el casco del horno deformado y el aro de rodamiento será una y media hasta dos veces la holgura de cima “ $\delta$ ”. Una y media para hornos largos ( $D_o > 4m$ ) y dos veces para pequeños hornos ( $D_o < 4m$ ).

No es posible medir la diferencia de diámetro en un horno caliente, pero como el desplazamiento del aro de rodamiento es una función de la diferencia de diámetro, la misma puede ser verificada indirectamente verificando el desplazamiento del aro de rodamiento.

La manera más sencilla de medir el desplazamiento del aro de rodamiento es trazar marcas correspondientes en el aro de rodamiento y tubo del horno. Una vez que el horno haya realizado por ejemplo 10 revoluciones, medir el desplazamiento entre las marcas, después de lo cual fácilmente se puede calcular el desplazamiento medio.

Se puede encontrar la holgura “ $\delta$ ” por dividir “V” por 1,5 a 2, es decir:

$$\delta = \frac{V}{1,5 \text{ a } 2}$$

La división del desplazamiento medio “V” por “ $\pi$ ” resulta en:

$$\frac{V}{\pi} = 2s$$

Es decir la holgura teórica para el tubo del horno circular/aro de rodamiento.

Terminología y símbolos:

- s      Holgura radial teórica.
- 2s     Holgura de cima/diferencia de diámetro teóricas.
- V      Movimiento relativo entre el tubo del horno y el aro de rodamiento por revolución (desplazamiento del aro de rodamiento).
- $\delta$      Holgura de cima actual con horno caliente.
- $\omega_o$     Ovalidad absoluta del tubo del horno.
- $\omega_{or}$     Ovalidad relativa del tubo del horno.
- DL     Diámetro interior del aro rodamiento medido en el plano vertical.
- Do     Diámetro exterior del horno medido en el casco del horno o bloques de soporte en el plano vertical.
- dol    Diámetro interior real del horno medido en el plano vertical.
- dov    Diámetro real del horno medido en el plano horizontal.

#### **5.4 INTERPRETACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO**

Una ovalidad relativa correspondiente a un desplazamiento del aro de rodamiento de 10-15 mm no tendrá ningún efecto dañino en el revestimiento del horno. Sin embargo, si el desplazamiento del aro de rodamiento excediera alrededor de 20 mm, esto indica que la ovalidad del casco del horno ha alcanzado un tamaño que muy probablemente contribuya a una reducción de la vida del revestimiento.

Tal aumento en la ovalidad también aumentará los esfuerzos en el casco del horno y soldaduras, lo cual a su vez puede contribuir a la formación de grietas. Por consiguiente, se recomienda que la medición del desplazamiento del aro de rodamiento y de las temperaturas relacionadas en la superficie de los aros de rodamiento y en el casco del horno en ambos lados de los aros de rodamiento forme una parte integral del programa normal de mantenimiento preventivo.

Normalmente un aumento en el desplazamiento del aro de rodamiento es causado por:

- Desgaste en los bloques de soporte y, donde estos no existen, en el casco del horno mismo, causado por lubricación ineficaz entre el aro de rodamiento y los bloques del aro de rodamiento, lo cual por ejemplo puede ser el caso cuando es muy sucio el ambiente del aro de rodamiento, para asegurar una lubricación eficaz es necesario usar el lubricante correcto, el método de lubricación correcto y la frecuencia de lubricación correcta.
- Constricción como queda descrita antes en el presente módulo.

## **5.5 REDUCCIÓN DEL DESPLAZAMIENTO**

Si el horno tiene constricción puede resultar imposible hacer un buen trabajo de revestimiento lo cual, a su vez, puede resultar en una vida inaceptable corta del revestimiento. En tal situación se debe sustituir la virola en cuestión.

En el caso de que aumente el desplazamiento del aro de rodamiento debido al desgaste hasta tal punto que los valores de esfuerzos de ovalidad y flexión se

aproximan a un nivel inaceptable, se debe tomar acción correctiva para reducir la ovalidad para evitar una gran avería.

Se reduce la holgura entre los bloques de soporte y el aro de rodamiento insertando suplementos entre los bloques de soporte y el casco del horno.

El espesor medio “t” de tales suplementos se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula, donde “V” es el desplazamiento del aro de rodamiento:

$$t = (V - 10) / 2\pi$$

(t y V en mm)

Por insertar suplementos con un espesor medio de “t” mm, se reducirá el desplazamiento del aro de rodamiento a 10 mm por revolución del horno.

Antes de decidir el espesor de los suplementos a ser insertados bajo los bloques de soporte el aro de rodamiento, se debe realizar el siguiente programa de medición:

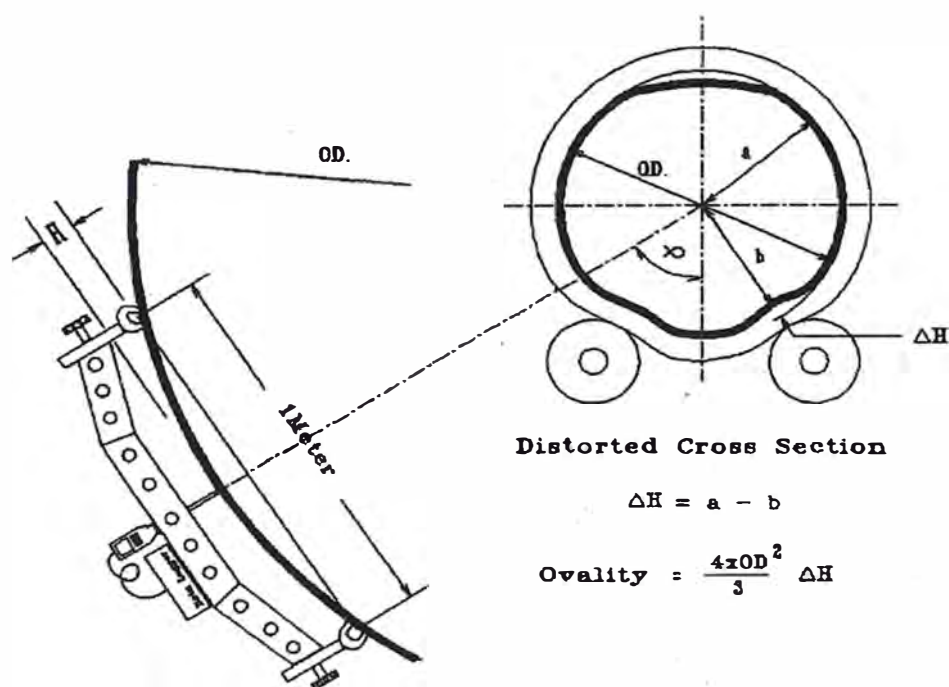
- Desplazamiento del aro de rodamiento.
- Temperatura en la superficie del aro de rodamiento.
- Temperatura en el casco del horno en el lado de entrada y en el lado de salida del aro de rodamiento.

Estas mediciones deben realizarse por lo menos dos veces cada 24 horas durante un período de 2-3 semanas. Además se debe evaluar el estado del revestimiento y la estabilidad de la costra en el área del horno en cuestión.

## 5.6 MEDICIÓN DE OVALIDAD LASER

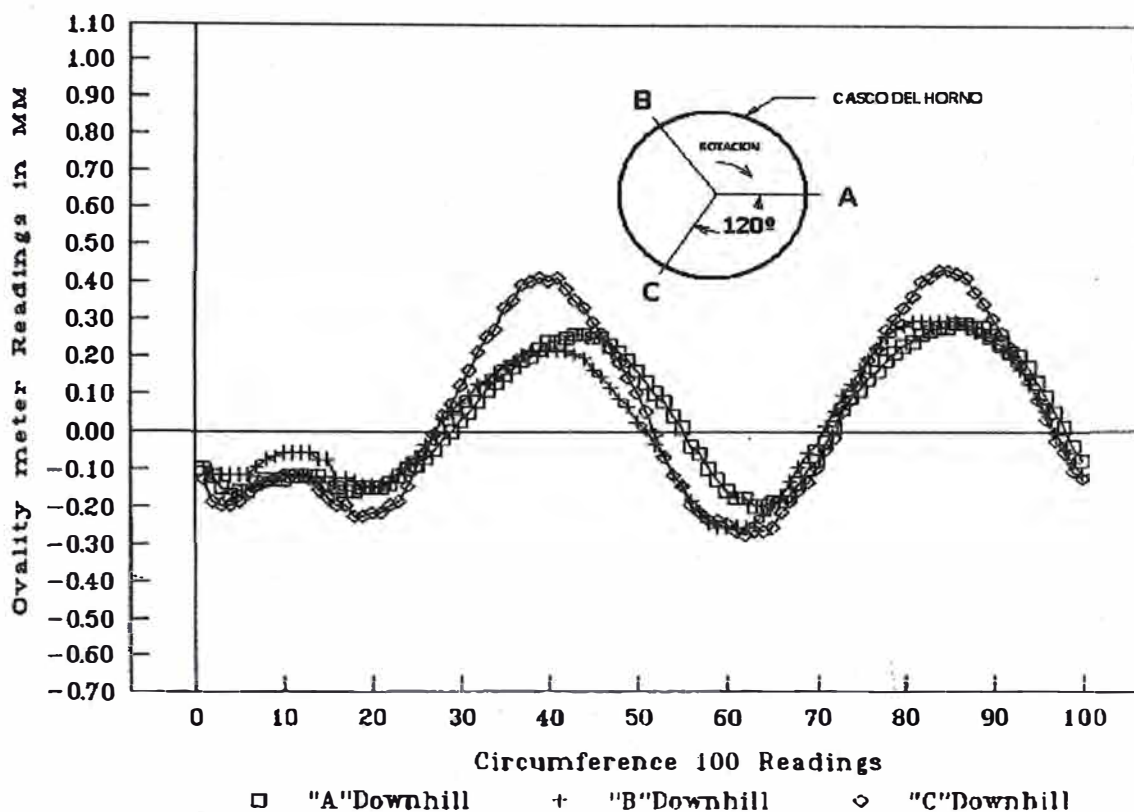
La principal razón para medir la ovalidad es la de maximizar la vida de los refractarios, cuando la flexión del horno llega a ser excesiva, el refractario empieza a romperse y requerirá un reemplazo prematuro.

La medida de ovalidad se toman en 3 posiciones a lo largo de la circunferencia del horno (cada 120 grados), en ambos lados de las llantas, estas medidas se toman con un brazo digital de ovalidad (como se muestra en la figura 5.5), grabando 600 lecturas de la deflexión por llanta.



**FIG. 5.5 Brazo digital laser de ovalidad**

De acuerdo a las lecturas tomadas se obtiene un gráfico de la ovalidad (fig. 5.6).

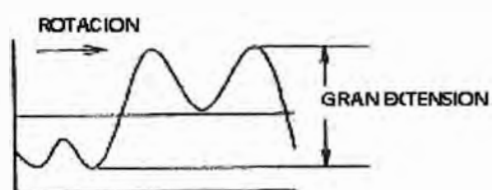
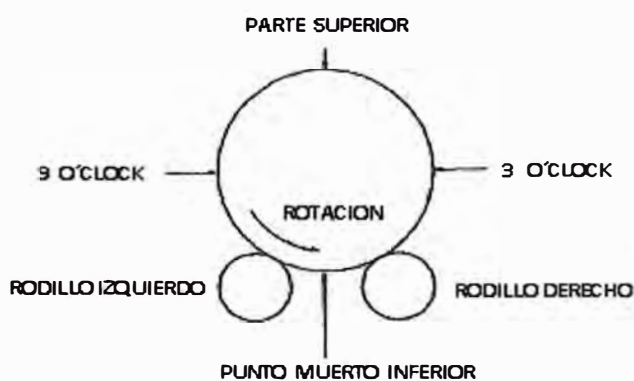
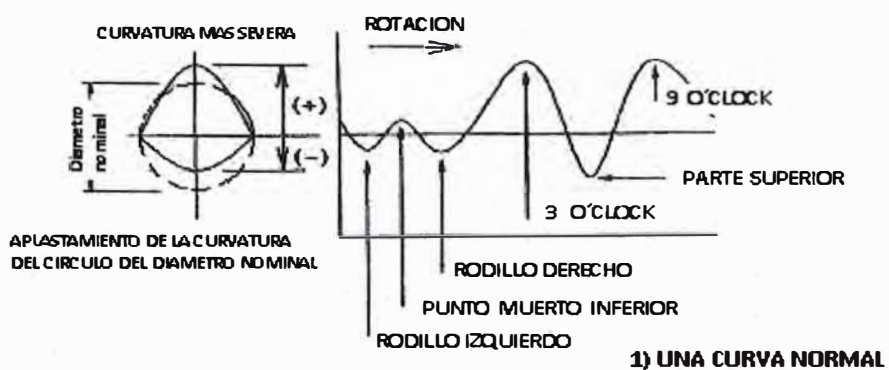


**FIG. 5.6 Gráfico de ovalidad**

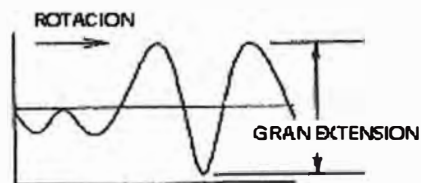
## 5.7 INTERPRETACIÓN DE LAS CURVAS DE OVALIDAD

La ovalidad se expresa como un porcentaje del diámetro interior del horno, las curvas que se muestran (fig. 5.7) nos ayudan a leer estas características, los límites de ovalidad han sido empíricamente establecidas por la industria de refractarios, la máxima ovalidad permisible para un horno de diámetro interior de 3.15 m (que es el de nuestro caso) está entre 0.28% a 0.41%, el "SLIP" (desplazamiento relativo del aro de rodadura) máximo aproximado de la llanta es de 25 mm por revolución.

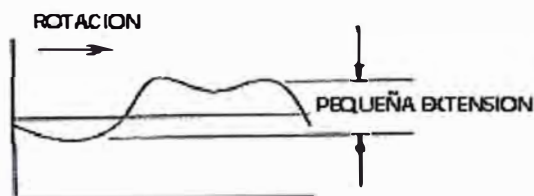




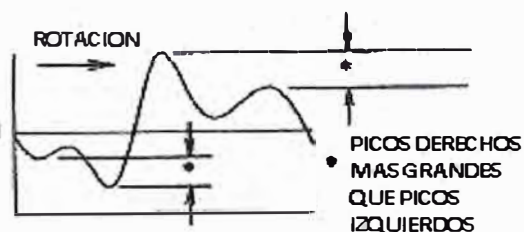
**2) BASE FUERTEMENTE CARGADA O LLANTA SUBDIMENSIONADA**



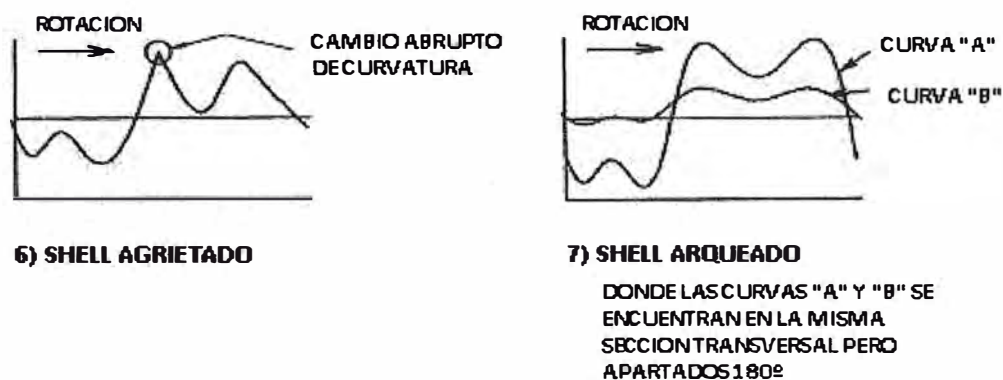
**3) EXCESIVA LUZ LLANTA/SHELL**



**4) BASE MUY POCO CARGADA  
BASES ADYACENTES PROBABLEMENTE SOBRECARGADAS**



**5) BASES ADYACENTES MAS CARGADAS EN LADO IZQUIERDO**



**FIG. 5.7 Interpretación de las curvas de ovalidad**

## 5.8 LUBRICACIÓN DEL ARO DE RODAMIENTO

Para el mantenimiento de los aros de rodamiento, la elección del método correcto de lubricación es de suma importancia en los siguientes lugares:

- Las superficies de contacto entre el aro de rodamiento y los bloques de soporte o el casco del horno.
- Las superficies de contacto entre el aro de rodamiento y las guías laterales.

Los siguientes lubricantes son apropiados para el propósito:

**Tabla 5.1 Lubricantes para el aro de rodamiento**

<b>Fabricante</b>	<b>Producto</b>
Chesteron	Nickel Anti-Seize Compound
Klüber Lubrication	Grafloscon SY-20
Molub-Alloy	491-C
Never-Seez Comp. Corp.	Never-Seez
Paul Products Ltd.	PBC
Reiner Chemische Fabrik	Ceplattyn HT

La lubricación debe efectuarse mediante una bomba y aplicado una o dos veces por mes.

## **CAPITULO VI**

### **INSPECCION DEL HORNO**

#### **6.1 CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA INSPECCIÓN**

Los componentes que deben ser inspeccionados durante la marcha normal del horno son como sigue:

- Roldanas de soporte y cojinetes.
- Aros de rodamiento.
- Rodillos de guía.
- Estación motriz incluyendo dispositivo de giro lento.
- Casco del horno.
- Sellos de entrada y salida del horno.

Durante una parada del horno se pueden realizar las siguientes inspecciones:

- Inclinación de las roldanas de soporte.
- Inspección del piñón y corona dentada para la estación motriz.
- Inspección del montaje de la corona dentada.
- Inspección de la construcción interior en el enfriador y horno, en caso relevante (junto con el departamento de producción).
- Estación motriz.

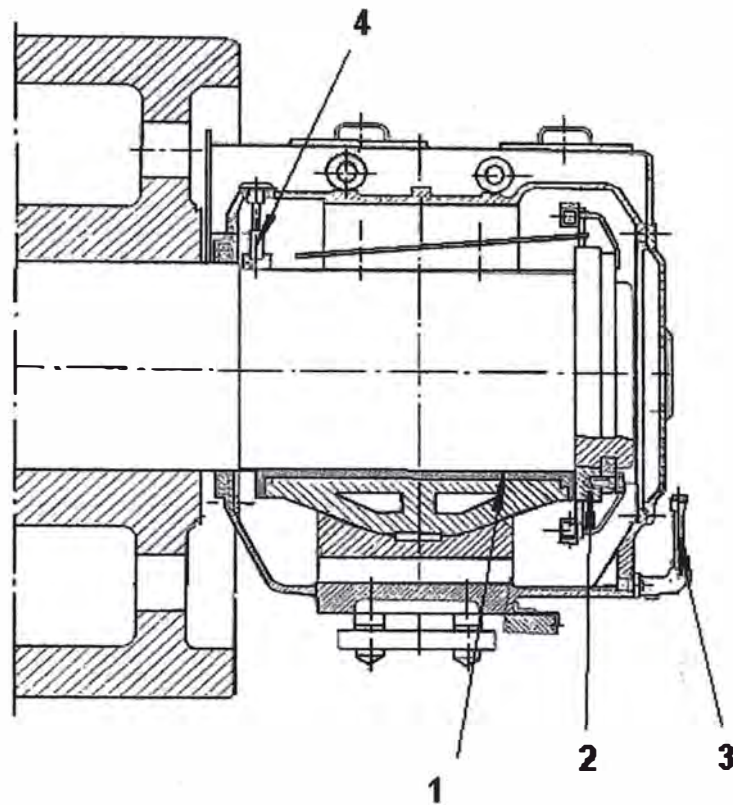
- Casco del horno, detección de grietas.

Todas las observaciones hechas deben ser registradas cada vez que se haya realizado una inspección para que se pueda comparar las observaciones y descubrir cualquier comienzo de un desarrollo. La inspección comprende:

#### **6.1.1 Roldana de soporte y cojinete**

- Comprobación de la lubricación de grafito.
- Estado de la pista de rodadura, como: picaduras, facetas, escamaciones, desgaste y otros.
- Temperatura de la pista de rodadura.
- Verificar la dirección de la reacción entre la roldana de soporte y el aro de rodamiento (contacto/ningún contacto entre el anillo de presión (2) y el casquillo de cojinete (1), ver figura 6.1.
- Distribución del aceite por la superficie del gorrón del lado donde sale el gorrón del casquillo.
- Nivel de aceite (3).
- Rascador de aceite (4) donde sea relevante.
- Suministro de agua de refrigeración.

También es esencial comprobar la limpieza general en torno de las roldanas de soporte, no se realizará una buena inspección si no se mantiene limpio y libre de derrames de aceite y el inspector no podrá realizar su tarea de la manera correcta si no puede andar libremente.



**FIG. 6.1 Verificación del cojinete**

### 6.1.2 Aro de rodamiento

- Estado de la pista de rodadura; picaduras, facetas, escamaciones, desgaste, otros.
- Desplazamiento del aro de rodamiento (el movimiento relativo entre el aro de rodamiento y el horno).
- Posición del aro de rodamiento en relación con los anillos de apriete.
- Estado de los bloques de soporte.
- Lubricación entre los aros de rodamiento y los bloques de soporte/horno.

### 6.1.3 Estación motriz (corona – piñón)

Los siguientes requisitos básicos tienen que ser verificados por mantenimiento:

- Engranado correcto de los dientes (backlash, runout, alineamiento).
- Carga normal de los engranes (ninguna vibración alta, cargas de choque, torques de arranque).
- Lubricación adecuada (cantidad, calidad, limpieza).
- Buena condición general del equipo (limpieza, ningún defecto o daño, buen apriete, seguridad).

#### 6.1.3.1 Mantenimiento programado

Cartillas básicas para el programa de mantenimiento preventivo:

**Tabla 6.1 Mantenimiento mecánico de engranajes**

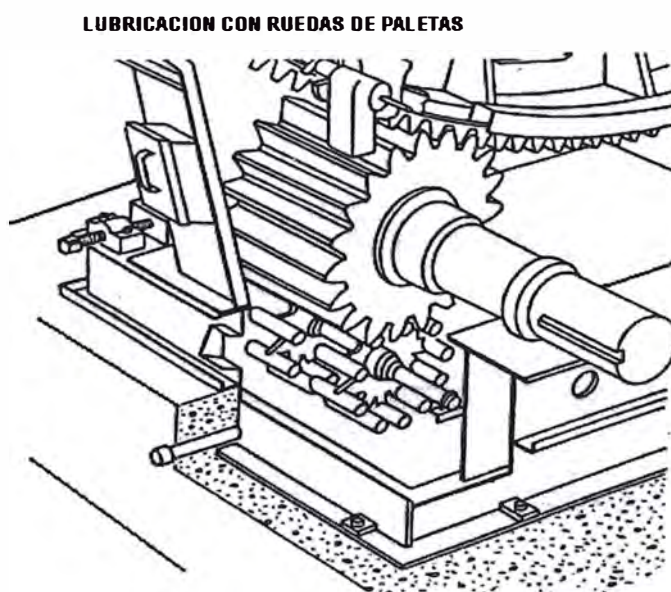
<b>Frecuencia</b>	<b>Acción</b>
Diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar visualmente el contacto de los dientes durante la operación</li> <li>• Revisión de vibración, fugas, ruido</li> </ul>
Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir la temperatura del flanco del diente durante la operación (con pirómetro)</li> <li>• Revisión del sellado de las puertas</li> </ul>
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de las velocidades de vibración</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección de los flancos de los dientes visualmente en cuatro posiciones</li> </ul>
Semestral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición del contacto de los dientes y del juego en cuatro posiciones</li> <li>• Revisar las guardas de que no haya partes sueltas y que estén en posición correcta</li> </ul>
Anual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de la vibración (análisis de frecuencia)</li> <li>• Medición del contacto, juego y perfil del diente en ocho posiciones</li> <li>• Medición de niveles de fundamento</li> <li>• Medición de la alineación de acoples</li> <li>• Inspección del anillo de la corona y el montaje</li> <li>• Revisión del apriete de montaje del piñón</li> <li>• Revisión de los sellos de la guarda</li> <li>• Revisión del apriete de todos los pernos de bridas, juntas, bases</li> </ul>



**Tabla 6.2 Mantenimiento de un sistema de lubricación por ruedas de paletas**

Frecuencia	Acción
Diaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión del nivel de lubricante</li> <li>• Inspección visual del estado de lubricante con los engranes en operación</li> </ul>
Semanal	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar que no haya fugas</li> </ul>
Mensual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección visual del lubricante tomando una pequeña muestra del cárter</li> <li>• Inspección visual de la rueda de paletas en operación</li> </ul>
Semestral	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar una muestra de lubricante para análisis</li> </ul>
Anual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambiar el lubricante y limpiar el depósito</li> <li>• Inspeccionar la rueda de paletas y los soportes</li> </ul>

**FIG. 6.2 Lubricación con ruedas de paletas**

### 6.1.3.2 Verificación del contacto de dientes

- Inspecciones visuales con una luz estroboscópica, en la cual:  
Frecuencia de la luz= Frecuencia de los dientes= RPM x N° de dientes.

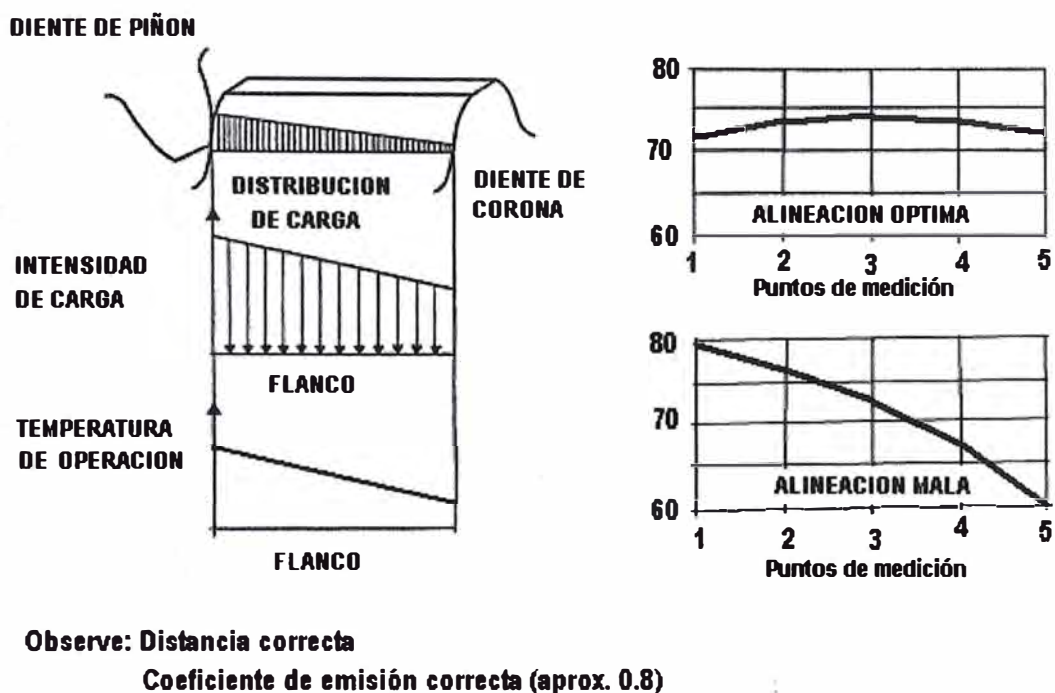
Con lo cual ajustando la frecuencia de la luz con la frecuencia de los dientes, se evalúa la imagen detenida con respecto a:

- Distribución de lubricante.
  - Áreas brillosas y opacas.
  - Manchas oscuras debido a picaduras o daños.
- 
- Evaluación visual de la superficie del flanco del diente, para lo cual tienen que limpiarse completamente los dientes para observar por ej., rugosidades, marcas de maquinado, efectos, manchas por alta presión.

Esta revisión debe realizarse completamente cuando se programe la parada de horno para su mantenimiento anual.

- Medición de la temperatura de la superficie del flanco con ayuda de un termómetro infrarrojo o con pirómetro.

Las desviaciones del perfil normal indican irregularidades así como también lo indican diferencias grandes en la temperatura (10 a 20°C) a lo ancho del diente. Es aconsejable una evaluación mensual (fig. 6.3).



**FIG. 6.3 Verificación de la alineación por temperatura del flanco del diente**

- Impresiones visuales, aplicando una capa de “azul de Prusia” a la superficie de contacto del diente del piñón (limpio), al engranarse con carga el color se transfiere a lo largo del contacto del flanco del diente en los engranes.

Con una cinta adhesiva transparente se pueden obtener los trazos del flanco, esta cinta se pega sobre un papel blanco. La impresión de contacto se debe realizar una vez al año y deben revisarse de 4 a 8 dientes distribuidos alrededor de los engranes.

- Laca de prueba para engranes, aplicando una laca de color a prueba de aceite se aplica a la superficie de contacto de los dientes limpios

del piñón y corona, después de girar el mando, desaparece la laca y las áreas de contacto aparecen.

- Prueba con alambre de plomo, se coloca un alambre de plomo suave (2 a 3 mm de espesor) entre la corona y el piñón, el alambre se aplana según la carga.
- Impresión con silicón, se cubre la superficie del diente con una capa de silicón líquido, la estructura de la superficie se reproduce en detalle.

#### 6.1.3.3 Alineación de engranes

- Medición del nivel de los fundamentos, los niveles deben revisarse anualmente a fin de detectar cualquier movimiento.
- Alineación de la corona, se miden en la corona la alineación axial y la radial, estas mediciones tienen que estar dentro de los límites dados (ver figs. 6.4 y 6.5).

### MEDICION DE LA ALINEACION AXIAL DE CORONAS

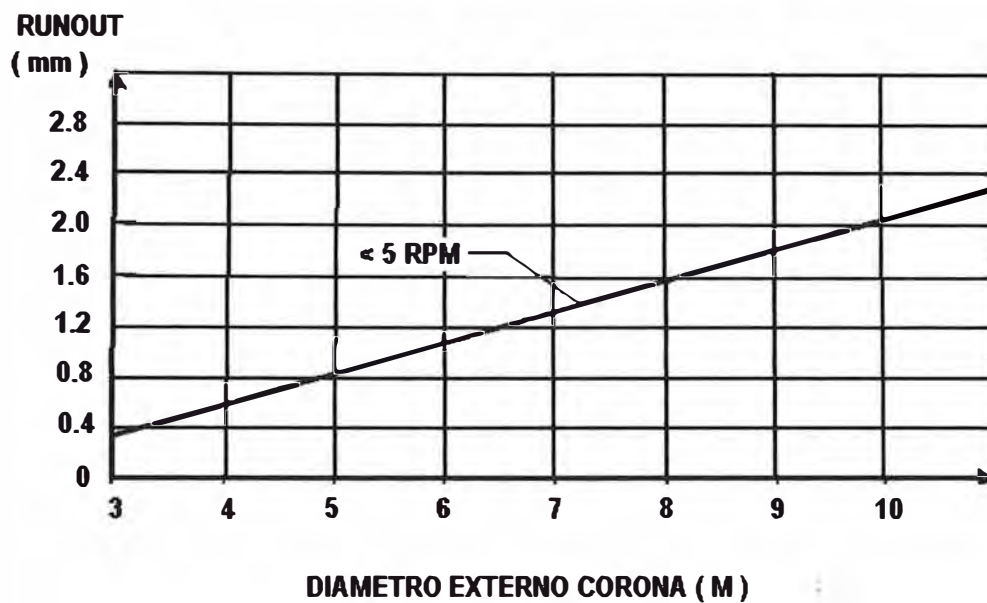


Fig. 6.4 Runout axial para coronas

### MEDICION DE LA ALINEACION RADIAL DE CORONAS

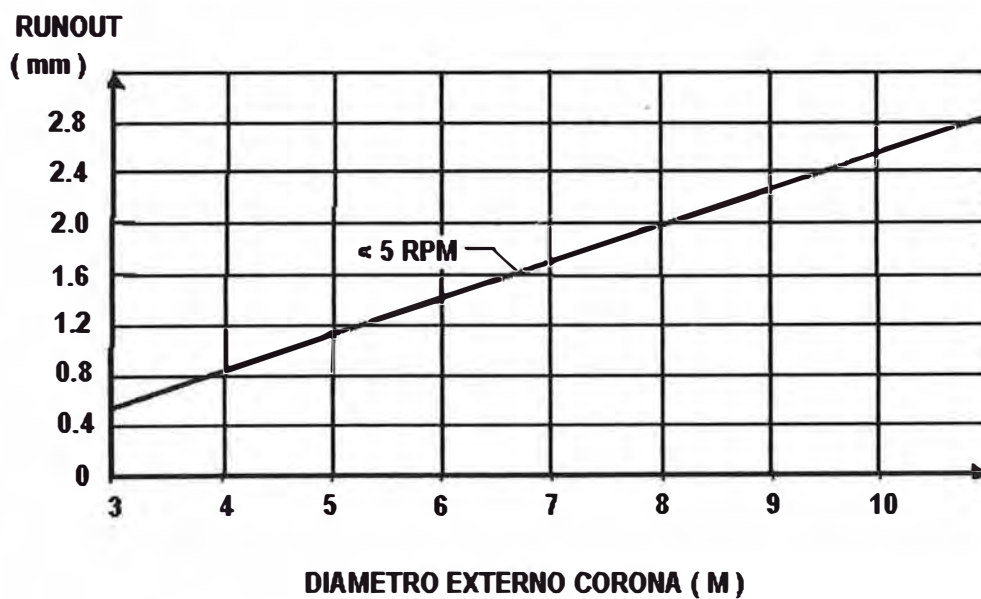
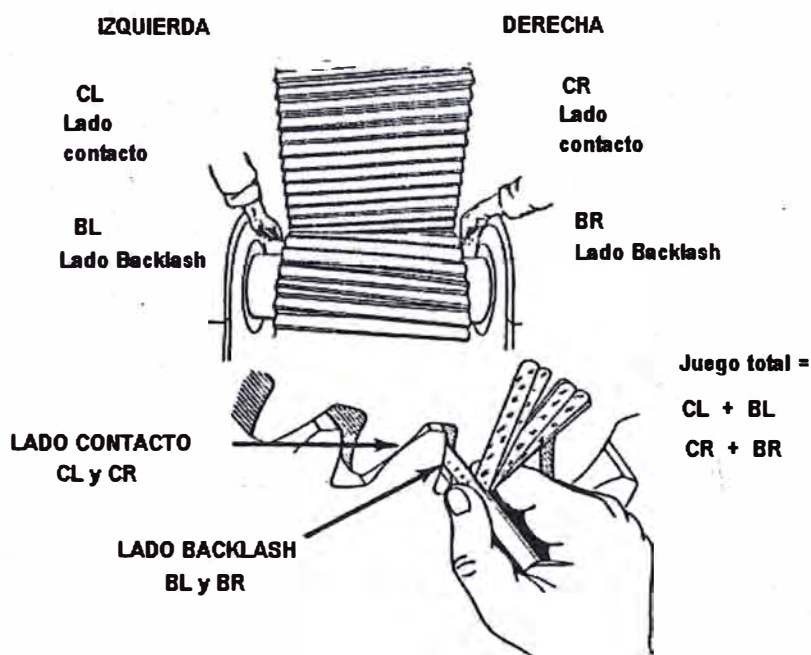


Fig. 6.5 Runout radial para coronas

- Claro entre dientes, juego entre dientes (fig. 6.6).



**Fig. 6.6 Medición del backlash**

Se necesitan medir los claros en 4 a 8 puntos equidistantes alrededor de los engranes, la medición más pequeña tiene que tomarse como referencia, se hacen los ajustes levantando o moviendo las chumaceras de la flecha del piñón. Después de cualquier ajuste, deberán apretarse los pernos de las chumaceras y revisarse nuevamente los claros.

**Tabla 6.3 Backlash (en mm.) recomendado para hornos**

<b>MODULO (mm)</b>	<b>DISTANCIA ENTRE CENTROS 2 – 4 m</b>
20 – 25	3.68 – 3.95 mm.
25 – 30	3.56 – 3.81 mm.
30 - 60	3.43 – 3.68 mm.

- Verificación del contacto del diente.

Los ajustes se hacen levantando o enlainando cuidadosamente los rodamientos del piñón.

- Alineación del tren de mando.

Después de que se ha finalizado los ajustes del piñón, deberá alinearse el resto del equipo de accionamiento:

- Cople, flecha del piñón / flecha de mando.
- Cople, flecha de mando / reductor.
- Cople, reductor / motor principal.
- Cople, reductor / reductor auxiliar.
- Cople, reductor auxiliar / motor auxiliar.

#### **6.1.4 Rodillos de guía**

- Control de la lubricación de grafito.
- Estado de la cara de contacto.
- Nivel de aceite.

- Sistema hidráulico donde sea relevante (presión, fugas, nivel en recipiente).

#### **6.1.5 Casco del horno**

Los siguientes cordones de soldadura deben ser examinados en cuanto a grietas de fatiga:

- El cordón circunferencial entre la virola del cojinete del horno y la virola de transición y entre la virola de transición y la virola adyacente.
- Las soldaduras en el marco de refuerzo del orificio de inspección.

#### **6.1.6 Sellos en los extremos de entrada y salida**

Existen varios diseños diferentes de los dispositivos de sellos entre el horno rotatorio y la cámara de gases de humos estacionaria. En los programas de inspección, sin embargo, hay semejanzas como siguen:

- Comprobar el contacto entre las partes rotatorias y estacionarias.
- Verificar el movimiento libre.
- Inspeccionar las piezas de desgaste.
- Lubricación.
- Sistema neumático (en caso relevante).
- Sistema de enfriamiento del sello (en caso relevante).

#### **6.1.7 Inspecciones que pueden ser realizadas durante una parada del horno**



- Medición de la inclinación de las roldanas de soporte.
- Inspección de los dientes y montaje de la corona dentada para estación motriz.
- Inspección del interior del horno y enfriador (donde sea relevante).
- El interior del horno debe ser inspeccionado junto con el departamento de producción puede decidir si el interior hace frente a las demandas a la producción mientras el departamento de mantenimiento puede evaluar el estado mecánico actual.
- Detección de grietas.
- Solo es posible realizar una detección detenida de grietas durante una parada planificada. Hasta cierto grado la frecuencia de la inspección periódica de los cordones de soldadura debe depender del estado de marcha del horno. En los casos de estado de marcha normal parece apropiado un intervalo de dos años.
- Si el horno lleva más de cinco años en marcha, sin embargo, se recomienda que se realice una inspección visual de los cordones de soldadura una vez al año. En el caso de que una marcha no regular haya aumentado la carga de esfuerzos en los cordones de soldadura, se debe realizar una inspección adicional de los cordones de soldadura que han estado expuestos a esfuerzos excepcionalmente severos. Todas las reparaciones por soldadura deben ser verificadas después de 6 meses de marcha.

## 6.2 MÉTODOS DE INSPECCIÓN

### **6.2.1 Inspección visual**

La inspección visual de las soldaduras del horno constituye la manera de inspección más simple y, al mismo tiempo, más importante en lo que se refiere al estado de las soldaduras.

En conexión con la inspección visual se debe realizar una verificación inicial sin quitar la herrumbre y suciedad de los cordones de soldadura, ya que bastante frecuentemente es más fácil identificar una formación posible de grieta con un cordón de soldadura no limpiado. Una vez realizada esta inspección inicial, se limpia detenidamente la superficie del cordón de soldadura mediante un martillo y un cepillo de alambre, y también puede resultar necesario hacer repaso de la soldadura con muela abrasiva.

Hay que recordar que muchas “irregularidades” en la soldadura pueden parecerse a grietas. Se recomienda que también se efectúe una prueba con líquido penetrante de los cordones de soldadura limpiados o, todavía mejor, que se realice un ensayo magnetoscópico.

### **6.2.2 Prueba con líquido penetrante**

El líquido penetrante es un líquido de color fuerte (rojo) que, al ser aplicado a una superficie metálica, penetra en las posibles grietas y, por medio de un “revelador”, la evidencia de las grietas es incrementada.

Procedimiento:

- a) Quitar la grasa, polvo y escamas de la superficie, aplicar el líquido limpiador hasta obtener una superficie completamente limpia.
- b) Aplicar el líquido penetrante mediante pintura o spray al área limpiada, en una capa uniforme.
- c) El líquido penetrante requiere algún tiempo para penetrar en las posibles grietas. 10 minutos bastarán a temperaturas de 0-60°C.
- d) Quitar detenidamente cualquier líquido penetrante en exceso, usando el líquido limpiador, no quitar nunca el líquido penetrante mediante un chorro de agua, siempre usar un trapo.
- e) Esperar hasta que quede seca la superficie y después aplicar una capa delgada del revelador, que es un polvo blanco muy absorbente, suspendido en un disolvente volátil.
- f) Una vez evaporado el disolvente, las posibles grietas saltan más a la vista en forma de líneas rojas sobre un fondo blanco.

### **6.3 ASPECTOS DE SEGURIDAD**

Al realizarse la inspección alrededor del horno es de suma importancia que el personal que realiza la inspección tenga mucho cuidado de evitar ponerse en contacto con cualquiera de las partes móviles o calientes del horno.

Sólo las personas con la autorización apropiada deben tener permiso de realizar la inspección y tener permiso de quitar cualquier pantalla y protección para permitir que se efectúe la inspección. Y deben tener la responsabilidad de colocar nuevamente cualquier pantalla o protección que se haya movido.

El personal debe llevar equipo de seguridad personal como por ejemplo casco, zapatos y ropa que sean cómodos. Se deben evitar vestidos holgados o pañuelos porque estos pueden ser captados por la maquinaria móvil causando daños fatales.

No sólo el personal sino también la maquinaria deben ser protegidos contra daños durante la inspección.

Al quitarse una tapa para orificio de inspección esto debe hacerse de manera tal que no entra polvo ni impurezas en la máquina. Por ejemplo causaría mucho daño si entrase polvo de clínker en los cojinetes del horno cada vez que se quitase la tapa.

## CAPITULO VII

### FALLAS TIPICAS EN HORNOS

#### 7.1 CONSIDERACIONES GENERALES

##### 7.1.1 Clasificación de fallas

Ocurren 3 tipos básicos de fallas en los hornos:

- Fallas en función del tiempo.

Por ej., desgaste y roturas, fatiga, corrosión, deformación térmica.

Característica:

El desarrollo de la falla es observable, la **falla** es básicamente **previsible**.

- Fallas que no ocurren en función del tiempo:

Por ej., accidentes, fuerzas de sobrecarga.

Característica:

Esta **falla** es **no previsible**, sin embargo, puede ser detonada por una falla en función del tiempo.

- Fallas iniciales:

Fallas en equipo nuevo debidas a deficiencias de diseño, fabricación, montaje y puesta en marcha.

##### 7.1.2 Causas generales de fallas

- Deficiencias de la unidad: diseño y dimensionamiento, aspectos de material y fabricación.
- Deficiencias de montaje.
- Deficiencias de mantenimiento: acciones incorrectas u omisiones.
- Deficiencias de operación: operación inadecuada o incorrecta, sobrecarga.
- Fuerzas superiores: por ej., terremotos.

### **7.1.3 Elementos básicos involucrados que participan en la generación de fallas**

- Fuerzas y cargas.
- Temperatura.
- Movimientos.
- Condiciones ambientales.

A continuación se enlistan fallas típicas de los componentes principales, enfatizando los siguientes puntos:

- Características o tipos de falla.
- Consecuencias y fallas secuenciales.
- Causas.
- Medidas correctivas: de alivio y/o reparación.
- Medidas preventivas.

## **7.2 FALLAS EN LA CARCASA DEL HORNO**

### **7.2.1 Deformaciones de la carcasa**

#### **a) Combado de la carcasa.**

Características:

- Abombado de la carcasa, deformación térmica.
- Los anillos se levantan de los rodillos tanto durante operación como durante paradas del horno.

Consecuencias:

- Incremento de la carga en el accionamiento, riesgo de no poder arrancar más el horno, una vez parado.
- Acoplamiento corona/transmisión afectado.
- Incremento de tensiones en la carcasa.
- Incremento de tensiones en aros, rodillos y cojinetes.

Fallas secuenciales:

- Daños en la sujeción de anillos.
- Daños en el accionamiento.
- Fisuras en las intersecciones soldadas de la carcasa.
- Daños en los rodillos.
- Daños en los cojinetes.

Causas:

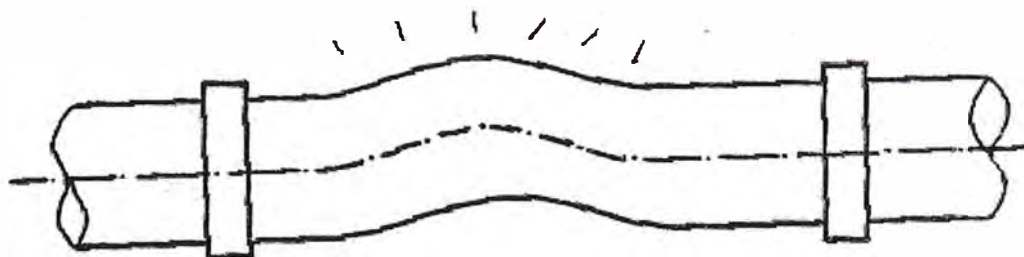
- Deformación térmica de la carcasa, debida a temperaturas no uniformes en la misma, por ej., por formación dispereja de costras, puntos calientes o por enfriamiento no uniforme del horno parado.
- No funcionamiento del accionamiento auxiliar en caso de emergencia.
- Deficiencia de operación y/o mantenimiento.

Medidas de reparación:

- En casos normales desaparece el combado por medio de rotación continua del horno.
- Si continúa un combado serio, la carcasa debe ser cortada y resoldada.

Medidas preventivas:

- Operación fluida del horno.
- Continuar la rotación y control del horno hasta que esté frío.



**FIG. 7.1 Combado de la carcasa**

- b) Abultamiento (abolladuras) en la carcasa.**



#### Características:

- Deformación plástica local de la carcasa.
- Superficie sobrecalentada, puede haber decapado.

#### Consecuencias:

- Afecta al revestimiento refractario.
- Si el abultamiento está bajo o cerca de un anillo aumentarán las tensiones en la carcasa.

#### Fallas secuenciales:

- Fisuras en la carcasa.
- Daños en ladrillos refractarios.

#### Causas:

- Sobrecalentamiento local de la carcasa por un período prolongado, por ej., debido a daño en el revestimiento.
- Deficiencia de operación.
- Distorsión del horno y mal alineamiento aumentan el daño.

#### Medidas de alivio:

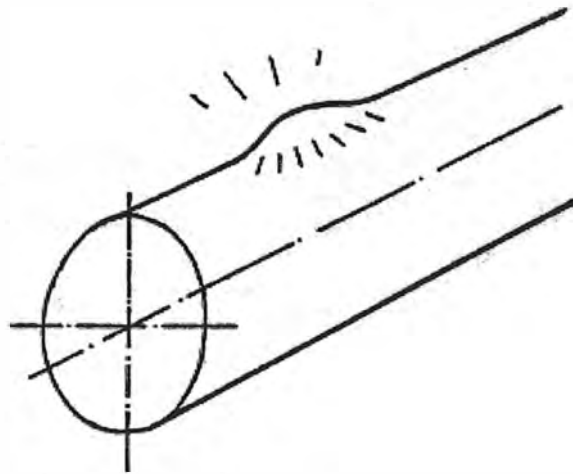
- Enfriamiento local de puntos calientes.
- Ajuste del procedimiento de operación del horno.

#### Medidas de reparación:

- Sustitución de parches en la carcasa.
- Sustitución de una sección del horno.

Medidas preventivas:

- Ajuste del procedimiento de operación.
- Supervisión de la temperatura de la carcasa.



**FIG. 7.2 Abultamiento en la carcasa**

**c) Contracción de la carcasa en anillo.**

Características:

- Deformación plástica por contracción de la carcasa en anillo.

Consecuencias:

- Aumenta la ovalidad de la carcasa.

- La vida del revestimiento refractario se ve seriamente afectada por la elevada ovalidad de la carcasa.
- Aumentan las tensiones en la carcasa.
- Necesidad de parar el horno cuando se daña el revestimiento.

#### Fallas secuenciales:

- Revestimiento refractario dañado.
- Desgaste, ruptura, deformación y fisuras en la sujeción de los anillos.

#### Causas:

- Diferencia considerable de temperatura entre la carcasa caliente y el anillo menos caliente debido a por ej., desaparición de adherencias, ladrillos dañados, ajuste de la flama durante calentamiento, la carcasa se expande con más rapidez que el anillo.
- Deficiencias de operación o falta de supervisión adecuada de temperatura y rodadura de los anillos.
- Juego (luz) – en frío- anillo/carcasa muy reducido.

#### Medidas de alivio:

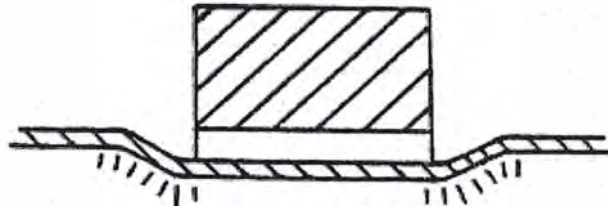
- Calces en zapatas de los anillos para reducir la ovalidad de la carcasa.

#### Medidas de reparación:

- Sustitución de la sección de la carcasa sobre anillo.
- Sustitución de la sujeción del anillo.

Medidas preventivas:

- Supervisión continua del movimiento relativo de los anillos.
- Enfriamiento de la carcasa caliente bajo anillos.
- Acondicionamiento de anillos.
- Ajuste del procedimiento de operación.
- Mantener el juego correcto en anillos.
- Medida de rutina con test del Shell.



**FIG. 7.3 Contracción en la carcasa**

### 7.2.2 Fisuras en la carcasa

#### a) **Fisuras en la circunferencia, en intersecciones soldadas.**

Características:

- Las fisuras se forman cerca de los anillos, a lo largo de las intersecciones soldadas, en zonas de transición.
- Las fisuras progresan rápidamente después de un período inicial de lenta formación.

Consecuencias:

- Pérdida de rigidez en la carcasa.
- Fractura completa de la carcasa.

#### Fallas secuenciales:

- El revestimiento refractario puede resultar afectado.
- Formación de nuevas fisuras.
- Ruptura del horno.

#### Causas:

- Sobretensión mecánica y térmica, por ej., ovalidad considerable, desalineamiento del horno, combado, puntos calientes y enfriamiento abrupto.
- Mellas y defectos (microscópicos) en la carcasa y en la zona soldada, por ej., daño en la superficie, defectos de soldadura, transición abrupta de sección.

#### Medidas de alivio:

- Taladrar las grietas en ambos extremos.
- Corregir la ovalidad y la alineación del horno.
- Eliminar los puntos calientes, evitar enfriamientos abruptos.

#### Medidas de reparación:

- Pulir las fisuras iniciales y pequeñas.

- Eliminar correctamente las fisuras y resoldar.
- Sustitución de la sección si está distorsionada, sobrecalentada o con transición de sección abrupta.

Medidas preventivas:

- Eliminación de mellas, defectos y superficies ásperas, así como de transiciones de sección abruptas.
- Inspección de rutina de las soldaduras de circunferencia.
- Alineación del horno, mediciones de la ovalidad de la carcasa de forma rutinaria, eliminación del combado.

**b) Fisuras en la sección de anillos (con huecos para pernos).**

Características:

- Aparecen en carcasas con zapatas de anillo con pernos.
- Las fisuras se forman entre la sujeción de los huecos para pernos o entre los huecos de los tarugos en el centro de las zapatas.
- La fisura progresa rápidamente después de una formación inicial lenta.

Consecuencias:

- El revestimiento refractario puede resultar afectado. .
- Pérdida de rigidez en la carcasa
- Fractura completa de la carcasa

#### Fallas secuenciales:

- Daños en el revestimiento refractario
- Daños en la sujeción del anillo
- Formación adicional de fisuras

#### Causas:

- Sobretensión mecánica y térmica, por ej., por ovalidad considerable, desalineación del horno, combado, puntos calientes.
- Mellas y defectos en la superficie de la carcasa o en los huecos de los pernos, por ej. abultamientos, desgaste, decapado (descascaramiento), etc.
- Defectos de materiales (raro).

#### Medidas de alivio:

- Taladrar las fisuras en ambos extremos.
- Limar la superficie áspera, puliéndola.
- Corregir la ovalidad y la alineación del horno.
- Eliminar los efectos de factores térmicos.
- Soldadura provisional de fisuras largas, desde el interior del horno, si la fisura está bajo un anillo.

#### Medidas de reparación:

- Eliminación y soldadura correcta de la fisura con acceso desde fuera y dentro de la carcasa.
- Si la carcasa está dañada seriamente es necesario reparar la sección.

Medidas preventivas:

- Eliminación de mellas, defectos y superficies ásperas en la carcasa y en áreas con huecos de pernos y tarugos.
- Inspecciones de rutina en la carcasa en zonas críticas.
- Alineación del horno, mediciones rutinarias de la ovalidad de la carcasa.
- Prevención de sobrecalentamiento en la carcasa, especialmente bajo anillos, conservar el revestimiento refractario en buenas condiciones.
- Utilización de acero resistente a la temperatura para la carcasa.
- Utilización de sujeciones sin pernos o, por lo menos no hacer más huecos (para tarugos) en la sección de los anillos.

**c) Fisuras en las sujeciones soldadas de los anillos.**

Características:

- Las fisuras se forman en V al lado de las soldaduras y de las zapatas.

Consecuencias:

- Pérdida de rigidez en la carcasa.
- El revestimiento refractario resulta afectado.



- La sección de la carcasa está en peligro.

#### Fallas secuenciales:

- Daños en el revestimiento refractario.
- Daños a la sujeción de los anillos.

#### Causas:

- Diseño inadecuado de la sujeción, por ej. , defectos de mellas por transición de sección abruptas, expansiones térmicas restringidas, etc.
- Ovalidad considerable; las distorsiones del horno y los efectos térmicos aumentan la formación de fisuras.

#### Medidas de alivio:

- Reducción de las tensiones mecánicas y térmicas, es decir, eliminar puntos calientes, pulir superficies ásperas.
- Corregir la ovalidad, alinear el horno.

#### Medidas de reparación:

- Eliminar correctamente las fisuras y resoldar.
- Cambio a un sistema apropiado de sujeción de anillos.
- Si la carcasa está seriamente dañada es necesario sustituirla.

#### Medidas preventivas:

- Eliminación de mellas, defectos y superficies ásperas en la carcasa y en las sujeciones.
- Inspecciones rutinarias y mantenimiento adecuado de la sujeción, es decir, lubricación del anillo, ajuste del juego.
- Mantener la alineación del horno y evitar distorsiones.
- Evitar puntos calientes en áreas de anillos.

**d) Fisuras en la sujeción de coronas dentadas.**

Características:

- Las fisuras corren a lo largo de las soldaduras de las placas de sujeción de las coronas.

Consecuencias:

- Fractura en sección de la carcasa.

Fallas secuenciales:

- Daño a la corona y a los dientes del piñón.

Causas:

- Diseño inadecuado de la sujeción de la placa.
- Espesor insuficiente de la carcasa.
- Defectos de soldadura, como mellas, tensiones por soldadura.

Medidas de alivio:

- Eliminar los defectos de soldadura, por ej. puliéndolas.
- Eliminar las fisuras iniciales, puliéndolas.

Medidas de reparación:

- Eliminar correctamente las fisuras y resoldar, pulimiento para alisar el área de transición.
- Sustitución de la sección demasiado delgada de la carcasa.

Medidas preventivas:

- Inspección rutinaria de las soldaduras y de las sujeciones de la corona.

**e) Fisuras en tapas de inspección:**

Características:

- Las fisuras se originan en las soldaduras de los marcos de las tapas de inspección.
- Las fisuras se forman a lo largo de las soldaduras y/o de las esquinas agudas de la carcasa.

Consecuencias:

- Fracturas en la carcasa.

Fallas secuenciales:

- Crecimiento de las fisuras.

#### Causas:

- Efectos de mellas a partir del marco de refuerzo o de la soldadura, es decir, por aristas agudas, transiciones abruptas, defectos de soldadura.
- La tensión aumenta debido al debilitamiento de la carcasa, causado éste por la tapa de inspección.

#### Medidas de alivio:

- Eliminación de mellas y de superficies ásperas.
- Pulimiento de las soldaduras.
- Eliminación de las fisuras iniciales pequeñas, puliéndolas.

#### Medidas de reparación:

- Sustituir el marco de la tapa de inspección.
- Soldadura correcta de fisuras.

#### Medidas preventivas:

- Control rutinario sobre las soldaduras del marco de la tapa de inspección.
- Preferencia de tapas de inspección con marcos redondos (o al menos con esquinas redondeadas).
- Situar las tapas de inspección en áreas con baja tensión en la carcasa y lejos de soldaduras ya existentes.

**f) Fisuras en la sección de descarga de clinker (hornos con enfriador planetario).**

Características:

- Fractura en la sección de salida.

Fallas secuenciales:

- Ruptura en la sección del horno.

Causas:

- Tensiones térmicas debidas a sobrecalentamiento de la carcasa cuando está desgastada o dañada la protección del manguito del orificio de salida.
- Tensión mecánica adicional debida a abertura y tubo de conexión desgastado o dañado, mellas en la superficie.
- Diseño y dimensionamiento inadecuados de esa sección de la carcasa.

Medidas de alivio:

- Pulir las mellas en la superficie.
- Pulir las fisuras iniciales pequeñas.
- Taladrar las fisuras en ambos extremos.

Medidas de reparación:

- Eliminar correctamente las fisuras y resoldar.
- Sustituir los segmentos de las áreas seriamente dañadas.

- Sustituir completamente la sección de salida si está seriamente afectada y no suficientemente dimensionada.

Medidas preventivas:

- Inspección rutinaria en las áreas con aberturas para salida.
- Eliminación de mellas o defectos en la superficie.
- Mantener siempre una protección perfecta de la conexión entre el tubo y la carcasa (manguitos de acero, material refractario).
- Supervisión rutinaria de la temperatura de la carcasa entre las aberturas.
- Utilizar acero resistente a la temperatura para secciones nuevas de carcasa.

**g) Fisuras en la sección del cono de descarga (hornos con enfriador planetario).**

Características:

- Fisuras circunferenciales.

Consecuencias:

- Fractura en la carcasa.

Daños secuenciales:

- Crecimiento de las fisuras, ruptura en la carcasa.

#### Causas:

- El clinker atrapado dentro de la carcasa desgasta su espesor debido a la rotación del horno durante un período prolongado, las fisuras se iniciarán en un punto débil debido a tensiones mecánicas.
- Diseño deficiente.

#### Medidas de alivio:

- Taladrar las terminaciones de las fisuras.
- Evitar un desgaste posterior de la superficie de la carcasa eliminando el clinker atrapado.

#### Medidas de reparación:

- Sustitución de la sección del horno.
- Eliminación del foco de derrame del clinker.

#### Medidas preventivas:

- Proporcionar posibilidad de evacuación a cualquier derrame de clinker al interior de la carcasa.
- Inspección rutinaria en áreas críticas.
- Mantenimiento rutinario del foco de derrame de clinker.

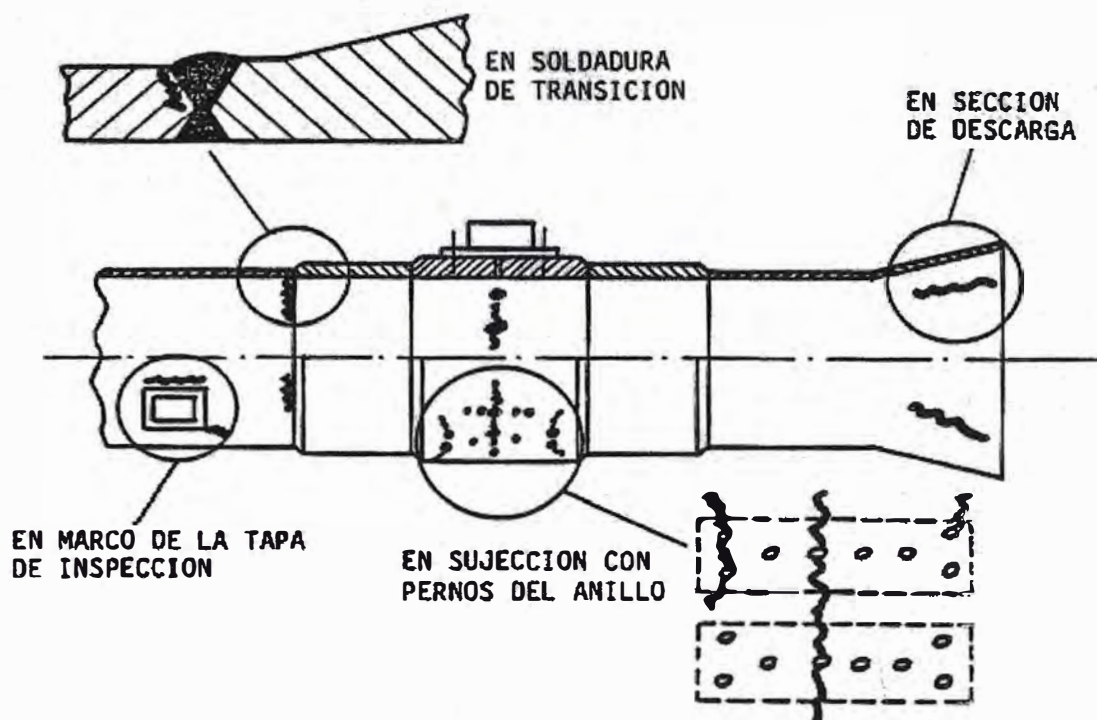


FIG. 7.4 Fisuras en la carcasa

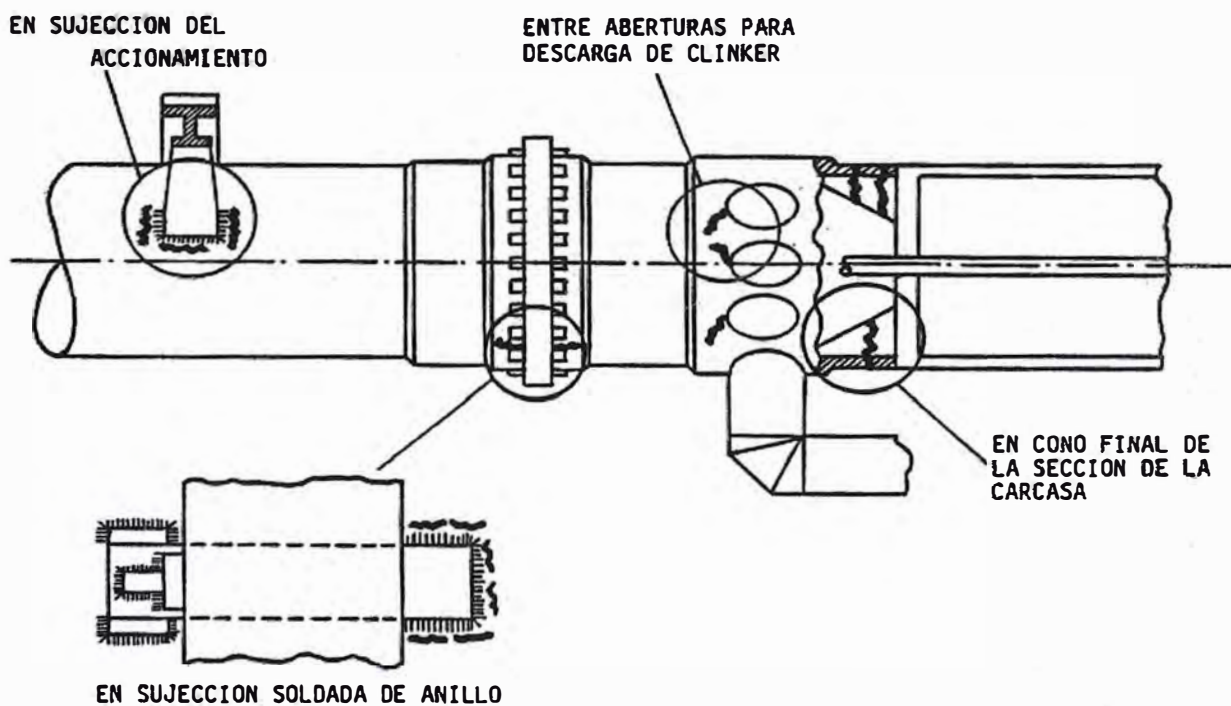


FIG. 7.5 Fisuras en la carcasa



### **7.2.3 Corrosión interna de la carcasa del horno**

Características:

- Corrosión seria de la superficie interna de la carcasa, decapado (descascaramiento).

Consecuencias:

- Reducción del espesor de la pared, pérdida de rigidez y fuerza en la carcasa, puede resultar necesario sustituir la sección afectada.
- Formación de una capa gruesa de descascaramiento dentro de la carcasa y bajo el revestimiento.

Fallas secuenciales:

- Fisuras en la carcasa, deformación y ruptura de la carcasa.
- Daño al revestimiento refractario.

Causas:

- Corrosión por alta temperatura (CAT) durante operación y corrosión electro-química (CEQ) durante paradas prolongadas del horno.

Mecanismo de la corrosión:

- Difusión de elementos volátiles desde los gases del horno (K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl, H<sub>2</sub>O, V, Cr) a través de revestimiento poroso y hasta la carcasa.

- Se registra descascaramiento y CAT dependiendo de la relación Alkali- SO<sub>3</sub> y de la presión parcial de oxígeno.
- La clorina aumenta la porosidad de la capa descascarada y esto incrementa la tasa de CAT y de CEQ.
- Durante paradas prolongadas del horno el cloruro de potasio (higroscópico) atrae agua (humedad, condensación) y acentúa la CEQ.

#### Medidas de alivio:

- Reducción de elementos volátiles (K<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl, H<sub>2</sub>O, V, Cr) sea por ajustes a la materia prima (si es posible) o por instalación de tubos de desviación (bypass).
- Reducción de las paradas del horno.
- Mantener un espesor mínimo adecuado del revestimiento refractario.

#### Medidas de reparación:

- Remoción del descascaramiento en la superficie de la carcasa (mecánicamente o por chorro de arena).
- Fosfatización (es decir, 75% H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) en la superficie afectada.
- Sustitución del revestimiento refractario.

#### Medidas preventivas:

- Recubrimiento protector en la superficie interior de la carcasa (recubrimiento de plasma con, por ej., molybdenum u óxido de

aluminio, o recubrimiento epoxi que contenga polvo de metal resistente al calor).

- Instalación de revestimiento refractario adecuado (sin recubrimiento aislante en áreas críticas, ladrillos de alta conductividad de calor y escasa permeabilidad).
- Mantener un espesor mínimo adecuado del revestimiento, evitar aflojamiento y defectos en los ladrillos.
- Evitar concentraciones elevadas de clorina en el gas del horno (bypass).
- Evitar paradas del horno.

### 7.3 FALLAS EN ANILLOS

#### 7.3.1 Fallas en la superficie rodante

##### a) **Desgaste anormal, formación de protuberancias.**

Características:

- Desviación de la superficie rodante de su forma cilíndrica (por ej., convexa).
- Corrugado.
- Formación de protuberancias.

Consecuencias:

- Desgaste acelerado y roturas en el anillo.

Fallas secuenciales:

- Desgaste y rotura del rodillo.
- Picado (pitting) o desprendimiento (spalling) en las superficies rodantes.
- Empuje axial del horno.
- Tensión axial en los soportes.
- Las protuberancias en los bordes pueden iniciar fisuras.

#### Causas:

- El desgaste acelerado ocurre debido a superficies húmedas o sucias, rodillos incorrectamente ajustados (oblicuos) y falta de lubricación (grafito).
- Puede haber corrugado debido a oscilaciones del horno.
- Las protuberancias en los bordes son deformaciones plásticas debidas a altas presiones en los bordes y a la acción de rodamiento en material dúctil.

#### Medida de alivio:

- Mantener las superficies rodantes limpias, lubricarlas con grafito.

#### Medidas de reparación:

- Maquinado de la superficie rodante.
- Esmerilar las protuberancias y bordes.

Medidas preventivas:

- Mantener las superficies rodantes limpias, lubricar con grafito.
- Mantener un ajuste correcto de los rodillos (sesgo mínimo o inexistente) contacto a todo lo ancho.
- Mantener el funcionamiento correcto del anillo.
- Mantener la alineación del horno.

**b) Picado, desprendimientos.**

Características:

- Picado, descascaramiento de material en forma de cáscara, puntos redondos.
- Desprendimientos: descascaramiento de material en áreas más grandes.

Consecuencias:

- Aumento de tensión y desgaste en la restante superficie rodante (reducida) aún intacta.
- Si se extiende la destrucción en la superficie rodante serán necesarias reparaciones amplias o sustitución de los anillos.

Fallas secuenciales:

- Desgaste y rotura en rodillos.
- Formación de fisuras en anillos debido a efectos de mellas por picado o por desprendimientos.

#### Causas:

- Picado: fatiga del material debido a altas tensiones por contacto, por ej. , causadas por: contacto anillo/rodillo insuficiente, carga elevada, suciedad, dimensionamiento insuficiente o calidad inadecuada del material.
- Desprendimientos: fatiga del material debida a su calidad inadecuada o a fisuras.
- Acción hidráulica, como el enfriamiento por agua, acentúa el progreso del daño.

#### Medidas de reparación:

- Soldadura de superficie grande dañada y maquinada.
- Si es posible, maquinado del anillo /reducción máxima del espesor de aproximadamente 5%).
- Si corren peligro la rotación suave del horno y los soportes se impone la sustitución del anillo.

#### Medidas preventivas:

- Mantenimiento adecuado de anillo y rodillos, es decir, inspección rutinaria, limpieza, lubricación, ajustes de rodillos, alineación del horno, medición de las sujeciones del anillo.
- Asegurar la calidad de anillos nuevos o de sustitución es decir: verificación de dimensionamiento y diseño y la supervisión en talleres durante su fabricación.

### 7.3.2 Fisuras en anillos

Características:

- En anillos con perfil hueco las fisuras se originan generalmente en las aberturas del perfil interior, refuerzos, costillas o cualquier mella interna, o grietas en el material.
- En anillos sólidos las fisuras se originan por lo general en los bordes de la cara externa, a partir de defectos de la superficie o en grietas internas en el material.
- En anillos dentados las fisuras pueden originarse en el área de la raíz del diente.

Consecuencias:

- El progreso de la fisura causa fractura del anillo, lo que hace necesaria su sustitución.

Fallas secuenciales:

- Fractura del anillo.
- El material se desprende del anillo.

Causas:

- En anillos con perfil hueco: perfil inadecuado, es decir, variaciones abruptas de rigidez, mellas y grietas en el material (ver fig. 7.6).

- En anillos sólidos: pueden aparecer fisuras en la cara externa debido a presiones en los bordes o a mellas, por ejemplo de las protuberancias (ver fig. 7.6).
- Las fisuras pueden resultar de daños en la cara de los rodillos, por ej. , efectos de mellas de picado o desprendimiento: en anillos viejos las fisuras pueden ser causadas por defectos de material o tensión interna provocada por la solidificación de la superficie rodante durante la acción de girar (ver fig. 7.7).
- En anillos dentados, las fisuras en el área de la raíz del diente son causadas por fatiga de material y mellas.
- Con frecuencia inciden varios factores en la formación de fisuras, es decir, calidad del material, condiciones de operación, diseño y dimensionamiento así como defectos en la superficie.

#### Medidas de alivio:

- Pulir las superficies ásperas y descascaradas o las fisuras iniciales.
- Ajuste correcto de rodillos y alineación del horno.

#### Medidas de reparación:

- Eliminar correctamente fisuras y resoldar.
- En anillos de más edad donde existan varias fisuras extensas, con frecuencia su soldadura no es económica y es necesario sustituirlos.

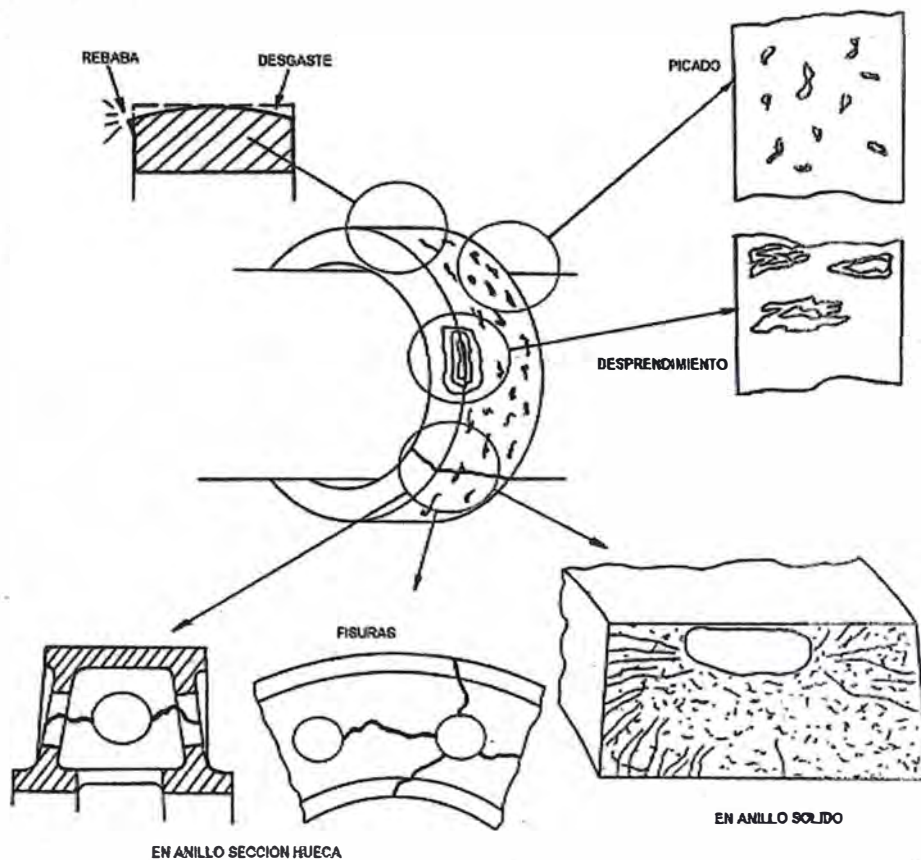
#### Medidas preventivas:



- Mantenimiento adecuado de anillos y rodillos o sea: inspección rutinaria de áreas críticas del anillo, visualmente, con prueba de tinte penetrante o ultrasónica, mantenimiento de caras exteriores (eliminación de protuberancias) y ajuste de rodillos, alineación del horno.
- Asegurar la calidad de anillos nuevos o de sustitución, es decir verificar dimensionamiento y diseño correctos, calidad de material, supervisión en talleres durante la fabricación de un anillo nuevo, garantía mínima de 2 años.



**FIG. 7.6 Fisuras en anillos huecos y sólidos**



**FIG. 7.7 Fisuras en los anillos**

### **7.3.3 Fallas en la sujeción del anillo flotante**

Características:

- En zapatas rígidas y guías laterales del anillo que están soldadas directamente a la carcasa aparecen fisuras en las soldaduras y en la carcasa.
- Rupturas de pernos y fisuras en la carcasa, en el caso de zapatas sujetadas con pernos.
- Desgaste y rupturas en zapatas y guías.
- Desgaste y roturas (desprendimiento) en la superficie de contacto del anillo, en el diámetro interno y en la cara lateral.

#### Consecuencias:

- La ruptura de los pernos favorece el posterior desgaste y ruptura de la sujeción.
- Aumento de la ovalidad de la carcasa y desgaste, ruptura de anillo.

En caso de daños serios es necesario sustituir tanto la sujeción como la sección de carcasa afectada.

#### Fallas secuenciales:

- Daños en el revestimiento refractario.
- Formación de fisuras en el anillo.

#### Causas:

- Diseño inadecuado de la sujeción.
- Ocurre expansión limitada entre carcasa/zapata si los pernos están muy apretados en los agujeros de la zapata; otras causas son atornillamiento incorrecto o calidad inadecuada de los pernos.
- El juego en frío incorrecto entre anillo y zapata o el sobrecalentamiento de la carcasa causan contracción de la misma.
- Falta de lubricación de zapatas y guías laterales.
- Alta contaminación.
- Diseño inadecuado de la sujeción.

#### Medidas de alivio:

- Eliminación de fisuras iniciales y pulido general de las soldaduras, reducción de la rigidez de las guías laterales, por ej. , cortándolas.
- Atornillado correcto de pernos con llave dinamométrica de torsión.
- Limpieza y lubricación de las áreas de contacto; calces en zapatas para corregir el juego del anillo.

#### Medidas de reparación:

- Cambio a un diseño apropiado de sujeción después de eliminar y soldar correctamente las fisuras de la carcasa.

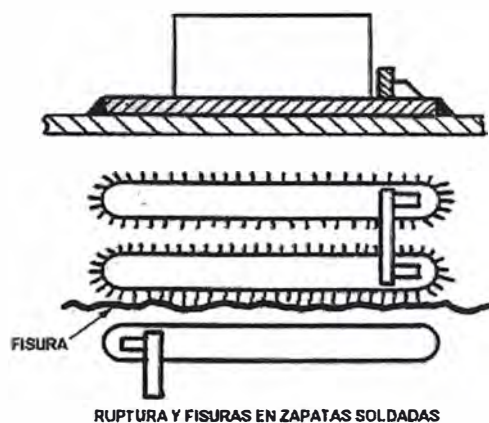
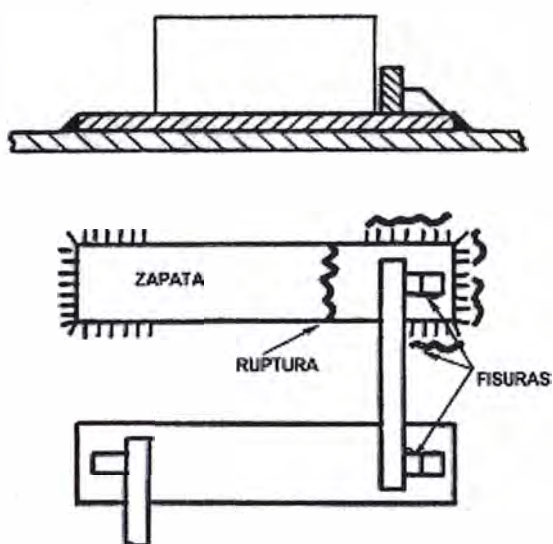
Si la carcasa está seriamente dañada o si las zapatas soldadas exigen trabajo extenso para su eliminación puede ser necesario sustituir la sección.

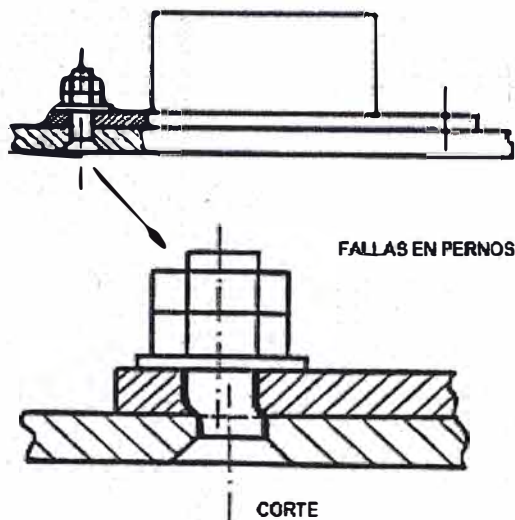
- Sustitución de pernos y zapatas con huecos más grandes.
- Lubricación de la sección enroscada del perno (con grasa resistente a la temperatura).
- Sustitución de la zapata del anillo.
- Reparar la superficie dañada del anillo, por ej. , puliendo las áreas ásperas.

#### Medidas preventivas:

- Inspección rutinaria de la sujeción.
- Lubricación rutinaria de zapatas y guías laterales del anillo.

- Supervisión continua del rodamiento del anillo y medición rutinaria de la ovalidad de la carcasa.
- Calces en las zapatas y ajuste de las guías laterales del anillo si el juego es excesivo.
- Inspección rutinaria del movimiento lateral del anillo.
- Mantenimiento de la alineación del horno y del ajuste de los anillos.
- Asegurar la calidad de sujeciones nuevas o de sustitución:
  - Verificar el diseño, selección del diseño adecuado.
  - Eventual supervisión del trabajo en taller.





**FIG. 7.8 Fallas en sujeción de anillo flotante**

## **7.4 FALLAS EN LOS RODILLOS DE SOPORTE**

### **7.4.1 Fallas en la superficie rodante**

#### **a) Desgaste anormal.**

Características:

- Desviación de la superficie rodante de su forma cilíndrica (cóncava o convexa).
- Corrugado.
- Formación de abultamientos y escalonamientos.

Consecuencias:

- Desgaste y ruptura acelerados en anillos y en el rodillo mismo.
- Reducción de la vida útil.
- Generación de cargas axiales en los soportes.

- Se obstaculiza el movimiento axial del anillo.

Fallas secuenciales:

- Desgaste del anillo.
- Desgaste del cojinete del soporte debido a empuje axial.
- Picado y desprendimiento en la superficie rodante.

Causas:

- Un desgaste acelerado se debe a superficies rodantes húmedas o sucias, a rodillos mal ajustados (sesgo=no paralelo al anillo) y a falta de lubricación (grafito)..
- El corrugado se debe a oscilaciones del accionamiento del horno.
- La formación de protuberancias y escalonamientos es causada por desgaste no uniforme de la superficie rodante y por falta de mantenimiento de los rodillos.

Medidas de alivio:

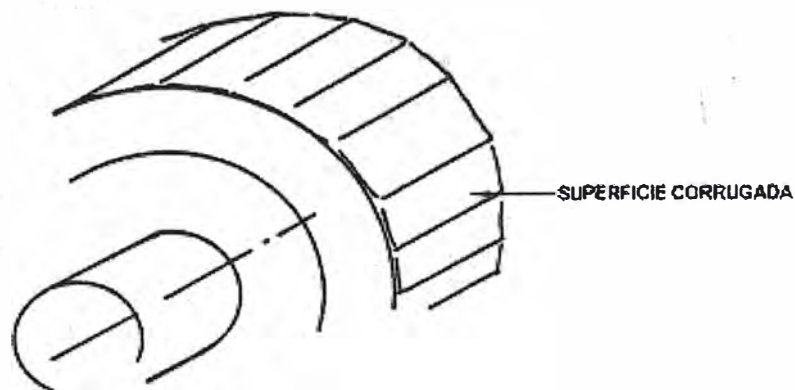
- Mantener las superficies rodantes limpias, secas y lubricadas.

Medidas de reparación:

- Maquinado de la superficie rodante por pulido o por torneado, el desgaste de la superficie no debe ser mayor a 2mm.

Medidas preventivas:

- Mantener la superficie rodante limpia y lubricada (grafito).
- Mantener el ajuste correcto de los rodillos (sesgo mínimo o inexistente, contacto a lo ancho de todo el rodillo).
- Controlar el movimiento longitudinal del horno.
- Prevención de desalineamiento y deformaciones del horno.
- Mantenimiento de los anillos.



**FIG. 7.9 Desgaste anormal del rodillo**

**b) Picado, desprendimientos.**

Características:

- Picado: descascaramiento del material en forma de cáscara, puntos redondos.
- Desprendimientos: descascaramiento del material en áreas más grandes.

Consecuencias:



- Aumento de tensión y desgaste en la restante superficie rodante (reducida) aún intacta.
- Si se extiende la destrucción en la superficie rodante serán necesarias reparaciones amplias o la sustitución del rodillo.

#### Fallas secuenciales:

- Desgaste y rotura en rodillos.
- Formación de fisuras en el rodillo debido a efectos de mellas por picado o por desprendimiento.

#### Causas:

- Picado: fatiga del material debido a altas tensiones por contacto, debidas a contacto insuficiente anillo/rodillo, cargas elevadas, suciedad, dimensionamiento insuficiente o calidad inadecuada de material.
- Desprendimiento: fatiga del material debido a calidad inapropiada del material.
- Acción hidráulica, como el enfriamiento por agua, acentúa el progreso del año.

#### Medidas de alivio:

- Pulir lisas las superficies ásperas y descascaradas (eliminación de mellas y fisuras iniciales).
- Mantener limpias las superficies rodantes.

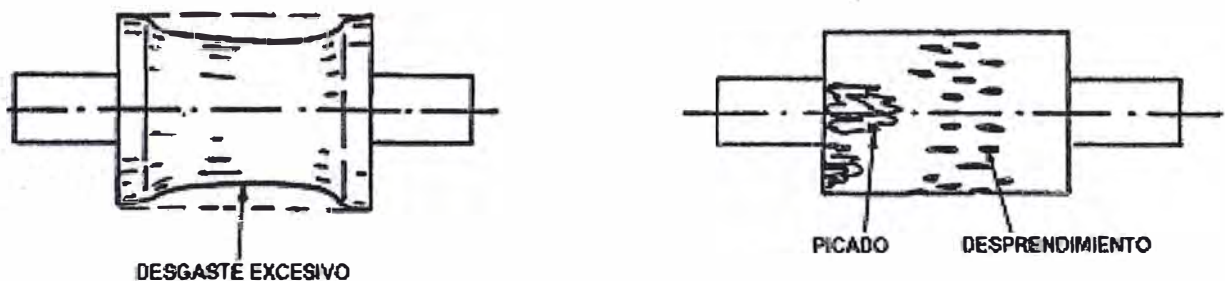
- Ajuste correcto de rodillos y alineación del horno.

Medidas de reparación:

- Soldadura de superficies grandes dañadas y maquinado posterior.
- Si es posible, maquinado de la superficie del rodillo.
- Si corren peligro la rotación del horno y el anillo por el defecto, se impone la sustitución del rodillo.

Medidas preventivas:

- Mantenimiento adecuado de anillos y rodillos, o sea, inspección rutinaria, limpieza, lubricación, ajuste de rodillos, alineación del horno.
- Asegurar la calidad en rodillos nuevos o de sustitución es decir:
  - Verificación del dimensionamiento y del diseño.
  - Supervisión en el taller durante su fabricación.



**FIG. 7.10 Picado, desprendimientos**

#### **7.4.2 Fisuras en el cuerpo del rodillo**

Características:

- En rodillos viejos con perfil hueco las fisuras se originan generalmente en las aberturas del perfil interior, en las costillas, en cualquier mella interna o en grietas en el material.
- Las fisuras progresan circunferencialmente de hueco a hueco y con frecuencia llegan a la superficie rodante, creando descascaramiento de material.
- En los rodillos nuevos sólidos, se sabe que las fisuras van de los huecos existentes, en forma de gota, al alma del cubo.

Consecuencias:

- Fractura completa del rodillo.
- La operación del horno corre peligro si el rodillo no es cambiado a buen tiempo.

Fallas secuenciales:

- Daños en los soportes o en los ejes.

Causas:

- En rodillos de perfil hueco: diseño inadecuado del perfil, por ej., mellas y grietas en el material, acentuadas por las tensiones térmicas.
- En rodillos sólidos: grietas y defectos en el material.

Medidas de alivio:

- Ajuste correcto del rodillo y alineación del horno.
- Pulido de las superficies ásperas (en rodillos sólidos).

Medidas de reparación:

- Sustitución del rodillo.

Medidas preventivas:

- Mantenimiento adecuado de anillos y rodillos, o sea, inspección rutinaria, ajuste de rodillos y alineación del horno.
- Inspección de calidad para rodillos nuevos o de sustitución, es decir:
  - Verificación del dimensionamiento y del diseño (cuerpo sólido).
  - Supervisión en el taller durante su fabricación.

### **7.4.3 Fractura del eje del rodillo**

Características:

- Fisura por fatiga en el eje justo dentro del cubo del rodillo.

Consecuencias:

- La ruptura del eje ocasiona una parada del horno con serias dificultades para girar el horno durante el enfriamiento.

Fallas secuenciales:

- Ruptura del eje.
- Daño al cojinete de soporte.
- Daño al anillo.
- Combado del horno si éste no puede ser girado durante el enfriamiento.

#### Causas:

- Débil ajuste de contracción, corrosión por contacto y efectos de mella causan fallas por fatiga.
- Diseño y/o material inadecuados del eje.

#### Medidas de alivio:

- Ajuste correcto del rodillo y alineación del horno.

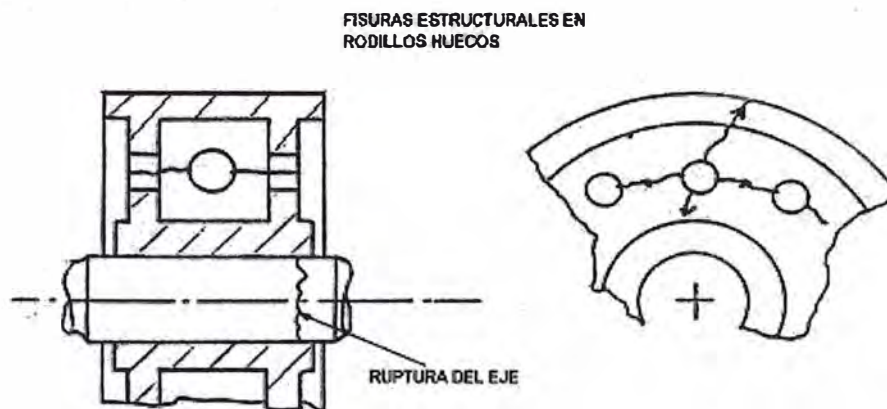
#### Medidas de reparación:

- Sustitución del eje del rodillo.

#### Medidas preventivas:

- Inspección rutinaria de los ejes de rodillo por medio de prueba ultrasónica.
- Ajuste correcto del rodillo y alineación del horno.
- Asegurar la calidad de rodillos y ejes nuevos o de sustitución:
  - Verificación del dimensionamiento y del diseño.

- Supervisión en el taller durante su fabricación.



**FIG. 7.11 Fractura del eje del rodillo**

## 7.5 FALLAS EN COJINETES DE SOPORTE

Características:

- Sobrecalentamiento del cojinete, con atoramiento subsiguiente.

Consecuencias:

- Los daños en cojinetes obligan a parar el horno.
- Se vuelve necesario sustituir la corteza del cojinete.

Fallas secuenciales:

- Daño en el muñón del eje, o sea atoramiento, ranuras, etc.

Causas:

- Fallas de lubricación.

- Contaminación del cojinete.
- Sobrecarga axial por ajuste incorrecto del rodillo.
- Sobrecarga en el cojinete debida a combado o desalineamiento del horno.
- Causas de fallas en cojinetes nuevos:
  - Juego incorrecto del cojinete, contacto inadecuado del eje, presión en los bordes, superficies ásperas, error de montaje.

#### Medidas de alivio:

- Reducir la carga sobre el cojinete.
- Intensificar la lubricación, por ej. , con aceite fresco, aditivos.
- Enfriamiento.
- Proteger del calor al cojinete.

#### Medidas de reparación:

- Reparación de la corteza del cojinete, o sustitución.
- Si resulta afectado el eje, reparación del muñón del mismo.

#### Medidas preventivas:

- Inspección rutinaria y servicio, análisis del aceite.
- Mantener los cojinetes limpios y frescos.
- Control continuo de la temperatura de los cojinetes.
- Mantener el ajuste correcto del rodillo y alineación del horno.
- Asegurar la calidad de cojinetes nuevos o de sustitución:

- Verificación del diseño y dimensionamiento.
- Verificación de la fabricación.
- Instalación correcta, es decir, ajustes de juego y del eje.

## **7.6 RUPTURA DE LA CAJA DEL COJINETE**

Características:

- Fractura de la caja.

Consecuencias:

- Daños serios en el cojinete obligan a parar el horno.

Fallas secuenciales:

- Daños al eje y al rodillo.
- Daños en el anillo.
- Combado del horno si éste no puede ser girado durante el enfriamiento.
- Deformación de los marcos de la base.

Causas:

- Carga axial elevada en el cojinete durante el calentamiento o el enfriamiento del horno.

Medidas de reparación:

- Sustitución del cojinete de apoyo.



Medidas preventivas:

- Calentamiento y enfriamiento correctos del horno, con secuencia adecuada de rotación.
- Lubricación de la superficie rodante de los rodillos tanto en el calentamiento como en el enfriamiento.
- Mantener las superficies rodantes lisas y cilíndricas.

## 7.7 FALLAS EN RODILLOS DE EMPUJE AXIAL

### 7.7.1 Daños en la superficie rodante

Características:

- Desgaste y ruptura excesivos, picado y desprendimientos.

Consecuencias:

- Desgaste y ruptura en la cara lateral del anillo.
- Carga adicional sobre el ensamblaje debido a la acción rodante no uniforme.

Fallas secuenciales:

- Fractura del rodillo.
- Daño del anillo, formación de protuberancias.

Causas:

- Contacto inadecuado del rodillo de empuje con la cara del anillo.

- Carga axial aumentada debido al ajuste incorrecto del rodillo de soporte o al movimiento ascendente forzado del horno.
- Deficiencia en el dimensionamiento y/o material.
- Falta de lubricación en la cara del rodillo.

Medidas de alivio:

- Ajuste correcto del rodillo.
- Lubricación de la cara rodante.
- Ajuste de los ciclos de movimiento del horno.

Medidas de reparación:

- Maquinado de la cara desgastada del rodillo, eliminar las protuberancias.
- Alineación correcta del contacto de la cara rodante.

Medidas preventivas:

- Mantener el contacto correcto de la superficie rodante.
- Ajustar correctamente los ciclos de movimiento axial del horno.
- Inspección rutinaria.
- Ajuste adecuado de los anillos.
- Asegurar la calidad de rodillos nuevos o de sustitución.

**7.7.2 Fractura en el eje de rodillos de empuje**

**Características:**

- **Fractura del eje en la transición del rodillo al eje.**

**Consecuencias:**

- **Parada del horno debido a la ruptura del rodillo de empuje.**

**Fallas secuenciales:**

- **Falla del cojinete del eje del rodillo.**
- **Daños al anillo o a la carcasa del horno.**
- **Daño al accionamiento por el choque de carga cuando el rodillo se queda atascado entre el anillo y la base del rodillo de empuje.**

**Causas:**

- **Carga axial aumentada debido a tensiones térmicas en la carcasa durante enfriamiento, cuando el horno no puede contraerse libremente, debido a rotación insuficiente del mismo.**
- **Diseño inadecuado de la zona de transición entre el rodillo y el eje.**

**Medidas de reparación:**

- **Sustitución de las partes dañadas.**

**Medidas preventivas:**

- **Enfriamiento correcto del horno con secuencia adecuada de rotación del mismo.**

- Lubricación de la superficie rodante de los rodillos de soporte con aceite durante el enfriamiento del horno.
- Mantener el horno en posición superior (axialmente) durante su enfriamiento.
- Asegurar la calidad de rodillos nuevos o de sustitución.

## **7.8 FALLAS EN EL ACCIONAMIENTO DEL HORNO (ENGRANAJES)**

### **7.8.1 Desgaste**

#### **a) Desgaste normal**

Características:

- Superficie pulida.
- Desaparición de marcas de fabricación.
- Desgaste normal.

Causa:

- La rugosidad de la superficie desaparece debido a la acción de deslizamiento y rodadura.

Remedio:

- No se requiere.

#### **b) Desgaste abrasivo**

Características:

- Superficie lisa.

- La línea de paso se ve continua.
- A lo largo del tiempo la forma del diente cambia y se incrementa el juego entre dientes.

Causas:

- El lubricante está contaminado con polvo abrasivo.
- Una película delgada del lubricante (baja viscosidad).

Remedio:

- Lubricante limpio.
- Sellar las guardas.
- Una viscosidad más alta.

**c) Desgaste por interferencia**

Características:

- Marcas de abolladuras en la base y cresta de los dientes.
- La cresta de los dientes se redondea.
- En el dedendum los laterales se hacen lisos.
- Se incrementa el ruido durante la operación.

Causas:

- Geometría incorrecta de los dientes.
- Engranado incorrecto, el backlash es insuficiente.

Remedio:

- Ajustar el backlash.
- Cambio de engrane.

**d) Ralladuras (scratching).**

Características:

- Varias ralladuras de diferente longitud en la dirección del deslizamiento.

Causas:

- Partículas extrañas en el lubricante o entrando directamente entre los dientes.
- Picos individuales de rugosidad en la superficie.

Remedio:

- Sellado y limpieza de la guarda.
- Lubricante y filtros limpios.
- Pulido de los picos más rugosos.

**e) Estrías (scoring).**

Características:

- Marcas radiales de rotura en el addendum o dedendum.

- Fuerte estriado muestran marcas de roturas y marcas de deformación en frío.
- En una etapa más avanzada de estriado, se presentan decoloración térmica y marcas de deformación en caliente.

Causas:

- Una presión alta anormal en el diente.
- Se interrumpe o se rompe la película de lubricación.
- Se lleva a cabo contacto metal con metal, la presión y fricción “suedan” en frío o en caliente el material, ocurre deformación plástica.

Remedio:

- Eliminar la carga localizada mediante una alineación correcta o eliminar la rugosidad.
- Cambio de engrane con geometría incorrecta de los dientes.
- Lubricación y enfriamiento correcto.

### **7.8.2 Desgaste corrosivo**

Característica:

- Superficie dispereja con picaduras.
- Manchas rojizas.

Causas:

- Rozamiento solo en los engranes que no están en uso y cuando hay vibración.
- Ataque químico debido a la acidez en el lubricante en el ambiente.

Remedio:

- Usando el lubricante correcto y limpio.
- Aislando el engrane de fuente de vibración.
- Sellando contra ataques químicos.

### **7.8.3 Erosión, cavitación**

Características:

- Marcas de erosión en todos los laterales de los dientes.

Causas:

- Rociado de lubricante duro.
- Agua en el lubricante combinado con vibración.

Remedio:

- Ajustando la lubricación.
- Eliminando agua en el lubricante.

### **7.8.4 Descarga eléctrica**

Características:



- Picaduras con decoloración térmica y forma fundida distribuidas a lo largo de los dientes.

Causas:

- Flujo de corriente debido a pequeñas corrientes de máquinas eléctricas o máquinas de soldar.

Remedio:

- Aislando las máquinas eléctricas.
- Conectando correctamente el equipo de soldar, el cable de tierra debe colocarse directamente en el área de soldadura.

#### **7.8.5 Fallas por fatiga**

##### **a) Picadura inicial (initial pitting).**

Características:

- Pequeños hoyos distribuidos en el área principalmente del dedendum y del addendum.
- Picaduras iniciales aparecen durante la puesta en marcha del engrane.

Causas:

- Rugosidades ocasionadas desde la fabricación arrancan debido a fatigas.

Remedio:

- Si la formación de picaduras no progresa. No se requiere ningún remedio.

**b) Picaduras destructivas**

Características:

- Arranca material entre las varias picaduras pequeñas.
- Las picaduras empiezan en el área del dedendum y se extienden más tarde al resto de la superficie del diente.
- Puede iniciarse una grieta por fatiga de flexión.

Causas:

- Sobrecarga dinámica de la superficie, fatiga del material.
- Poros y picaduras iniciales pueden favorecer el daño tanto como un lubricante inadecuado.
- Procedimiento incorrecto de la puesta en marcha del engrane nuevo.

Remedios:

- Engranado y carga del diente correcto.
- Lubricante adecuado.
- Puesta en marcha de engranes nuevos por procedimiento correcto.

**c) Desprendimientos (spalling)**

Características:

- Ocurren en engranes de dureza media.
- Aparecen picaduras grandes de forma irregular poco profundas.
- Aparecen grietas en la superficie, las cuales se desarrollaron por debajo de ellas.

Causas:

- Esfuerzos de contacto excesivamente altos.
- Defectos de material.

Remedios:

- Evitar sobrecargas, alineación, contacto correcto entre dientes.
- Diseño y calidad del material correcto.

#### **7.8.6 Deformaciones plásticas**

##### **a) Deformación en frío (cold flow)**

Características:

- Deformación de metal en la superficie y por debajo de ella.
- Material rolando a lo largo de los bordes del diente.

Causas:

- Cargas pesadas.
- Acción de deslizamiento y fricción.

Remedio:

- Reduciendo las sobrecargas.
- Alineación correcta.
- Usando material más duro.

**b) Huellas (indentation)**

Características:

- Superficie deformada localmente.

Causas:

- Partes extrañas son atrapadas entre los dientes.

Remedios:

- Evitar la entrada de partículas extrañas.
- Mantener limpias la guarda del engrane y evitar soltura de partes.

**c) Ondulaciones (ripping)**

Características:

- Formación ondular en la superficie del diente en ángulo recto a la dirección del deslizamiento.

Causas:

- Se resbalan los dientes debido a fallas de lubricación y cargas altas.
- Vibración.

Remedios:

- Reducir la vibración.
- Usar el lubricante correcto con aditivo extrema presión, incrementar la viscosidad.
- Incrementar la dureza de la superficie del engrane.

### 7.8.7 Grietas

Características:

- Grietas por templado o rectificado solamente en la superficie de los dientes de engranes endurecidos.
- Grietas por fatigas que se desarrollan de picaduras o desprendimientos.
- Grietas por fatigas que se desarrollan desde la base de un diente a otro.

Causas:

- Tratamiento térmico o rectificado incorrecto de los engranes endurecidos.
- Ranuras debidas a superficies rugosas, daños, fallas de material, etc.
- Diseño inadecuado de bordes y núcleo.

Remedios:

- Tratamiento térmico correcto.
- Puliendo la superficie dañada.
- Eliminar grietas iniciales.

- Evitando ranuras.

### 7.8.8 Roturas de dientes

Características:

- Rotura forzada debido a una sobrecarga que muestra evidencia de roturas o tensado.
- Rotura de fatiga mostrando la fatiga inicial “del núcleo”, señales de rozamiento, marcas lisas y el área de rotura final con una apariencia rugosa y rasgada.

Causas:

- Rotura debido a una sobrecarga repentina.
- Rotura de fatiga debido a esfuerzos cíclicos, eventualmente aumentado por muesca, por ejemplo, ranuras, tensiones restantes, ranuras de endurecimiento, esfuerzos internos.

Remedios:

- Diseño, fabricación, operación y montaje correcto.
- Puliendo y redondeando las ranuras, grietas, ralladuras y daños.

## 7.9 FALLAS EN ENFRIADORES PLANETARIOS

Las cargas mecánicas y la tensión térmica provocan, en muchos casos, fallas serias como:

- Fisuras en los soportes del tubo enfriador.

- Fisuras en la carcasa cerca de los soportes.
- Fisuras en los sujetadores de soporte.
- Desgaste y ruptura en los tubos.
- Fisuras en las aberturas de descarga del clinker, en la sección de la carcasa.

Las causas de estas fallas son, básicamente:

- Deficiencias de diseño.
- Defectos durante fabricación y montaje.
- Deficiencias de operación, por ej. , por sobrecalentamiento.
- Deficiencias de mantenimiento.

Mejoras parciales, por ej. :

- Refuerzo de áreas críticas.
- Pulido de perfil de transición en soldaduras críticas.
- Redondeado y limado de esquinas agudas y mellas en sujetadores, perfiles, costillas y filos No mojar los soportes con el rociado de agua.
- Lubricación de los cojinetes de soporte libre.

Medidas de mantenimiento preventivo, por ej. :

- Inspección rutinaria de soportes y sujetadores con pruebas de tinte penetrante, partícula magnética y ultrasonido.
- Reparación de fisuras existentes por soldadura.

- Mantener el juego correcto de los tubos del enfriador en los cojinetes de soporte.
- Mantener los tubos del enfriador en buen estado, tanto interior como exterior.

Precauciones operacionales:

- Evitar el sobrecalentamiento de los tubos del enfriador, especialmente en las áreas de cojinetes de soporte y en aberturas de descarga de clinker.
- Evitar la deformación de los tubos del enfriador en las áreas de los soportes.



### 8.- TABLA GENERAL DE MANTENIMIENTO

EQUIPO	ACTIVIDAD	PERIODO
<b>HORNO</b>		
Chumacera de los polines	Revisión de : lubricación, refrigeración y control de temperaturas	Diario
	Inspección interna del desgaste de cojinetes, ejes y sistema de lubricación	Anual
Shell del horno, aros y rodillos de rodadura	Evaluación del desplazamiento y flotación	Diario
	Lubricación entre cara interior de llanta y almohadilla en todas las bases	Semanal
	Revisión de la fricción entre planchas de grafito y los polines en todas las bases	Semanal
	Evaluación del juego axial (LU) del eje de los polines	Semanal
	Medición y evaluación de la migración de las llantas con respecto al shell (sleep)	Semanal
	Lubricación de dispositivo e junta de cámaras de humos	Semanal
Polines de bases I y II	Cambio de aceite	Cada 2 meses
Polines de bases III y IV	Cambio de aceite	Cada 3 meses
Chumaceras de roldanas guías de empuje	Revisión de nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite	Semestral
Cadenas de cortinas y guirnaldas	Reparación	Anual
Revestimiento refractario	Evaluación y/o cambio según desgaste	Anual (parada programada)
<b>ACCIONAMIENTO Y TRANSMISION PRINCIPAL</b>		

Transmisión piñón- catalina	Cambio de aceite de transmisión, revisión del estado de los dientes, asentamiento, medidas y tolerancias	Anual
Transmisión contraeje y eje intermedio	Revisión de la lubricación	Semanal
	Cambio de aceite	Anual
	Revisión del estado de los dientes, asentamiento, medidas y tolerancias	Anual (parada programada)
	Revisión del nivel de aceite de chumaceras	Diario
Reductor de velocidad principal	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de aceite	Anual (parada programada)
	Inspección de vibraciones	Cada 15 días
Motor principal de accionamiento	Engrase de rodamientos	Cada 15 días
	Inspección de vibraciones	Cada 15 días
<b>MOTOR AUXILIAR</b>		
Reductor de velocidad de motor auxiliar	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite	Cada 2 años
Motor auxiliar	Engrase	Cada 3 meses
Chumaceras de soporte	Engrase	Cada 7 días
	Cambio de carga de grasa	Cada 2 años
Mecanismo de freno	Engrase	Cada 7 días
<b>VENTILADOR DE AIRE PRIMARIO</b>		
Chumaceras de transmisión	Control de temperaturas	Diario
	Inspección de vibraciones	Cada 7 días
	Cambio de carga de grasa y revisión de rodamientos	Cada año
	Engrase	Cada 7 días
Voluta, rotor	Revisión interior por desgaste y reparación	Anual

Fajas y poleas de transmisión	Revisión	Parada programada
Motor eléctrico	Engrase de rodamientos	Cada 7 días
	Inspección de vibraciones	Cada 15 días
<b>VENTILADOR DE AIRE SECUNDARIO</b>		
Chumaceras de transmisión	Control de temperaturas	Diario
	Inspección de vibraciones	Cada 7 días
	Cambio de carga de grasa y revisión de rodamientos	Cada año
	Engrase	Cada 7 días
Voluta, rotor	Revisión interior por desgaste y reparación	Cada año
Fajas y poleas de transmisión	Revisión	Parada programada
Motor eléctrico	Engrase de rodamientos	Cada 7 días
	Inspección de vibraciones	Cada 15 días
<b>ROSCA DE POLVOS DE CAMARAS DE HUMOS</b>		
Rosca de polvos de cámara de humos	Revisión y limpieza	Cada 7 días
Reductor de velocidad	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite y revisión del tren interior	Cada año
	Inspección de vibraciones	Cada 15 días
Chumaceras	Engrase	Cada 7 días
	Cambio de carga de grasa	Cada año
Motor eléctrico de accionamiento	Engrase de rodamientos	Cada 7 días
	Inspección de vibraciones	Cada 15 días
Acoplamiento entre motor y reductor	Revisión de pernos de acoplamientos, bridas	Mensual

Acoplamiento entre reductor y eje del tornillo	Revisión de pernos de acoplamientos, bridas	Mensual
<b>QUEMADOR DEL HORNO</b>		
Mechero	Reparación y cambio de tramos de parte terminal y revestimiento con cemento refractario	Anual (parada programada)
<b>ENFRIADORES PLANETARIOS</b>		
Enfriadores	Cambio de placas refractarios de casquetes y tubo enfriador deteriorados	Anual (parada programada)
Casquetes y sellos	Reparación	Anual (parada programada)
Cadenas de enfriadores	Cambio según desgaste	Anual (parada programada)
Chutes de descarga	Reparación por desgaste	Anual (parada programada)
Marcos de salida	Cambio o volteo según desgaste, revisión pernos de amarre a virola	Anual (parada programada)
<b>REGISTRO DE CELOSIA</b>		
Registro de celosía	Revisión de persianas, engranajes y lubricación	Cada año
Tubo de alimentación de pasta	Revisión del tubo y canaleta	Cada año
Reductor de velocidad	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite	Cada 2 años
Tren de engranajes	Cambio de aceite	Cada año
Motor eléctrico	Engrase	Cada 30 días
<b>ALIMENTADOR ROTATIVO DE PASTA</b>		
Balde de alimentación	Reparación del balde y tapón de sello	Anual
Caja y rotor del alimentador	Revisión y/o reparación	Anual

Acoplamiento entre motor eléctrico y reductor de velocidad	Revisión de acoplamientos, bujes y pernos	Cada 3 meses
Acoplamiento entre reductor de velocidad y reductor	Revisión de acoplamientos, bujes y pernos	Cada 3 meses
Variador de velocidad	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite	Cada 3 meses
Regulador de velocidad sinfín-rueda	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite y revisión interior	Cada 3 meses
Chumaceras de apoyo de eje del rotor del alimentador	Engrase	Cada 15 días
	Cambio de carga de grasa	Anual
Reductor de velocidad	Revisión del nivel de aceite	Diario
	Cambio de carga de aceite	Anual
Motor eléctrico de accionamiento	Engrase de rodamientos	Cada 7 días

## CONCLUSIONES

1.- La lista de propiedades de las fallas expuestas, tales como características, consecuencias, causas, etc., están basadas en experiencias reales, la intención es proporcionar una ayuda al personal de planta interesado en manejar y prevenir fallas, que servirá de base para aplicar un plan de mantenimiento adecuado que además de una buena práctica en la operación son la base esencial para toda operación de horno exitosa y libre de problemas.

2.- En lo que se refiere a fallas, es mejor prevenir que lamentar, para ello se debe realizar un estudio de riesgos de fallas en instalaciones existentes, asegurar la calidad de equipos nuevos o de sustitución.

3.- La inspección del horno es una herramienta muy valiosa para la dirección de una fábrica de cemento, porque es fundamental en la toma de decisiones de gran alcance por la aseguración de un factor de marcha alta, y con eso, la economía total de la fábrica.

4.- Para lograr una exitosa marcha del horno, el personal de mantenimiento debe conocer las virtudes y defectos del equipo así como conocer a fondo su operación, encontrar la causa de un problema facilita y hace económica su corrección.

5.- La rutina de inspección hará posible anticipar problemas potenciales y logrará prevenir el stock de repuestos para una parada programada, en vez de verse forzado a paradas imprevistas o situaciones de emergencia, sabiendo que la mayoría de repuestos de un horno tienen un largo tiempo de reposición para stock.

6.- Todo aquel que está interesado en la operación y mantenimiento de un horno rotatorio deberá ser entrenado para entender que no se trata meramente de un pedazo de tubo de tubo que gira sobre unos aros, sino de un conjunto de componentes ensamblados con una vital importancia.

7.- Los rodillos de soporte son sensibles a los ajustes (en virtud a la carga) y ellos reaccionarán, algunas veces violentamente, debido a la negligencia o abuso de estos movimientos, es necesario esperar a que el horno “reaccione” luego de realizarlos, es importante que sean ejecutados por personal idóneo y que se registren todas las actividades.

8.- La política de mantenimiento tiene que organizarse de manera tal que los trabajos sean efectuados durante una parada planificada, y siendo el objetivo de esta política evitar paradas espontáneas e involuntarias, normalmente, estas paradas proyectadas son de carácter anual, la técnica verdadera se encuentra en la habilidad de poder indicar cuáles de los trabajos de mantenimiento serán necesarios ejecutar en dicha parada.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1.- Mantenimiento mecánico del horno rotatorio, Erick Reinhardt, Ph.D., F.L.Smith & Co. A/S. (Seminario en Buenos Aires, Abril de 1994).
2. - Recommended procedures for mechanical analysis of rotatory kilns, by R.P. Chapman (1985).
- 3.- Mantenimiento mecánico del horno, F.L. Smith & Co. A/S Parts & Services Training (Asocem, Lima, Noviembre 1996).
- 4.- Seminario de Mantenimiento “Holderbank” 1989 en español en Bogotá, Colombia.
- 5.- Alignment analysis report, planta fábrica Cemento Sur, preparado por Robert Green y Alex Osorio, Phillips kiln service ltd., Mayo 1996.



FIG. 1 DIAGRAMA ESQUEMATICO DEL HORNO

