

TOPOGRAFÍA APLICADA

MÉTODO DE COMPROBACIÓN

DE ALINEACIÓN DE HORNOS ROTATIVOS

EN PLENA PRODUCCIÓN

Agrim. Carlos Alberto Melitón
Ingeniería en Agrimensura
Facultad de Ingeniería - Olavarría
UNICEN – Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Bs. As.

Carlos A. Melitón e-mail: meliton@topcant.com.ar

Daniel O. Moris e-mail: moris@topcant.com.ar

Topcant Asistencia Técnica SRL

Índice:

Introducción.	pg. 3
01.- Elementos técnicos del Horno Rotativo Horizontal.	pg. 4
02.- Mantenimiento, según las plantas industriales.	pg. 10
03.- Métodos adoptados por mantenimiento y su estrategia.	pg. 11
04.- Mediciones topográficas y distribución de cargas en los soportes	pg. 12
04.1 Tolerancias y vacilaciones.	pg. 12
04.2 Medición del eje de giro del horno rotativo en plena producción y régimen.	pg. 13
04.3 La forma del eje giro del horno	pg. 16
04.4 Verificación de ejes y radios de los rodillos	pg. 17
04.5 Distribución de las cargas en los soportes del Horno.	pg. 18
05.- Medición del desplazamiento relativo llantas vs. coraza y holgura. Oburg	pg. 21
06.- Medición de deformación de coraza -ovalidad-.	pg. 22
07.- Medición de siluetas periféricas de secciones y centros de rotación del casco.	pg. 27
07.1 Consideraciones técnicas.	pg. 27
07.2 Siluetas periféricas de secciones del casco. Movimiento de centros de rotación. . .	pg. 27
08.- Aplicación de técnicas de análisis. Diagnósticos y corrección.	pg. 29
09.- Bibliografía	pg. 30

Introducción

El horno rotativo es la **máquina central o el alma**, en una planta de calcinación, dado que el mismo provee una de las materias primas necesarias para el proceso, en las industrias de: cemento, cal, coque, celulosa, siderurgia, etc.

Producen cal cálcica, cal dolomítica, clinker, materiales indispensables para la producción de cales, cementos, carbón de coque, papel, acero.

Un horno con un alto factor de marcha, es decir con un **funcionamiento mecánico bien estable**, es esencial para la **economía total de la planta industrial**.

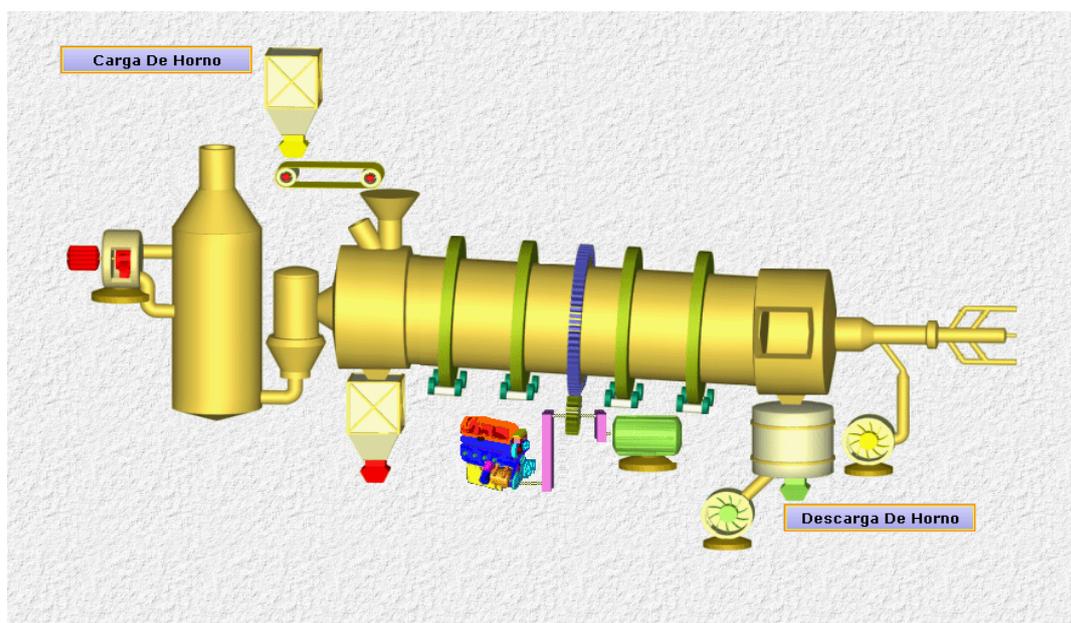
Las paradas espontáneas e involuntarias del horno, provocan **pérdidas extraordinarias en la producción**. Además representan erogaciones en la reparación que, por supuesto, deben pagarse, con pérdidas que las empresas normalmente, no están en condiciones de recuperar. Pueden producirse situaciones catastróficas, como consecuencia de averías en grandes piezas de fundición y que no se encuentran en el almacén, es decir en el depósito de repuestos de la planta. Muchas veces el plazo de entrega del proveedor asciende a días y meses. Y esto es sin control de la gerencia de la planta.

En principio, toda gerencia de la planta industrial, cuenta con dos remedios:
la política de la adquisición y almacenaje de los repuestos, y
la política del **mantenimiento**.

Los datos técnicos mecánicos y consideraciones de mantenimientos que se exponen en este trabajo, corresponden a aportes de plantas industriales y fabricantes de hornos.

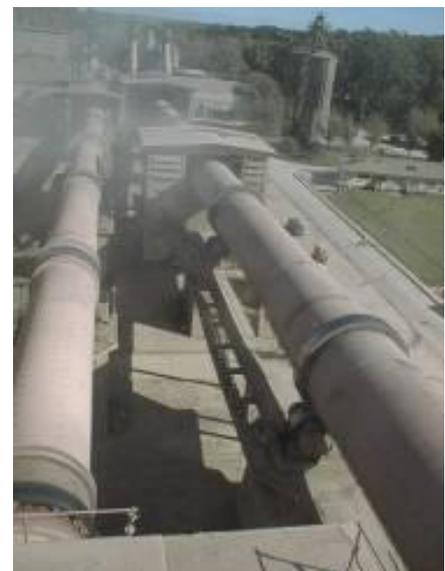
01.- Elementos técnicos del Horno Rotativo Horizontal. Datos de fabricantes

El horno consiste en un tubo cilíndrico de 3,5 a 7 m de diámetro, apoyado sobre estaciones de rodadura (2, 3 y hasta 8), tienen una inclinación depresiva, en dirección hacia la salida del material, de 2,5% al 4,5 % con respecto a la horizontal y gira a velocidades de rotación comprendidas entre 1,5 y 3,5 revoluciones/minuto (rpm).

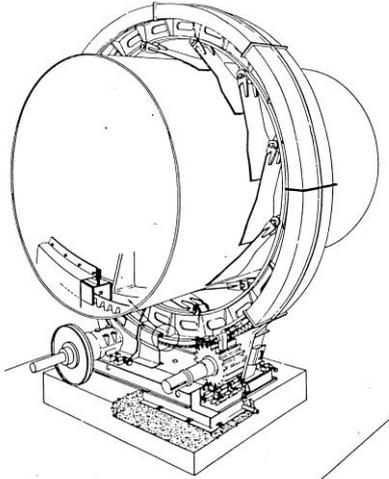




Antiguamente los grandes hornos, de proceso vía húmeda (pasta con un contenido de agua de 30 a 45 %), p.ej. con capacidad de 3000 tn/día, diámetro $D=6,3$ m. y longitud $L=227$ m, reposaban sobre 7 y 8 apoyos y han dejado paso, en los años 80, a los hornos de vía seca (o polvo crudo), de 3 apoyos equipados con precalcinador, que para una misma producción, tienen dimensiones p.ej $D= 4.2$ m y $L= 60$ m. Más recientemente, se ha propuesto una reducción de la longitud del horno de modo que repose solamente sobre dos apoyos, en lugar de tres, con lo que la relación L/D pasa de tomar valores entre 14 y 18 a tomarlos entre 10 y 13. Para una capacidad de producción igual, las dimensiones serían: $D= 4.4$ m y $L= 48$ m. Simultáneamente se ha propuesto un aumento de la capacidad de producción, así por ejemplo un horno de 7500 tn/día podría tener las siguientes dimensiones: $D = 5.6$ m y $L = 82$ m.



La rotación del horno es por medio de uno o dos grupos de accionamiento en los que un piñón acciona una corona dentada fijada sobre la virola (tubo cilíndrico). El sistema de accionamiento comprende un engranaje, en dos piezas, que rodea la virola (corona dentada) y los piñones (uno para los hornos pequeños, dos para los hornos grandes), ambos engranajes con acoplamiento, embragues, trenes de engranajes como reductores de velocidad y sus motores. El accionamiento del horno debe ser capaz de afrontar todas las situaciones de trabajo, incluyendo los casos extremos. La corona dentada y piñón van envueltos por una caja de plancha de acero, con estanca para el aceite (lubricación) y el polvo.



Accionamiento del horno rotativo. Piñón y corona

Con el fin de evitar los movimientos de deslizamientos de “sube y baja”, de los aros de rodadura, sobre los rodillos, el guiado axial del horno está asegurado por uno o dos topes hidráulicos con rodillos empujadores, las cuales imprimen al horno un movimiento axial limitado, con el fin de repartir de manera uniforme el desgaste sobre toda la superficie de los rodillos soporte.



Rodillo empujador

Inclinación: si el horno estuviera horizontal, los ejes de los rodillos de apoyo, del aro de rodadura y del horno podrían estar paralelos y el horno estaría en posición estable. Sin embargo, para que el material a calcinar, avance en el horno, tienen una inclinación de unos grados, de tal modo que es preciso compensar la componente que tiende a hacer descender el horno por un esfuerzo de sentido opuesto aportado sobre los aros de rodadura. Este esfuerzo esta suministrado mediante el no paralelismo entre los ejes de los rodillos de apoyo y el eje del horno y el rodillo empujador. Debe permitir que el desplazamiento entre el aro de rodadura y los rodillos soportes sea de 40 a 60 mm, con una duración de subida del horno del orden de 8 a 24 horas, mientras que la del descenso será de 4 a 8 horas. Según que el horno rotatorio este equipado o no, de rodillos empujadores este principio será diferente. Sin rodillos empujadores, los ejes de los rodillos soporte están orientados (cruce de rodillos), con respecto al eje del horno de manera de hacerlo subir. Cuando se llega a la posición más alta, la puesta en acción de un engrasador es suficiente para hacer descender el horno.

En el interior del horno la temperatura de los gases evoluciona de 2000 o 2350 °C (llama) a 1050 °C, mientras que el material (harina) pasa de 850 o 900 °C a 1420 o 1450 °C. Es por ello que el

revestimiento interno es de ladrillos refractarios y protegen a la virola y reduce las pérdidas de calor.



Revestimiento interno de ladrillos refractarios

Los tipos de horno rotatorio que se utilizan en la industria del cemento, varían sus modelos en los cuales el diámetro no es uniforme. El ensanchamiento de las zonas tiene por objeto, que disminuya la velocidad de los gases calientes y así mejoran en intercambio térmico entre ellos y el material. Sin embargo, en los hornos de sección no uniforme la velocidad con que avanza el material es diferente según la zona, siendo mayor en las zonas ensanchadas. Las consideraciones técnicas, teóricas y la experiencia práctica de los fabricantes han llevado a la conclusión de que la forma más conveniente es la que tiene la sección uniforme en toda su longitud.

El tiempo de permanencia del material en el horno puede ser 40 o 60 minutos a 3 o 5 horas.

Los aros de rodadura o anillos giratorios son los soportes del horno, montados sobre rodillos de soporte. Según la longitud del horno soporta sobre dos o más aros. La relación entre el diámetro de los rodillos y los aros, varía entre 1:2,2 y 1:4,4. Depende del diámetro del horno, número de aros y juegos de rodillos que soportan al horno, obedeciendo al criterio determinante del tamaño de los rodillos con respecto a la presión de contacto que permitan los cojinetes. Las cargas radiales de la virola se transmiten a las fundaciones por medio de los aros de rodadura, los rodillos soporte y los palieres.

La carga radial del horno (Q_r), se reparte uniformemente sobre los dos rodillos, con una carga por rodillo igual a:

$$Q_r = Q/2\cos\alpha$$

se descompone en sus componentes vertical y horizontal:

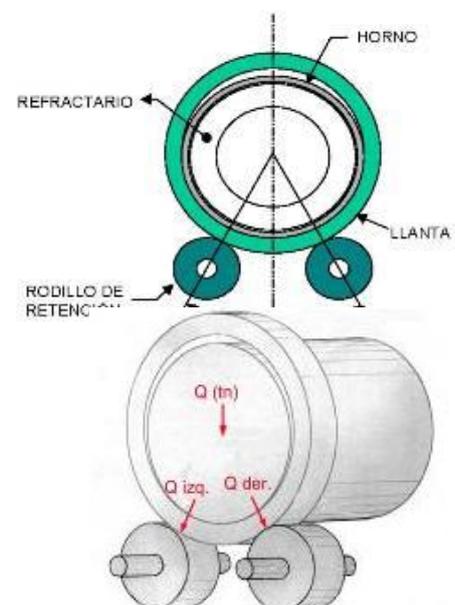
$$Q_v = Q_r \cos\alpha = Q/2 \text{ (independiente del valor de } \alpha)$$

$$Q_h = Q_r \sin\alpha = (Q/2\cos\alpha) \cdot \sin\alpha = Q \cdot \tan\alpha / 2$$

(dependiente del valor de α)

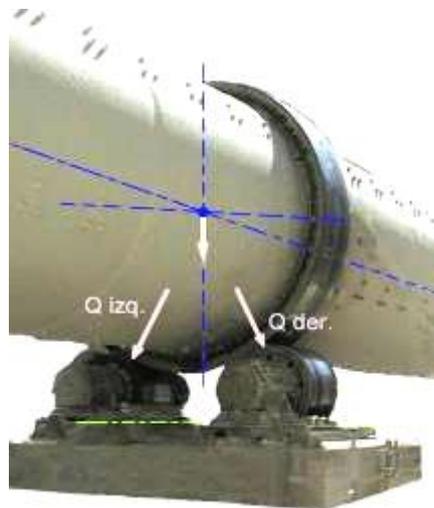
Al aumentar el valor de α lo hace Q_h , con lo que existe una carga mayor sobre las estaciones de rodadura, pero por otra parte aumenta la estabilidad del horno sobre los rodillos soporte, por tanto hay que ir a una solución de compromiso.

El valor de $\alpha=30^\circ$, es el aceptado como el valor de compromiso.

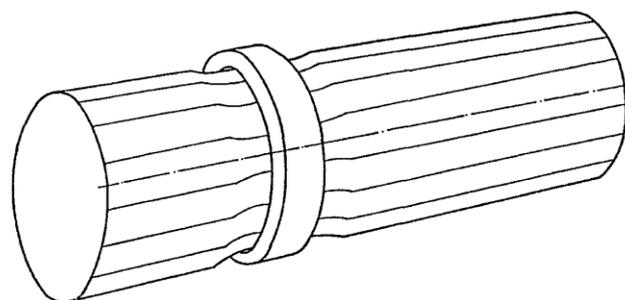


Los soportes de los rodillos están montados en cojinetes de casquillos lisos o en ocasiones cojinetes de rodillos

El diámetro exterior de los rodillos soporte, en general, están comprendido entre 1 y 2,5 m y un largo de 0,90 a 1,5 m. Por la dilatación del horno, es necesario prever el largo (pisada) de los rodillos soportes superior a la de los aros de rodadura en 40 a 80 mm.



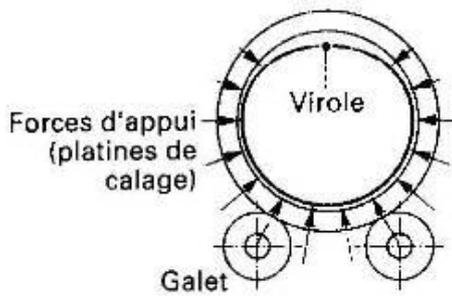
Los aros de rodadura o anillos constituyen las piezas de soporte, por medio de las cuales se transmite, la carga del horno y su contenido, a los rodillos de rodadura. Esta función debe realizarse con seguridad sin que influyan los movimientos longitudinales y la dilatación térmica de la virola del horno. El diámetro interno del aro debe ser suficientemente holgado, para que permita una separación adecuada de la virola, cuando el horno alcance la temperatura de trabajo en su plenitud. Una separación insuficiente tiende a causar estrangulamiento y encogimientos. La ovalización de esta última (deformación elíptica) debe estar debajo del 0,2 % (según fabricantes).



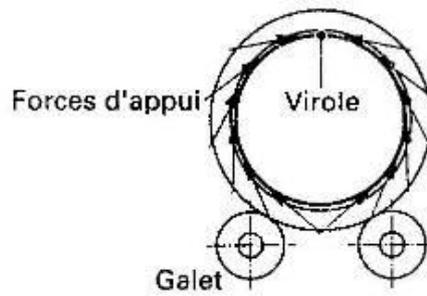
Estrangulamiento del horno

Las dimensiones de los aros de rodadura (longitud y espesor) son proporcionales a la masa a soportar. Hay dos tipos de aros de rodadura. El tipo de aros de rodadura flotantes, son aquellos que deben tener un movimiento relativo muy pequeño con la virola, para que la ovalización se mantenga dentro de valores aceptables, para ello deben ser suficientemente rígidos. En el tipo cerrados (crànte) o "fijos", la virola del horno esta posicionada casi concéntricamente con respecto al diámetro interior del aro de rodadura. Las fuerzas de apoyo son aplicadas tangencialmente por medio de muescas o dientes repartidos sobre el diámetro interior del aro de rodadura y permiten limitar la ovalización a un valor ligeramente más elevado que el del aro de rodadura flotante. Los dientes pueden formar parte del cuerpo del aro de rodadura en el interior de este (sistema fabric.

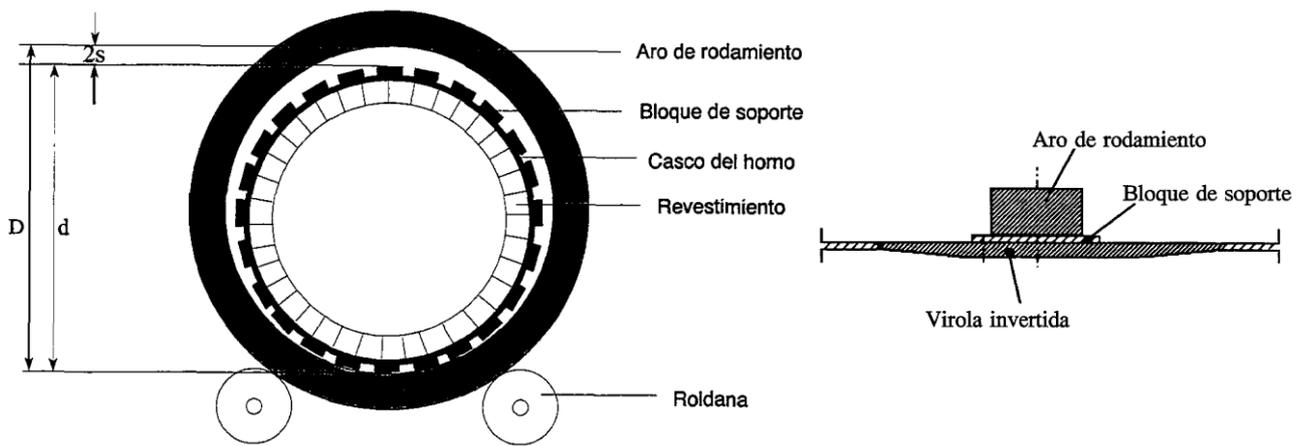
Polysius), o bien ser añadidos y fijados lateralmente al aro de rodadura por bulones (sistema fabric. FLS, suspensión tangencial). El posicionamiento axial de los aros de rodadura están asegurado, bien sea por dos cercos continuos de una y otra parte del aro de rodadura apoyándose sobre topes de "parada" soldados a la virola o bien por bloques guiados lateralmente posicionados alternativamente de una y otra parte del aro de rodadura y soldados a la virola.



(a) bandage flottant
aros de rodadura flotantes



(b) bandage cranté
aros de rodadura cerrados (crànte) o "fijos"



aros de rodadura flotantes



Aros de rodaduras cerrados (crànte) o "fijos"

En condiciones normales de trabajo, la luz entre la virola y el aro, llamado huelgo (δ), debe ser entre 3 a 20 mm, dependiendo de las temperaturas de ambos componentes. Con aros flotantes, se podrá mantener una ovalización aceptable, si la chapa de la virola es suficientemente rígida, en conjunción con el aro construido con el menor huelgo posible, y con el riesgo de que la virola sea estrangulada por dicho aro.

El huelgo del aro (δ) y su desplazamiento circunferencial (V), con respecto a la virola deben ser vigilados continuamente. Si el distanciamiento es demasiado grande, podrá reducirse por inserción de suplementos o cambios de bloques soportes -o tacos de rodadura o zapatas o empaques- entre el aro y la virola. La relación en V/δ debe ser entre 1,5 y 2,5.



El tubo cilíndrico metálico exterior del horno rotatorio está constituido por un conjunto de elementos soldados llamadas virolas, fabricadas a partir de chapas de acero de un ancho de aproximadamente 2,20 m, con las cuales se forman tubos del diámetro interior del horno.



0.2. Mantenimiento, según las plantas industriales.

Durante la marcha del horno rotativo pueden originarse ciertas cosas que, a menos que sean contrarrestadas correctamente, irán incomodando gradualmente en las condiciones mecánicas e implicarán un riesgo latente en la continuidad del mismo.

Muchas veces, al detectarse una avería, el efecto se lo observa en uno de los componentes del horno. Sin embargo, el origen del desperfecto se encuentra en variaciones del acoplamiento físico, entre este componente y otros. Los síntomas se detectan de inmediato, pero la “enfermedad” concreta permanece oculta.

El mantenimiento tradicional y oportunista contrarresta los síntomas. Por ejemplo: las fisuras se reparan cuando se detectan, o bien cuando han crecido inaceptablemente. Sin embargo, a pesar de esto seguirán apareciendo. Inevitablemente, esta filosofía de mantenimiento se caracteriza por una cantidad creciente de fallas en el horno. Es necesario realizar entonces, una opción consciente entre el grado deseado del mantenimiento preventivo y la cantidad y composición del depósito de repuestos.

Una política moderna de mantenimiento está basada, entre otras, en metodologías para evitar las paradas espontáneas, más bien que en la capacidad de rápida reparación de las fisuras.

Naturalmente, las paradas para mantenimiento preventivo, son inevitables y se organizan de manera tal que estos trabajos son efectuados durante paradas planificadas.

El objetivo de esta política es evitar paradas espontáneas e involuntarias con introducción de un sistema de paradas planificadas. La verdadera técnica se encuentra en la habilidad de poder indicar cuáles de los trabajos de mantenimiento serán necesarios en aquel entonces. Y aquí, naturalmente, es imprescindible el conocimiento de las “enfermedades” con que el horno, eventualmente, pueda ser contagiado.

La siguiente fotografía muestra las fisuras en el casco de un horno, producto de una alineación errónea. Provisoriamente se han realizado soldaduras en las mismas y reforzado con tensores y “costillas”.



03.- Métodos adoptados por mantenimiento y su estrategia.

Está demostrado que un horno desalineado, con deformaciones de coraza o con una distribución de esfuerzos no balanceada sobre las bases de apoyos, produce una **drástica disminución de la vida del revestimiento refractario**, siendo este el elemento que mayor incidencia tiene en el costo de la reparación de los hornos.

En el presente trabajo se muestran los **métodos adoptados por mantenimiento** de las plantas industriales, para garantizar el correcto estado de todas las variables mecánicas que atentan contra el refractario y por ende contra la vida útil de los hornos.

En el mismo se describen aplicaciones de **técnicas de medición y control con los hornos en funcionamiento**, tales como:

- a) *Mediciones topográficas (c/Estación Total Electrónica) y distribución de cargas en los soportes.*
- b) *Medición del desplazamiento relativo de llantas vs. Coraza y holgura. (c/Oburg)*
- c) *Medición de deformación de coraza -ovalidad- (c/Shelltest).*
- d) *Medición de siluetas periféricas de secciones y centros de rotación del casco del horno (efecto cigüeñal y movimiento planetario)*
- e) *Aplicación de técnicas de análisis, que permiten diagnosticar y corregir anomalías antes de que se produzcan daños irreparables.*

Los **beneficios que se obtienen** con esta estrategia de mantenimiento son:

- Reducción de costos de refractarios
- Aumento de la vida útil del horno rotativo
- Reducción de costos de mantenimiento.
- Aumento de disponibilidad del equipamiento.

La **estrategia** consiste fundamentalmente en un **mantenimiento correctivo**. Basado fuertemente en inspecciones visuales y mediciones de la “pisada” de los aros de rodadura del horno en los rodillos, con hilos de plomo y la “laminación” por exceso de presión. También se controla el consumo eléctrico del motor de giro (amp), la temperatura en las bases de apoyo del horno en los cojinetes, temperaturas del casco y anillos, etc.

Otro parámetro muy importante que se observa es el comportamiento natural del horno en cuanto a su desplazamiento longitudinal entre los topes superior e inferior. Es de hacer notar que hay hornos que no poseen empujadores hidráulicos, por lo que para poder “subir” hacia el tope superior y/ó mantenerse “centrados”, los rodillos de algunas bases deben contar con un “cruce”. Dicho “cruce” genera fuerzas coaxiales en el sentido ascendente del horno.

El **equilibrio axial del horno**, es decir, el equilibrio entre la fuerza axial de gravitación del horno y las reacciones correspondientes al sistema de roldanas de guía y de los rodillos de soporte, pueden ser alterados la manifestación de las averías originadas, por ejemplo, empujadores tronchados, cojinetes recalentados, y perfiles desgastados en los aros o anillos de rapamiento y rodillos de soportes. El origen de de las grandes fuerzas de fricción son las inclinaciones de los rodillos de soporte en relación al eje del horno. Aunque dichas inclinaciones sean pequeñas, pueden producir fuerzas de fricción muy grandes. Por lo general para remediar estos problemas se lubrican las

superficies de los anillos de rodamiento y anillos de soporte, con aceite, grasa o grafito, reduciendo así el coeficiente de fricción y consecuentemente las cargas axiales.

El mantenimiento predictivo se basa fundamentalmente en la medición de ciertos parámetros, tales como: alineación del eje de giro, ovalidad, holgura, cruce de rodillos, etc. Estas mediciones y controles se ejecutan con el horno en marcha y a plena producción. Los datos relevados son luego procesados en computadora por medio de programas específicos.

Una vez procesada la información surgen las medidas correctivas a implementar para lograr que el horno trabaje correctamente.

La implementación de estos controles y correcciones permite evitar detenciones imprevistas del horno por roturas de diversos componentes del sistema de giro. Estas detenciones provocan cuantiosas pérdidas de producción y elevados costos de reparación.

Además está internacionalmente comprobado que un horno desalineado y/ó ovalizado provoca el desgaste prematuro del revestimiento refractario, siendo este el insumo más costoso de este tipo de instalación.

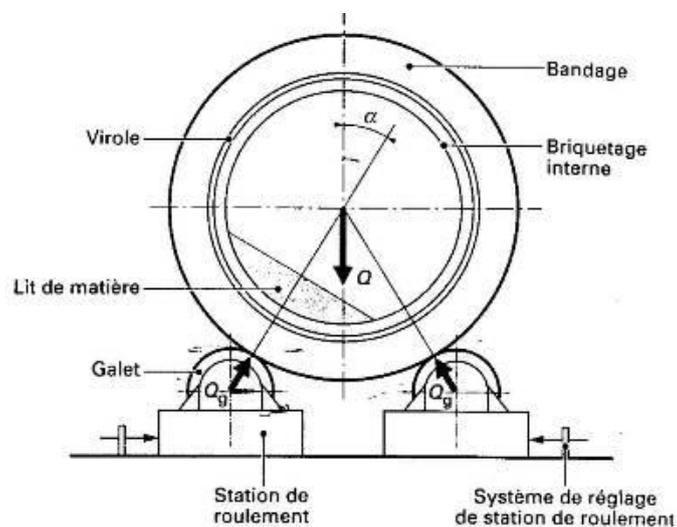
04.- Mediciones topográficas y distribución de cargas en los soportes

En el transcurso de los últimos años, la metodología de mediciones se ha desarrollado basándose en la utilización de métodos, con equipos modernos electrónicos y de alta tecnología. Esta evolución ha tenido por efecto **la medición de la alineación del horno rotativo en plena producción y en equilibrio térmico global.**

04.1.- Tolerancias y vacilaciones

Para poder evaluar la aptitud del método, es necesario definir previamente las tolerancias que los resultados deben satisfacer.

El esfuerzo vertical en cada soporte, es igual a la suma de las cargas estáticas primarias, del revestimiento, de la costra, de la materia prima y de la fuerza elástica de la inclinación vertical del eje del horno. Durante la producción la posición de la materia prima, se desplaza un cierto trecho horizontal, desde el plano de simetría vertical a través del centro de rotación. Por lo tanto la fuerza vertical forma un momento de torsión. Pero, este momento se equilibra con el momento de propulsión al girar.



La materia prima, se desplaza un cierto trecho horizontal

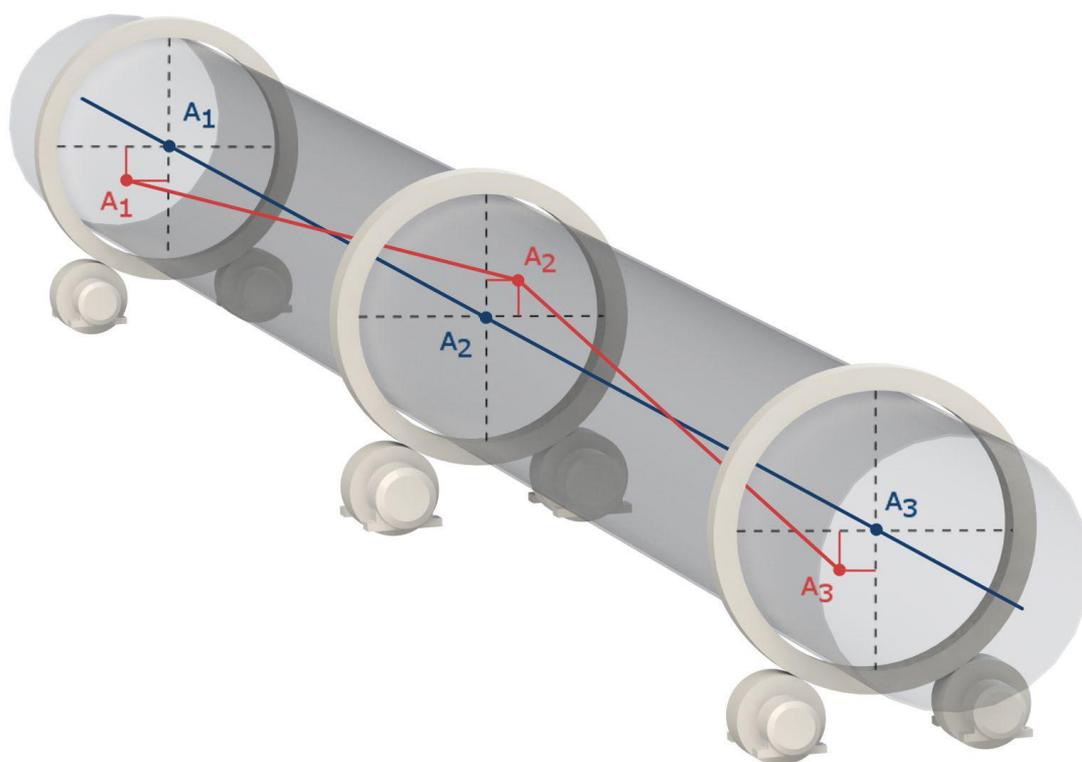
Las fuerzas verticales y horizontales forman las reacciones radiales en los rodillos y mantienen el equilibrio con la fuerza vertical del horno. Si ésta fuerza (F), se incrementa verticalmente (ΔF), este incremento es absorbido con igual incremento de las dos reacciones antedichas, es decir con $0,58 \cdot \Delta F$, recordando que $\text{tg } 30^\circ = 0,577$. Si en contrario el incremento (ΔF) es horizontal, la situación no es la misma; en este caso el incremento (ΔF) se suma directamente de una de la reacción horizontal y se sustrae directamente de la otra. Por lo tanto el peligro de una deformación horizontal, del eje del horno es de $1,0/0,58$, o sea igual a 1,7 veces el peligro de la misma deformación vertical.

Este método de medición puede demostrar una exactitud en el plano horizontal, que es 1,7 más que la exactitud en el plano vertical. Por consiguiente las deformaciones horizontales del eje del horno, representan aproximadamente el doble del peligro que las deformaciones verticales.

Los resultados de las mediciones verticales y horizontales del eje del Horno, deben satisfacer las vacilaciones de $\Delta v = \pm 2,5$ mm y $\Delta h = \pm 1,5$ mm respectivamente, es decir por debajo de la relación 1,7 entre las desviaciones verticales y horizontales, obteniéndose igual tolerancia en ambas

04.2.- Medición del eje de giro del horno rotativo horizontal en plena producción y régimen

Con la aplicación de este método técnico topográfico específico y los instrumentales electro-ópticos -con rayos infrarrojos y láser incorporados-, se determinan los centros geométricos tridimensionales del eje de giro del Horno Rotativo. Es decir se resuelven las coordenadas en el espacio (3D) del eje de giro en cada apoyo, o sea de las secciones transversales del horno en cada soporte, siendo éstas no visibles y no pudiendo determinarlas en forma directa. Posteriormente por cálculo se deducen las **desviaciones horizontales y verticales**.



Representación del eje de giro desalineado



Las determinaciones topográficas se llevan a cabo sin interrumpir la producción, ni se excede las reglamentaciones de seguridad.

Previamente se buscan y “descubren o liberan” de la suciedad o costra, los ejes que se hayan utilizado en el montaje del horno, es decir marcas, rayas o puntos grabados en los bastidores o bases de la estaciones, ya sean longitudinal (eje horno) y transversal (de cada par de rodillos). Se busca algún punto fijo altimétrico que se haya utilizado antiguamente en el montaje del horno o que se vinculen actualmente en fábrica, a veces monumentados.

Se materializan marcas o señales de referencias -cruces con trazos finos horizontales y verticales-, o reflectantes, en lugares estratégicos, que perduren y sean estables en el tiempo. Los mismos deben estar ubicados a cortas distancias ($< 35\text{m}$) entre sí y del horno. Además en la trayectoria de las visuales que se dirijan a ellos, no deben existir obstáculos, vibraciones y diferencias térmicas importantes -por radiación del horno-, que alteren la trayectoria de los rayos. Otra condición es que en cada estación, donde se utiliza un taquímetro electrónico, al ser medidos, deben formar triángulos aproximadamente equiláteros evitando así los ángulos agudos.

El taquímetro electrónico a utilizar, comprende una Estación Total, con rayo infrarrojo y láser 1/I y 2/II, con una precisión de $\pm 2\text{ mm} \pm 2\text{mm/km}$ y apreciación de $3''$, aumento 30x, con alcance de distancia sin prisma de 500m. Se complementa con un miniprisma, con altura de bastón de 10 cm, para medición de los ejes de montaje. La experiencia con una Leica TCR403 Ultra es muy positiva.

Se realiza una nivelación geométrica compuesta, de los puntos de referencia con un nivel óptico. En lo posible de 32x aumentos y precisión en nivelación compuesta $p/\text{km} \pm 0,7\text{mm}$. Se utiliza para ello un mira parlante milimetrada -lo ideal sería un mira invar-, perfectamente verticalizada. Se lee al milímetro, aunque la altimetría requerida es de una vacilación de $\pm 2,5\text{ mm}$. La experiencia con un Wild-Leica NAK2 es positiva.

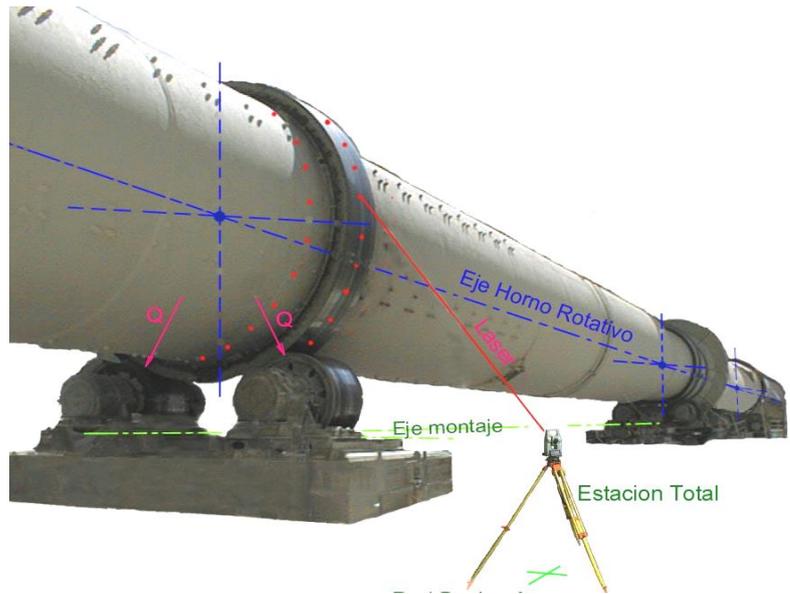
Los puntos de referencias pasan a materializar una “red básica de apoyo planialtimétrica ad-hoc”, tal que con el Estación Total Electrónica, en cada estación, se aplicará el método de estación libre, es decir se le asigna coordenadas x, y, z, referidas al eje de montaje y altimetría de fábrica. De este modo no se materializan los puntos en cada estación, dado que con posiciones estratégicas, se elegirán las más convenientes para medir el horno. Las observaciones de cada referencia se reiteran al menos tres veces, desde distintas posiciones, se le van asignando coordenadas x e y promediadas, eliminando aquellas que tengan una dispersión de $> \pm 2\text{mm}$. El eje Y coincide con el eje de montaje con asignación de un valor tal que no resulten progresivas negativas, o sea el origen

puede ser arbitrario o coincidir con el eje de la torre de precalentamiento. El eje X, perpendicular al anterior con su dirección positiva hacia el sentido de giro del horno.

La medición del horno consiste en la observación y medición de varios puntos materializados con el con el rayo Láser de la Estación Total Electrónica (bombardeo), en la superficie exterior del horno, en la llanta de cada aro de rodadura y en dos secciones del casco a ambos lados del mismo, estando éste en rotación. Reiterándose las mismas en el lado opuesto de cada anillo a los efectos de obtener una mayor cantidad de puntos, almacenando las determinaciones en memorias internas para calcular los diámetros y controlar los datos. La estrategia de cada estación libre es: acceder al menos a 3 puntos de referencia en forma radial -con ángulos a 60° preferentemente- y visualizar la mayoría de las partes del horno (aros de rodadura, casco, rodillos) de la mayor cantidad de apoyos.



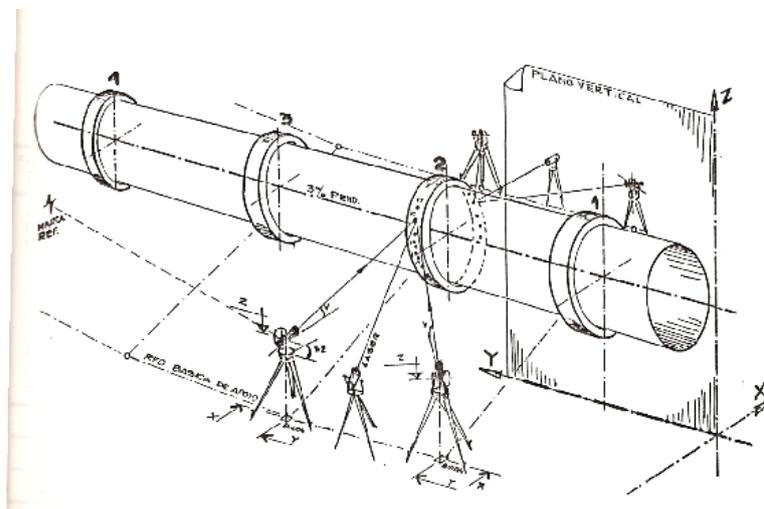
Estación Total Electrónica



Medición de puntos con rayo láser

Las observaciones se las transfiere, de las memorias internas del instrumental electrónico a un ordenador personal (PC).

Antiguamente, en los años 90, se aplicaba el método topográfico de nivelación trigonométrica doble, bisectando a un punto láser simultáneamente con dos teodolitos, estacionados en puntos de una red básica, previamente determinada.

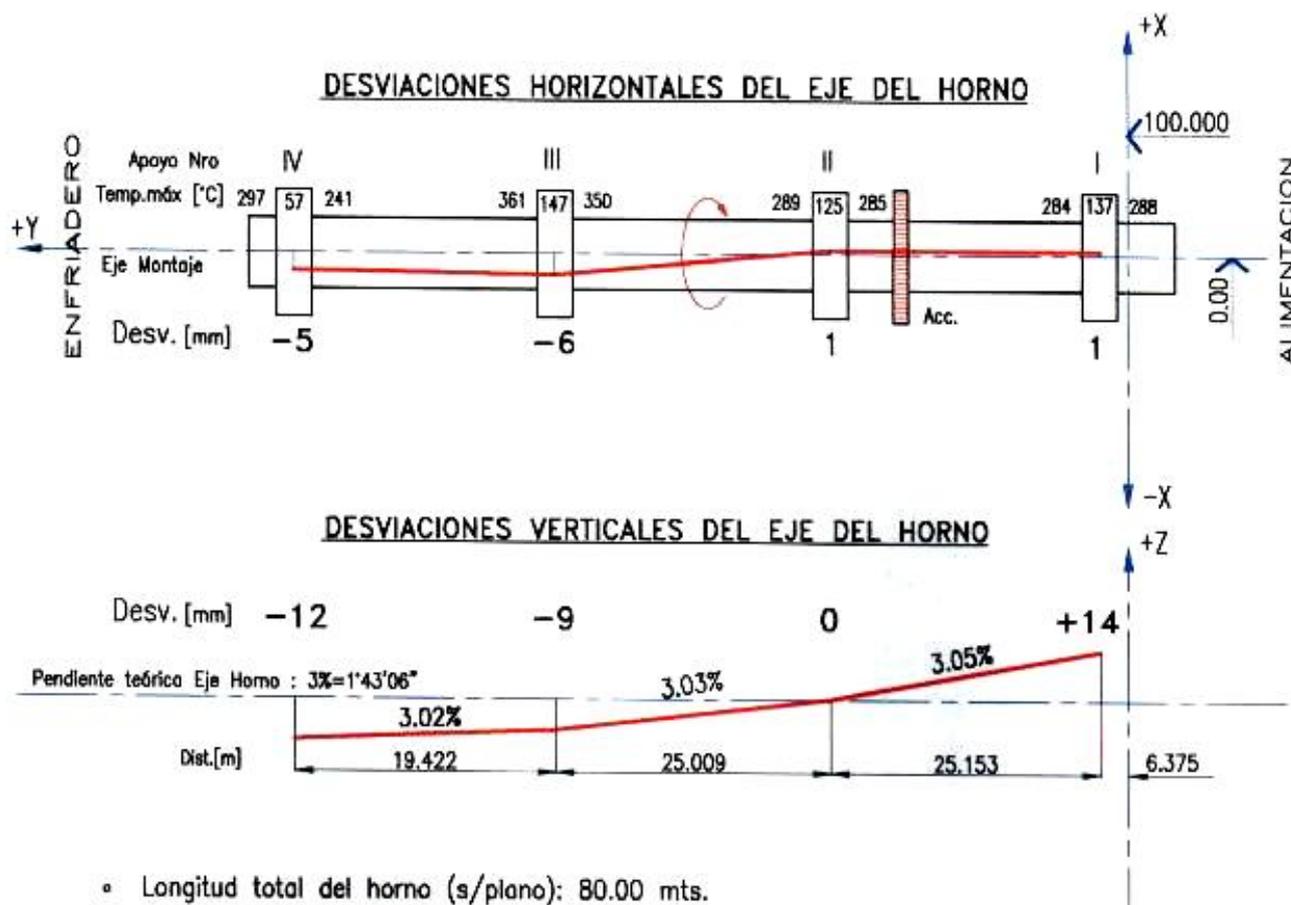


Nivelación trigonométrica doble

04.3.- La forma del eje giro del horno

Con la utilización de un ordenador personal y el software de cálculo específico; las circunferencias se resuelven en un plano abatido, dado que pertenecen a un plano inclinado de cada aro de rodadura. Se toman puntos diametralmente opuestos de a tres y sus circunferencias se promedian. Calculan los centros de circunferencias (X_h, Y_h) del casco del horno respecto al plano vertical que contiene al eje de rotación del Horno, las altimetrías (Z_h) de los mismos -referidos a un plano horizontal- y sus respectivos radios. Del promedio o media aritmética de éstos resultados, surgen entonces las coordenadas de los centros (X_a, Y_a, Z_a) de los aros de rodadura y los centros (X_c, Y_c, Z_c) de las dos secciones del casco. Comparando, los valores X_h con la coordenada X del plano vertical YZ -que contiene al eje teórico de rotación del horno- resultan entonces las **desviaciones horizontales X_h del centro del horno en cada anillo respecto a su eje.**

A cada valor de Z_h (altimetría del centro del horno en cada anillo en el lugar geométrico Y_h) se le suma la mitad de la luz (δ) entre el anillo y las placas de rodadura -fijas a la carcasa del horno- es decir, el medio huelgo δ , si lo tuviere. Se logra el valor de Z_a , o sea, la altimetría o cota del centro del anillo en la coordenada Y_a . Previamente, con la inclinación o pendiente, del eje de rotación, se calculan las altimetrías o cotas teóricas en cada coordenada Y_h ; por lo que comparando con los Z_h y se obtienen las **desviaciones verticales Δz solicitadas:**



- Longitud total del horno (s/plano): 80.00 mts.
- Diametro interno del horno (s/plano): 5.000 mts.
- Vel. Giro= 1.88 rpm
- Consumo Acc.=2016 Nm/m
- Producción=3150 tn/dia

Planilla y gráficos con las desviaciones en planta y vista

Las vacilaciones en la determinación de las coordenadas de los puntos, son de $\pm 2,5$ mm y para las coordenadas de los centros de los anillos, promediados es de $\pm 1,5$ mm en horizontal y $\pm 2,5$ mm en vertical cumpliendo las expectativas de medición.

Para las desviaciones verticales, se hace coincidir el plano de comparación con el apoyo más cercano al accionamiento, dado que se supone ante una eventual corrección de los rodillos, no debe alterar la posición entre el piñón y la corona.

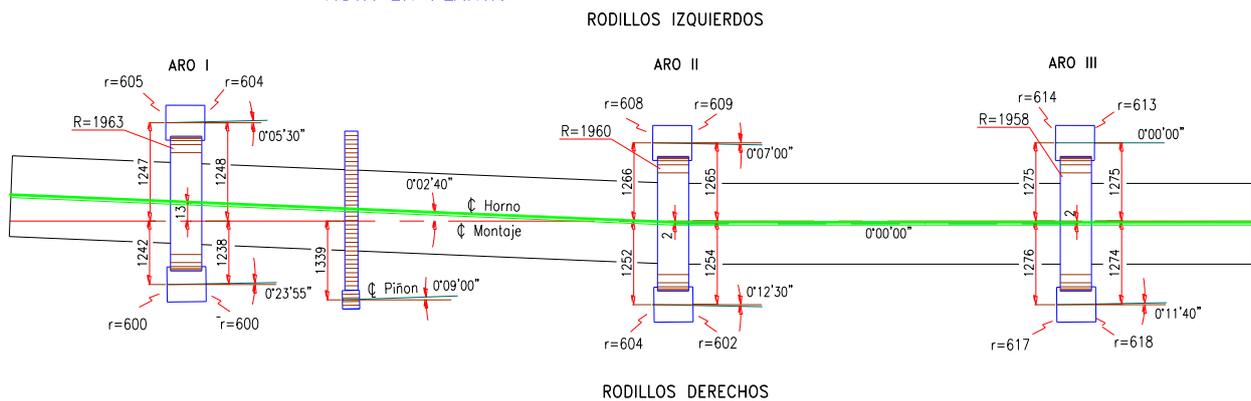
El gráfico del eje del horno, en vista, para una mejor ilustración de las desviaciones verticales, se lo representa horizontal, pero en la realidad tiene su inclinación.

04.4.- Verificación de ejes y radios de los rodillos

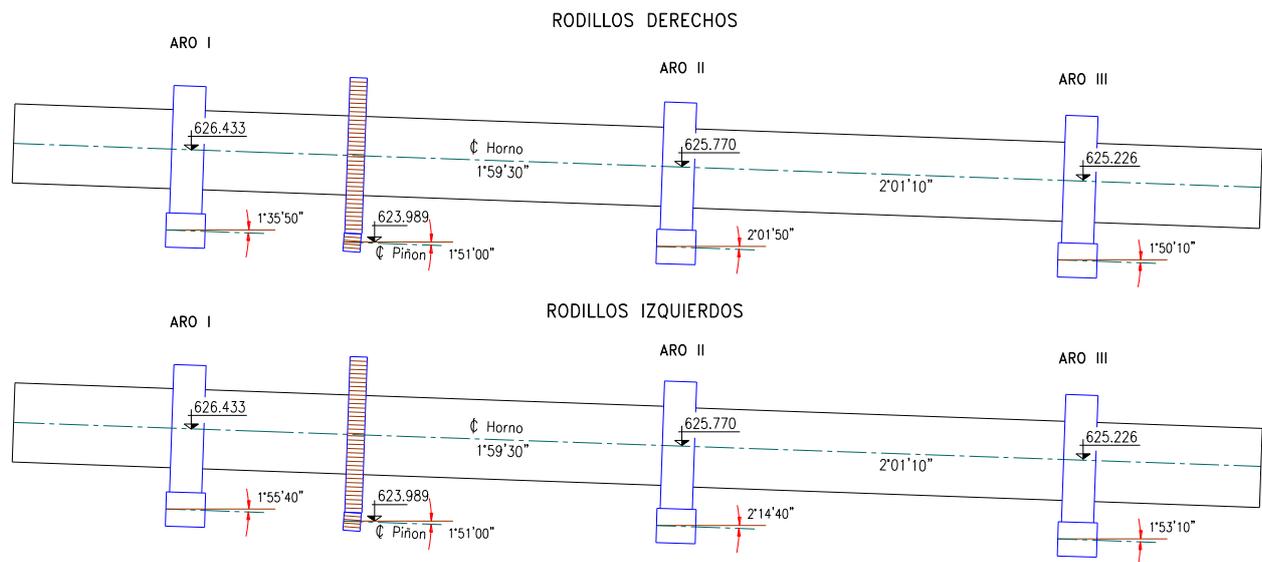
Se trata del mismo método técnico topográfico anterior, asistido por tecnología láser con Estación Total electrónica, que determinan los ejes de giro de los rodillos y radios, durante el proceso producción.

Las mediciones se ejecutan en la franja donde apoya la llanta de los anillos, se determinan sus radios y la ubicación de los ejes de giro respecto al eje de montaje del horno como se grafica en las figuras siguientes. Además, de ser accesible, se miden el eje de accionamiento del piñón, a los efectos de sugerir los movimientos horizontales teóricos de los rodillos, para un ajuste horizontal y vertical del eje de giro del horno, de ser necesario.

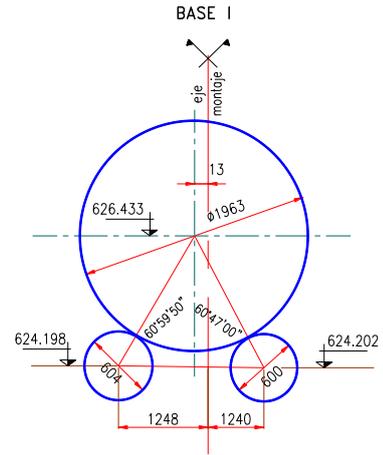
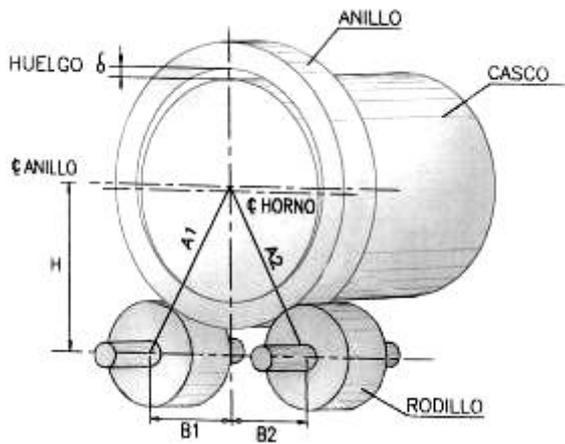
VISTA EN PLANTA



VISTA LATERAL

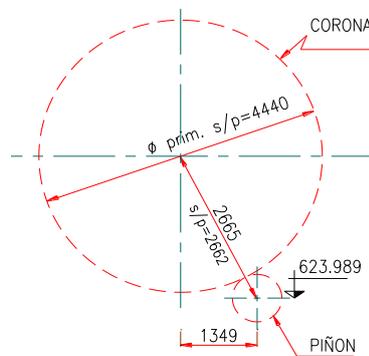


Ubicación de los ejes de giro y radios de los rodillos respecto al eje de montaje del horno

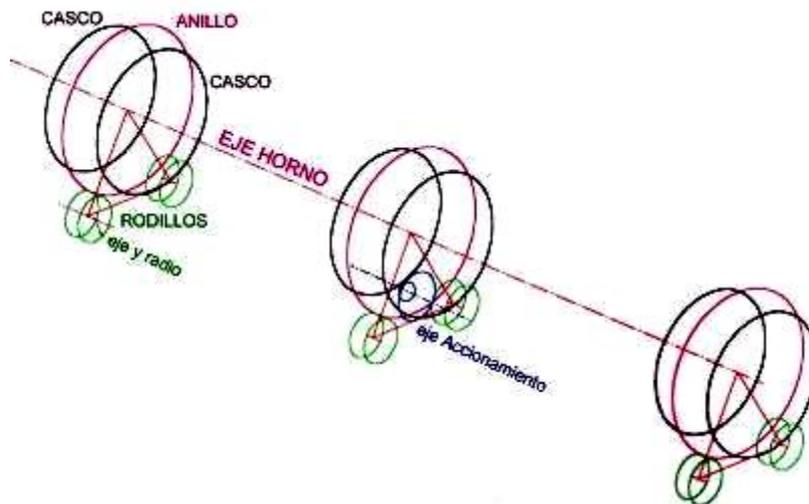


Ubicación de los ejes de giro y radios de los rodillos respecto al eje de montaje del horno

ACCIONAMIENTO



Ubicación del eje de accionamiento del piñón,



04.5.- Distribución de las cargas en los soportes del Horno

Físicamente, el horno rotativo está considerado como una viga continua, elástica y simplemente soportada. Al tener más de dos soportes, se torna estáticamente indeterminada. Esto significa que las reacciones de los soportes (rodillos) dependen, no solo del propio peso y de las cargas, sino

también de la rigidez del horno. La característica de rigidez del horno, puede tener consecuencias graves con respecto a la situación mecánica del horno rotatorio.

En la práctica, el eje de giro y óptimo del horno raramente es rectilíneo. Pero, normalmente, **el componente horizontal tiene que ser rectilíneo**. Esto supone el conocimiento de la característica de la rigidez del horno específico y también conocimiento de las condiciones actuales del revestimiento, de la costra, la harina, los componentes y de los accesorios interiores del horno.

La característica de rigidez de un horno se formula en términos matemáticos en: cómo varía en cada rodillo el cambio porcentual de carga, por milímetro de cambio del eje del horno. O sea, da una idea de la sensibilidad del horno por variaciones en la configuración de su eje.

Debe conocerse la carga real total del tubo en condición de proceso a pleno régimen. Las características de rigidez, determinan la carga teórica para cada base y con las determinaciones de las coordenadas del eje real del horno, se obtiene la carga real soportada por cada rodillo. Con la utilización de un ordenador personal y el software de cálculo específico; se procesan las desviaciones verticales y horizontales del eje de rotación del horno y los estados de carga.

Se determinan así, las solicitudes en cada rodillo con los porcentajes de variación de cargas, con respecto al horno sin desviaciones. La solicitud de carga sobre cada rodillo se expresa en valor absoluto y en porcentual, respecto de su valor de sollicitación teórico como se observa en las tablas siguientes:

DATOS Y RESULTADOS

BASE Nº	ESTADOS DE CARGA			TOTAL CARGAS (a) [tn]	DISTRIB. CARGAS P/DESVIAC. VERTICALES		VARIACIONES (d) %
	1 [tn]	2 [tn]	3 [tn]		Desv. (b) [mm]	Cargas (c) [tn]	
I	114,8	112,4	35,3	262,5	14	276,6	5,4
II	187,9	225,6	66,3	479,8	0	467,6	-2,5
III	153,4	398,9	52,2	604,5	-9	581,8	-3,8
IV	144,9	201,1	32,3	378,3	-12	398,9	5,4

Estado 1: Cargas por peso metálico (casco, anillo, corona, etc.)

Estado 2: Cargas por peso de los refractarios y costra.

Estado 3: Cargas por peso de la materia prima.

(a): Cargas totales sobre cada base considerando el horno teóricamente alineado (sin desviaciones).

(b): Desviaciones verticales del horno en cada uno de los apoyos.

(c): Distribución de las cargas debido a las desviaciones verticales solamente.

(d): Variación porcentual de las cargas (c) con respecto a (a).

DISTRUB. CARGAS P/DESVIACIONES HORIZONTALES			SOLICITUDES SOBRE RODILLOS			
BASE Nº	Desv. (e) [mm]	Cargas (f) [tn]	IZQUIERDO		DERECHO	
			Cargas (g) [tn]	Variac. (h) %	Cargas (i) [tn]	Variac. (j) %
I	1	-32,3	127,4	-15,9	192,0	26,7
II	1	102,2	372,2	34,4	167,8	-39,4
III	-6	-118,2	217,7	-37,6	454,1	30,1
IV	-5	48,3	278,6	27,6	182,0	-16,7

(e): Desviaciones horizontales del horno en cada uno de los apoyos.

(f): Distribución de las cargas debido a las desviaciones horizontales solamente.

(g): Solicitación resultante en el rodillo izquierdo considerando ambas desviaciones. Dividiendo el resultado por 2, se obtiene la carga por cojinete.

(h): Variación porcentual de las cargas en el rodillo izquierdo originada por las desviaciones.

(i): Idem (g) en el rodillo derecho.

(j): Idem (h) en el rodillo derecho.

Con el conocimiento espacial del eje de giro del horno, la rigidez del mismo y las diferentes cargas en el horno, se concluye las cargas presentes en cada soporte (rodillo). Estas cargas individuales en cada rodillo deben ser comparadas con las capacidades nominales de los mismos.

Realizado el control de alineación del eje de giro del horno en caliente con sus conclusiones, en el plano de planta y elevación, donde se pueden observar los desplazamientos con su formas de "banana", "joroba" o "arcos", es necesario realizar a priori los ajustes de los rodillos de soportes a los fines de disminuir la desalineación.

Para una **simulación de corrección**, se ensayan distintas alternativas de los desplazamientos de los centros geométricos del horno, en los apoyos afectados, tal que resulte geoméricamente una recta, fundamentalmente en el sentido horizontal y sin quiebres verticales. Para los movimientos verticales se desplazan los rodillos horizontalmente tal que se "cierran" o "abren", según corresponda. Para los movimientos horizontales se desplazan ambos rodillos la misma magnitud. O también se combinan los mismos -verticales y horizontales- de acuerdo a la corrección planteada. Repitiendo los cálculos resultará una distribución de cargas más equilibrada en todos los rodillos del Horno.

Según las necesidades del momento, con el horno rotativo en plena producción y en equilibrio térmico global, se realizan los corrimientos horizontales de los rodillos, pero en largos períodos de marcha y verificando la reacción y estabilidad del mismo. En el caso que se deba corregir verticalmente hacia arriba, o sea "cerrar" ambos rodillos, se deberá realizar una parada del horno y con el auxilio de criques hidráulicos (gatos), se levanta el anillo de rodadura y corrigen los rodillos.

Por lo general las plantas industriales requieren que se logre una óptima alineación geométrica del eje de giro, tal que los centros estén contenidos en un cilindro longitudinal, con una sección de 3 mm de diámetro y sus generatrices contengan a los centros de los apoyos. Las cargas de las estaciones serán prácticamente distribuidas uniformemente sobre los rodillos de rodadura y las flexiones no sean importantes en cada anillo de rodadura en la zona de los rodillos.

05. Medición del desplazamiento relativo de llantas vs. Coraza y holgura. (Oburg)

La diferencia de diámetros u holgura δ , entre el casco del horno y el aro de rodadura, genera un movimiento relativo: $V = \pi \delta$ para un horno con casco circular

Como regla general los fabricantes toman $\delta \cdot 1,5 < V < \delta \cdot 2,0$ es decir

$V / \delta = 1,5$ para hornos largos y un Diámetro de horno > 4 m

$V / \delta = 2,0$ para hornos cortos y un Diámetro de horno < 4 m

Debido a que la ovalidad es una función del espacio entre la llanta y las placas de rodadura fijas a la carcasa, siendo muy difícil de medirlo en funcionamiento, se utiliza la determinación del desplazamiento "V" de la llanta sobre las placas de la carcasa.

Para ello hay dos maneras:

a) Utilizando un registrador del desplazamiento "V" y del espacio libre "δ" (huelgo u holgura) en la posición superior, con un **comparador "Oburg"** como se observa en la figura.

b) Registrando la diferencia de desplazamiento de un punto del anillo respecto a las placas de rodadura, después de n revoluciones, se mide la distancia de avance $d = nV$ de una marca a la otra y así se obtiene δ .



comparador "Oburg"

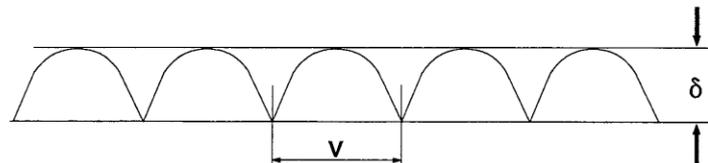
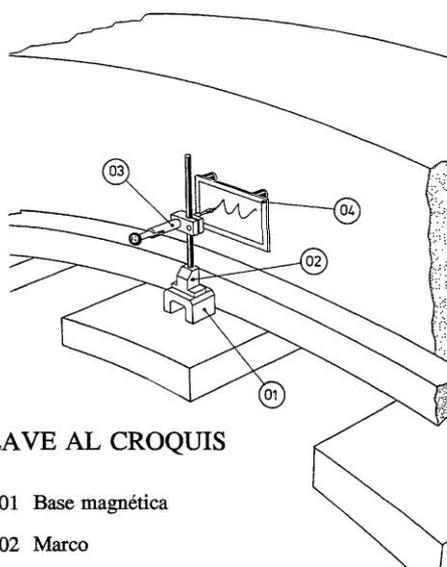


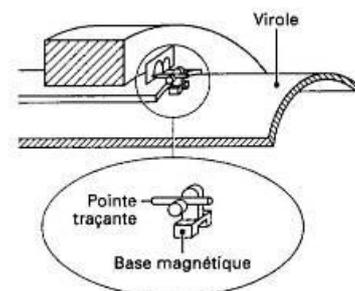
Grafico de holgura δ y desplazamiento V



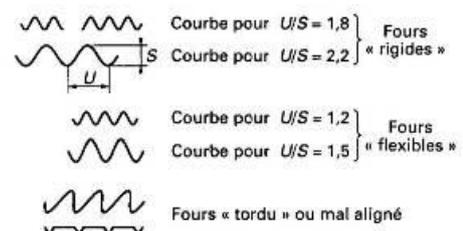
CLAVE AL CROQUIS

- 01 Base magnética
- 02 Marco
- 03 Lápiz
- 04 Placa

comparador "Oburg"



Ⓐ appareil de mesure du glissement et du jeu



Ⓑ traces du jeu (S) et du glissement (U)

Graficos de holgura δ

En los anillos de rodadura flojos, el diámetro interior de los mismos es siempre algo mayor que el diámetro exterior de la carcasa del horno (por encima de las zapatas de los anillos de rodadura). Este juego de anillo de rodadura constituye un factor importante, ya que es un **indicador de la deformación de la carcasa, cuanto mayor sea el juego, mayor será también el aplastamiento de la carcasa.**

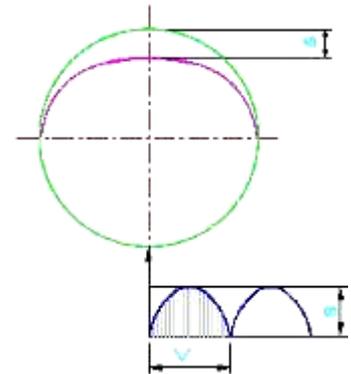
El juego real del anillo de rodadura δ (holgura u huelgo), según se observa en la figura representa el intersticio realmente existente entre la carcasa del horno y el anillo de rodadura, siendo por regla general mayor que el juego teórico del anillo de rodadura.

$$\delta \cong \frac{V}{(1,5 \text{ a } 2,5)} > Sth$$

Los valores δ son reales y se los obtiene con el Oburg.

Sth es una dimensión puramente ficticia, ya que para definirla se ha tomado como base la sección transversal del horno sin deformación.

Al medir las tres secciones (del aro de rodadura y del casco a ambos lados de cada aro de rodadura), y calcular las coordenadas de cada centro, se comparan los resultados de cada apoyo, es decir la diferencia de altura del centro del aro de rodadura con el centro del horno y el medio δ medido.

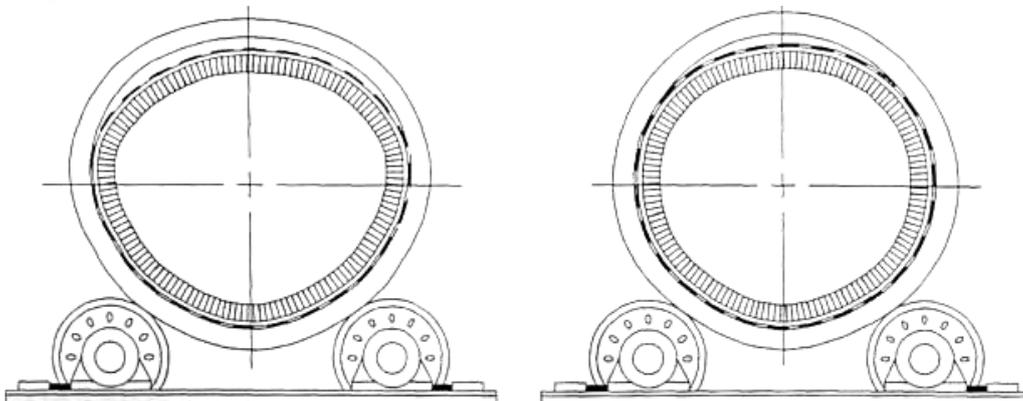


06. Medición de deformación de coraza -ovalidad-

El objetivo es medir las deformaciones radiales, especialmente en la zona de los anillos de rodadura, que se producen durante la producción. El horno giratorio presenta ciertas deformaciones, es decir, que la carcasa del horno va adoptando diversos radios de curvatura durante una vuelta completa. Las deformaciones pueden ser subdivididas en:

- Deformaciones de los anillos de rodadura en la zona de los rodillos de soporte, procedentes de las dos fuerzas de reacción.
- Deformaciones de la carcasa del horno, o aplastamiento en el punto más alto, a causa del juego entre la carcasa y el anillo de rodadura.

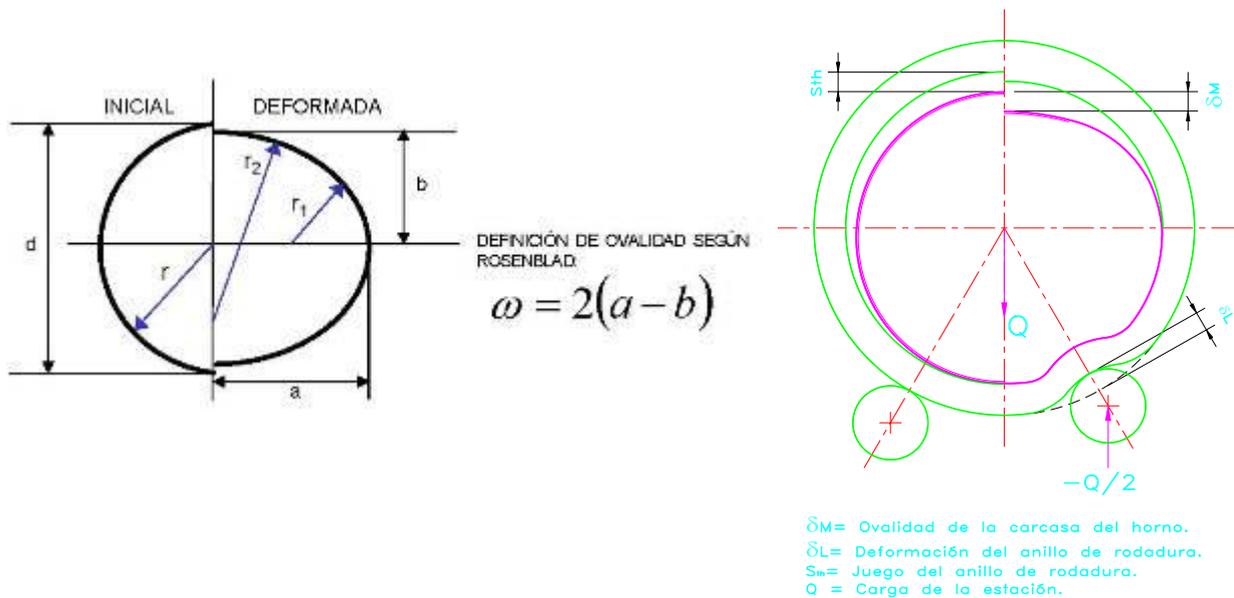
Estas deformaciones son transmitidas al revestimiento del horno e influyen por tanto de manera esencial sobre su duración. Debido a la variación constante del radio de curvatura de la coraza, durante el giro del horno, se produce un proceso de deformación. Por esta razón, los ladrillos del revestimiento del horno son fuertemente solicitados en los flancos, pudiendo ser la consecuencia de ello un desgaste elevado (limadura) o bien la caída de los ladrillos.



ladrillos del revestimiento del horno son fuertemente solicitados en los flancos

Con el fin de impedir estas dificultades, es imprescindible conocer la **magnitud de estas deformaciones**, registrándolas con el objeto de poder adoptar a tiempo las medidas necesarias.

La **ovalidad** del horno giratorio se entiende que es la dimensión o el **grado de la deformación elástica**. Si se tiene en cuenta que la carcasa circular del horno adopta la forma de una elipse al deformarse, la **ovalidad** puede ser definida como **el doble de la diferencia entre los dos semiejes** - expresión Rosenblad-, es decir la diferencia de los diámetros horizontal y vertical.



La ovalidad relativa se expresa en por ciento

$$\omega_r = 100 (\text{diám. Vertical} - \text{diám. Horizontal}) / \text{diam. Nominal} \%$$

Se origina en el juego entre el anillo de rodadura muy rígido y el tubo del horno muy flexible. Solamente la rigidez del anillo asegura la forma casi circular del horno.

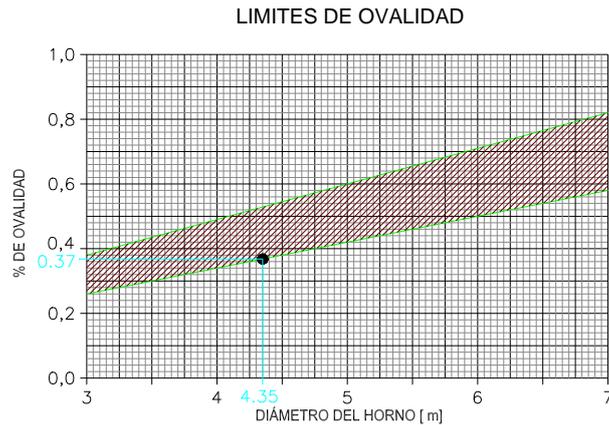
A título de ejemplo los hornos de marca F.L. Smidth son diseñados con una $\omega_r=0,3\%$, aproximadamente, lo que corresponde un desplazamiento $V=10\text{mm}$.

Con el objeto de tener en cuenta las dilataciones térmicas variables de la carcasa del horno y del anillo de rodadura durante el período de calentamiento, los suministradores de los hornos calculan ambos diámetros de manera que el juego entre el anillo de rodadura y el horno, a la temperatura de servicio, adopte un valor mínimo. Resultaría ideal que el horno, en estado caliente, ejerza cierta presión sobre el anillo de rodadura, pero sin quedar sujeto a una contracción. Existe siempre un peligro para el horno cuando la carcasa del horno se dilata con una rapidez que no puede ser seguida por el anillo de rodadura.

Naturalmente una medición de ovalidad del horno permite controlar consecuencias en el casco y su revestimiento. En las paradas planificadas es posible reemplazar las placas (o tacos o zapatas) de rodadura, controlar y/o reparar posibles grietas o fisuras causadas por la excesiva flexión y sobrecarga del casco.

Con el fin de impedir un desgaste excesivo de revestimiento de horno o bien la caída de los ladrillos de revestimiento, la **ovalidad no debe sobrepasar ciertos límites en estado de producción**.

En base a la experiencia que existe, se fija una relación entre la ovalidad admisible y el diámetro de horno, bajo buenas condiciones de revestimiento. Por ej.: un horno de 4,35 m, el límite es de 0,37 %.



Límite de ovalidad

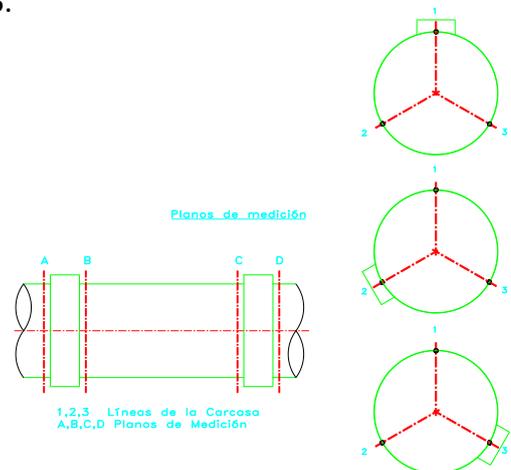
Cuando no se sobrepase el valor límite de la ovalidad, que corresponda al diámetro del horno, será insignificante la sollicitación del revestimiento como consecuencia de la deformación de la carcasa del horno.



Las deformaciones radiales de la carcasa del horno se las registran mediante el **aparato de medición de deformaciones de hornos "Shelltest"**, como se muestra en la figura.



El aparato "Shelltest" consta de una estructura rectangular con dos porta imanes, el impresor, un disco pendular donde se dibuja del diagrama y una punta palpadora. Los movimientos de la punta palpadora, se transmiten a través de una cremallera y una rueda dentada al portamina inscriptor, el cual dibuja las desviaciones sobre el diagrama a escala 1:15.



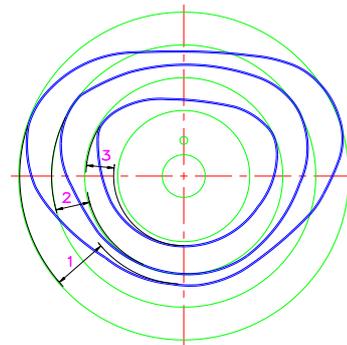
Ubicación del Shelltest desplazado c/120°

A los fines de tener una clara idea sobre las dimensiones de las deformaciones, las mediciones de cada plano de medida, se realizan en tres puntos, en líneas de la carcasa desplazadas en 120° obteniendo tres diagramas por plano.

Las deformaciones del horno giratorio se reducen a medida que aumenta la distancia del anillo de rodadura.

El diagrama Shelltest, como representación polar de las variaciones de altura de los segmentos Δh , representa una imagen geoméricamente semejante a la de la sección transversal deformada del horno (línea elástica), con la única diferencia de que las variaciones radiales son registradas con un aumento de 15 veces, como se observa en la figura.

Diagrama Tipo de una Medición



La evaluación por cálculo, es decir el cálculo de la ovalidad a partir del diagrama Shelltest, se la efectúa sobre la base de las siguientes relaciones:

$$\text{Ovalidad absoluta } \omega_a = 4 \cdot d^2 \cdot \frac{\delta}{3} \text{ [mm]}$$

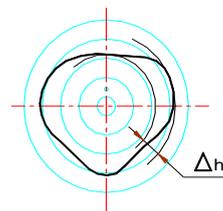
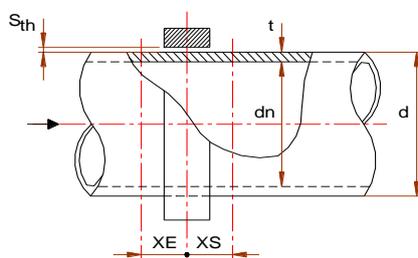
$$\text{Ovalidad relativa } \omega_r = 4 \cdot d^2 \cdot \frac{\delta}{3 \cdot dN} \cdot 100 \text{ [%]}$$

$\delta = \Delta h / 15$ (mm) medida en el diagrama Shelltest.

Δh es 1, 2 y 3

d = Diámetro exterior de la carcasa del horno (m).

dN = Diámetro interior de la carcasa del horno (mm)



$$\omega = \frac{4}{3} h^2 \frac{\Delta h}{15} \frac{100}{dn} \text{ (%)}$$

(RR) :Numero de anillo o Apoyo o Base.

(MP): Número de plano de medida.

dn : Diámetro nominal del horno (mm)

XE : Distancia desde el anillo a la línea de centro lado entrada

XA : Distancia desde el anillo a la línea de centro lado salida.

t : Espesor de la carcasa en el plano de medición (mm)

d : Diámetro exterior (m) ($dn + 2 \cdot t$).

SL : posición del registrador SHELLTEST (colocado radialmente cada 120°).

Δh : deformación máxima medida en el diagrama (aumentado 15 veces del valor real).

$\delta = \Delta h / 15$:Máxima deformación de los tres puntos de la medición (mm).

ω_r : ovalidad relativa (%)

ω_m : ovalidad promedio (%)

ST : Temperatura del casco, en los tres puntos de la medición (°C)

Δu : Movimiento relativo (mm)=V medido directamente con Oburg o por migración.

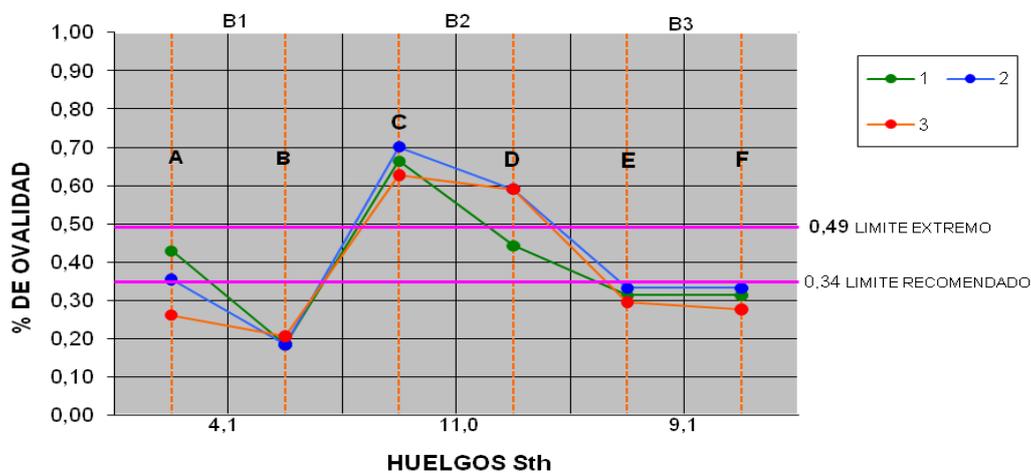
$Sth = \Delta u / \pi$: Juego teórico del anillo de rodadura (mm).

Las mediciones de las deformaciones se las representa en una tabla de resultados y gráficamente en forma resumida:

TABLA DE RESULTADOS														
RR	MP	dn [mm]	XE [m]	XS [m]	t [mm]	d [m]	SL	Δh [mm]	δ [mm]	ω_r [%]	ω_m [%]	ST [°C]	Δu [mm]	Sth [mm]
1	A	4000	1,00		50	4,100	1	12	0,8	0,43	0,35	229	12,8	4,1
							2	10	0,6	0,35		211		
							3	7	0,5	0,26		227		
	B	4000		2,00	37	4,074	1	5	0,3	0,18	0,19	269		
							2	5	0,3	0,18		253		
							3	6	0,4	0,21		275		
2	C	4000	1,50		37	4,074	1	18	1,2	0,66	0,66	306	34,5	11,0
							2	19	1,3	0,70		217		
							3	17	1,1	0,63		283		
	D	4000		1,50	37	4,074	1	12	0,8	0,44	0,54	205		
							2	16	1,1	0,59		204		
							3	16	1,1	0,59		230		
3	E	4000	1,50		37	4,074	1	9	0,6	0,31	0,31	321	28,6	9,1
							2	9	0,6	0,33		326		
							3	8	0,5	0,30		334		
	F	4000		1,50	37	4,074	1	9	0,6	0,31	0,31	215		
							2	9	0,6	0,33		204		
							3	8	0,5	0,28		207		

BASE	DIAGRAMA	% DE OVALIDAD (ω_r)			OVALIDAD PROM. (ω_m)	LIMITE OVALIDAD
		1	2	3		
B1	A	0,43	0,35	0,26	0,35	0,34
	B	0,18	0,18	0,21	0,19	
B2	C	0,66	0,70	0,63	0,66	
	D	0,44	0,59	0,59	0,54	
B3	E	0,31	0,33	0,30	0,31	
	F	0,31	0,33	0,28	0,31	

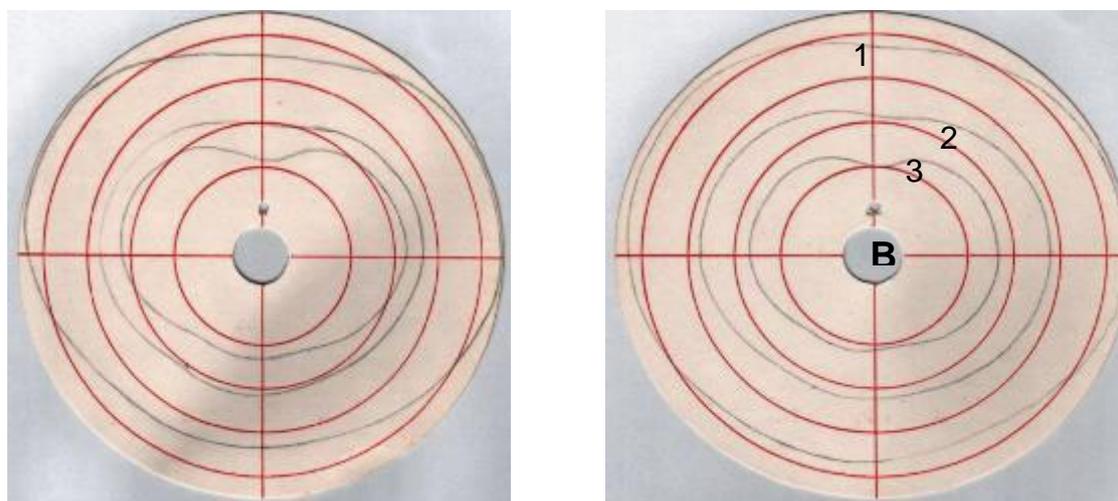
NRO BASE



Si las líneas de unión se cruzan entre sí indican que se ha torcido el eje del horno. En un horno que se comporte de manera ideal, se encontrarían superpuestos los tres valores de la ovalidad medidos en un plano.

Sin embargo, estos valores se desvían más o menos entre sí en la práctica, ya que en la cubierta del horno se encuentran puntos más o menos débiles

Ejemplo de diagramas. Misma base lado alimentación y lado salida



El grafico indica que la curva de distorsión es elíptica, con ovalidad y aplanamiento de la carcasa del horno en el punto superior, debido el juego entre la carcasa y el anillo de rodadura. Existe una muy leve deformación del anillo de rodadura en el área del rodillo portador.

07. Medición de siluetas periféricas de secciones y centros de rotación del casco del horno (efecto cigüeñal y movimiento planetario)

07.1.- Consideraciones técnicas (según fabricantes y mantenimiento de plantas industriales).

Teóricamente el tubo del horno (casco) debería ser un cilindro simétrico en la rotación. Tal que las cargas en los rodillos de soporte serían constantes durante la producción. Si esto no sucede, el cilindro del horno no es simétrico durante la rotación, o sea el centro del horno no coincide con eje de giro del horno, se dice que el horno tiene efecto cigüeñal. Sin embargo los soportes tratarán de forzar al horno a comportarse como un cuerpo simétrico en la rotación. En consecuencia las cargas estáticas en los rodillos serán incrementadas por fuerzas rotativas, teniendo un efecto considerable en la carga total. Estas fuerzas tienen el mismo efecto que las desviaciones horizontales del eje del horno.

Los cigüeñales son peligrosos porque, por lo general, no pueden verse. Salvo en casos extremos, cuando el horno comienza a elevarse del rodillo, se percibe visualmente la presencia del cigüeñal.

Existen cigüeñales que son permanentes, es decir estacionarios y son independientes de las condiciones de marcha. Sus orígenes pueden ser por falta de trabajos de reparación, por ejemplo en contracciones de soldaduras, o sea son situaciones mecánicas.

El otro tipo de cigüeñal obedece a la distribución de la temperatura en el tubo del horno, depende de la situación de marcha y varían con el curso del tiempo. Las generatrices de la carcasa del horno, en las zonas calientes, serán más largas, que las de las zonas frías, con consecuencias de curvaturas del cilindro. Por lo general desaparecen cuando el horno se enfría. Aunque algunas veces se transforman en estáticos (mecánicos) y son observables con el horno frío. Una forma de observar este tipo de cigüeñal térmico es comprobar grandes variaciones periféricas de temperatura en distintas zonas del horno. Esto es muy común que suceda en las zonas donde la formación de costra

no es estable o por pérdidas imprevistas de ella. Una vez que la costra se ha restablecido, la variación circunferencial de la temperatura del horno se normaliza nuevamente, pero el horno ha experimentado la tenencia de un cigüeñal mecánico.

Es importante también tener en cuenta que cuando el aislamiento -revestimiento- y la costra no son suficientemente gruesos, la transmisión de calor aumentará, resultando que ascienda la temperatura del tubo y que la carcasa del horno expanda. Si esto sucede tan sólo en una parte de la circunferencia del horno, se hará presente un cigüeñal térmico.

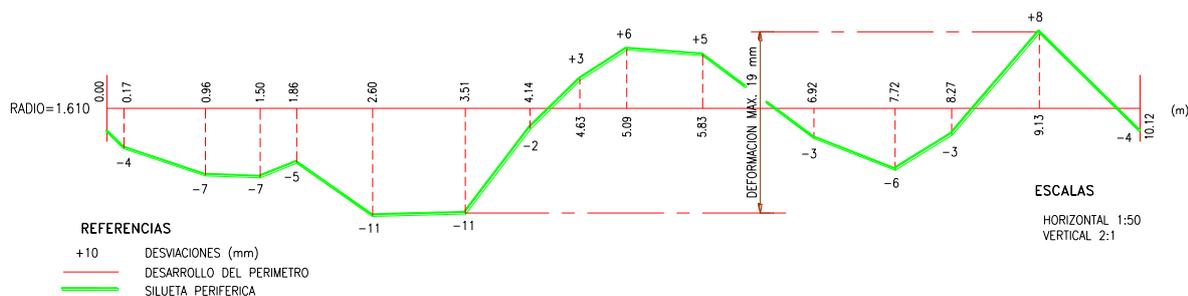
La existencia y la magnitud de cigüeñales eventuales pueden ser inspeccionados con medición de las flexiones en los rodillos de soporte. Con el conocimiento previo de la característica de rigidez de los rodillos y sus ejes, las mediciones de estas flexiones pueden indicar qué grandes son las tensiones en los ejes de los rodillos de soporte y en los aros de rodadura.

07.2.- Siluetas periféricas de secciones del casco del horno. Movimiento de los centros rotación.

Una forma de controlar, es determinar las formas geométricas (siluetas periféricas), sus centros de rotación y sus movimientos planetarios (efecto cigüeñal), en función de los centros físicos actuales de los anillos, en diferentes secciones del cilindro y durante el proceso de producción.

Las mediciones se aplican con el mismo método técnico topográfico indicado y asistido con Estación Total electrónica y tecnología láser. Se ejecutan respecto del plano vertical que contiene al eje del horno y horizontal de referencia para las alturas. Con las mediciones y registros programados en función del período de giro, resultan las siluetas periféricas y centros de rotación del horno, en distintas secciones (a elección) del casco respecto del eje de giro de los anillos. Posteriormente se las transfiere a un ordenador para el cálculo de las coordenadas tridimensionales de cada punto medido, se calculan y dibujan las siluetas periféricas y los centros de giro reales buscados según se observan en las figuras.

Comparándolos con las circunferencias teóricas en las mismas coordenadas del plano vertical y eje de giro de los anillos, resultan las desviaciones existentes.



Desviaciones de la silueta periférica desarrollada respecto al perímetro teórico



Centro de rotación y su movimiento planetario (efecto cigüeñal), en función del centro físico actual

08. Aplicación de técnicas de análisis, que permiten diagnosticar y corregir anomalías antes de que se produzcan daños irreparables.

El **objetivo** es prevenir que los daños ocasionados en un sistema rotativo sean irreversibles, afectando a: la carcasa rotativa, los refractarios, los anillos, los soportes y los rodillos. La técnica concluye en la habilidad de poder indicar cuáles de los trabajos de mantenimiento serán necesarios y naturalmente, es imprescindible el conocimiento previo de las “enfermedades” con que el horno, eventualmente, pueda ser contagiado.

Estas técnicas de medición y control aportan información actualizada del estado de giro del eje mecánico del horno con la determinación de los parámetros dimensionales durante el proceso de producción:

1. Verificación de la alineación del horno y ejes de giro de los rodillos.
2. Distribución de las cargas en los soportes, en función de las desviaciones verticales y horizontales.
3. Holguras y deformaciones radiales –ovalidad- , que se producen en la de carcasa del horno a causa del juego entre la carcasa y el anillo de rodadura.
4. Formas geométricas y los centros de rotación en diferentes secciones de la carcasa, movimientos planetarios de los centros de rotación -efecto cigüeñal-

Es aplicable a los distintos tipos de hornos rotativos horizontales y todas las marcas de fabricantes, independientemente de la cantidad de apoyos que tenga, con el horno girando en plena producción y régimen, sin exceder las reglamentaciones de seguridad. Experiencia aplicada a 100 comprobaciones.

Los resultados de un mantenimiento mecánico planificado serán:

- Incremento notable de la producción.
- Consumo ideal de amperaje.
- Eliminación de mantenimientos asociados con paradas imprevistas -no planificadas-
- Incremento en la vida útil del revestimiento.
- Desgaste uniforme de las llantas de los anillos de rodadura y anillos de soporte (evitando rectificaciones de los rodillos y llantas, para remover el desgaste normal)



Muchas gracias.....

P/Topcant Asistencia Técnica SRL. Agrim. Carlos A. Melitón e Ing. Daniel O. Moris.

09. Bibliografía.

- Phillips Kiln Service Co. Inc. USA. (Humberto Valdez). Simposio Internacional para la Industria cementera de Argentina, Uruguay y Bolivia. "Aumento de producción del horno y eficiencia de operación" 1994.
- F. L. Smidth & Co. Curso "Mantenimiento mecánico del horno". 1996.
- Krupp Polysius AG. Polscan. Alineación exacta de hornos rotativos en marcha. 2000
- F. L. Smidth & Co. (Andersen N.K.) Seminario Internacional "Mantenimiento y monitoreo de hornos rotativos". Dinamarca. 1991.
- Holderbank. "Mediciones de deformaciones en hornos rotativos". Shelltest
- R & A Asociados. Estudio de Ingeniería Reyes & Asociados SRL. Manual del Sistema de Horno Software.
- Univ. De Oviedo. Asturias. Escuela Superior de de Ing. en Minas. Lección Cementos/ Hornos Rotativos. Tipos
- IAS. Instituto Argentino de Siderurgia. 14º Steelmaking Conference. (Biga O., Montaldo. A., Muñoz R., Wolkker E., Melitón. C, Moris D.) "Hornos de Calcinación: Acciones predictivas para la extensión de su vida útil". San Nicolas. Arg. 2003



Comprobación de alineación de hornos rotativos en plena producción