



UNICEN
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO
DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Agrim. Carlos Alberto Melitón

15 *Método de comprobación de alineación de hornos Rotativos en plena producción*

16 *Participación Topográfica, en la Construcción y colocación en el C° de la Ciudad de Tandil, de una Réplica de la Pa.Movediza*



Es Profesor Titular de dedicación Simple en Topografía
Ejerció la docencia en Dibujo, Topografía, y Teoría de Errores en la UNC de la Pcia. de Bs As., Facultad de Ingeniería de Olavarría.
Ayudante 1° en Dibujo I y Dibujo II. En el Instituto Universitario "Alfredo Fortabat"

Primer vocal del Colegio Distrito II del CPA de la Pcia. de Bs. As.
Participó y gestionó la nueva carrera de Ingeniería en Agrim. en la Facultad de Ingeniería de la UNC.

Representante ante la Comisión de Revisión Seguimiento y Evaluación de los Planes de Estudios de la Facultad del Centro.

Fue **Decano de la Fac. de Ingeniería** y Consejero Académico del Claustro de Profesores.



1613 - 2013
400
AÑOS

Escuela de Agrimensura

UNC

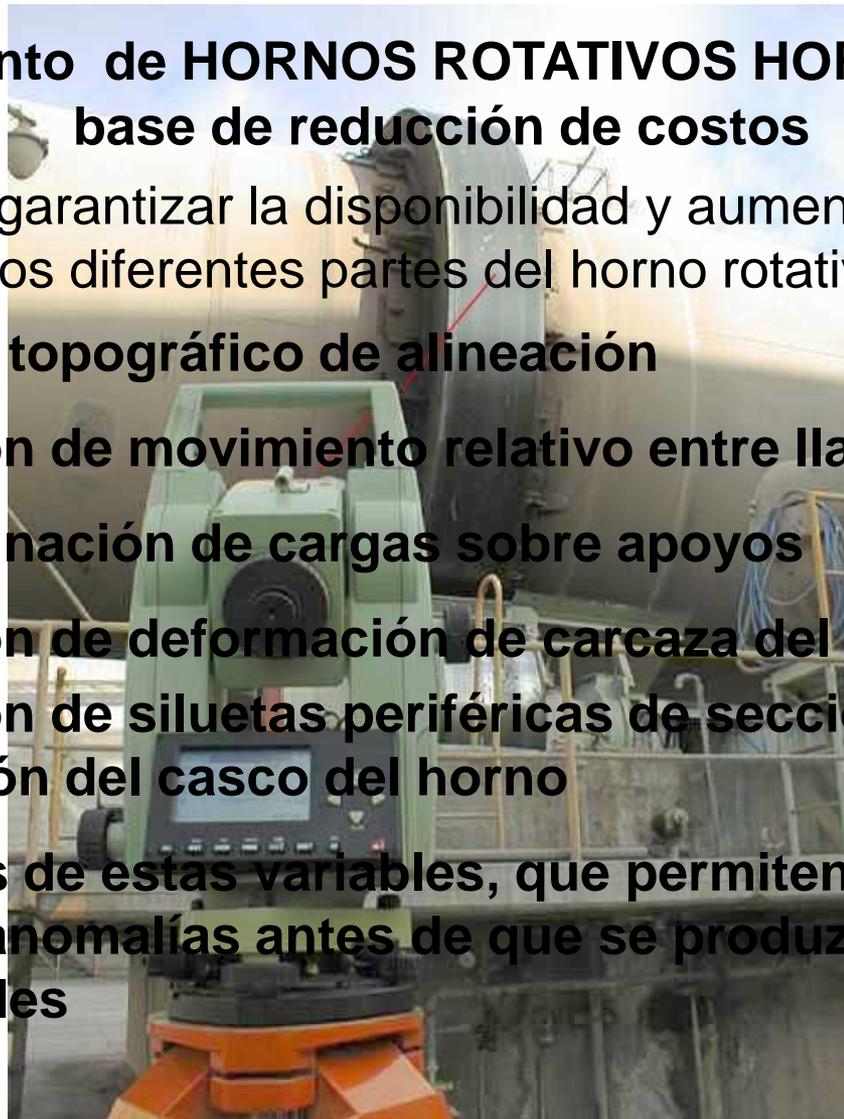


Cátedra de
MEDICIONES ESPECIALES

Mantenimiento de HORNOS ROTATIVOS HORIZONTALES: base de reducción de costos

Técnicas para garantizar la disponibilidad y aumentar la vida útil de los diferentes partes del horno rotativo

- ✓ **Control topográfico de alineación**
- ✓ **Medición de movimiento relativo entre llantas y coraza**
- ✓ **Determinación de cargas sobre apoyos**
- ✓ **Medición de deformación de carcasa del horno**
- ✓ **Medición de siluetas periféricas de secciones y centros de rotación del casco del horno**
- ✓ **Análisis de estas variables, que permiten diagnosticar y corregir anomalías antes de que se produzcan daños irreparables**



máquina central o el
alma,
cemento, cal, coque,
celulosa, siderurgia

paradas
involuntarias,
provocan **pérdidas
extraordinarias
en la producción**

funcionamiento
mecánico bien
estable = economía
total de la planta
industrial



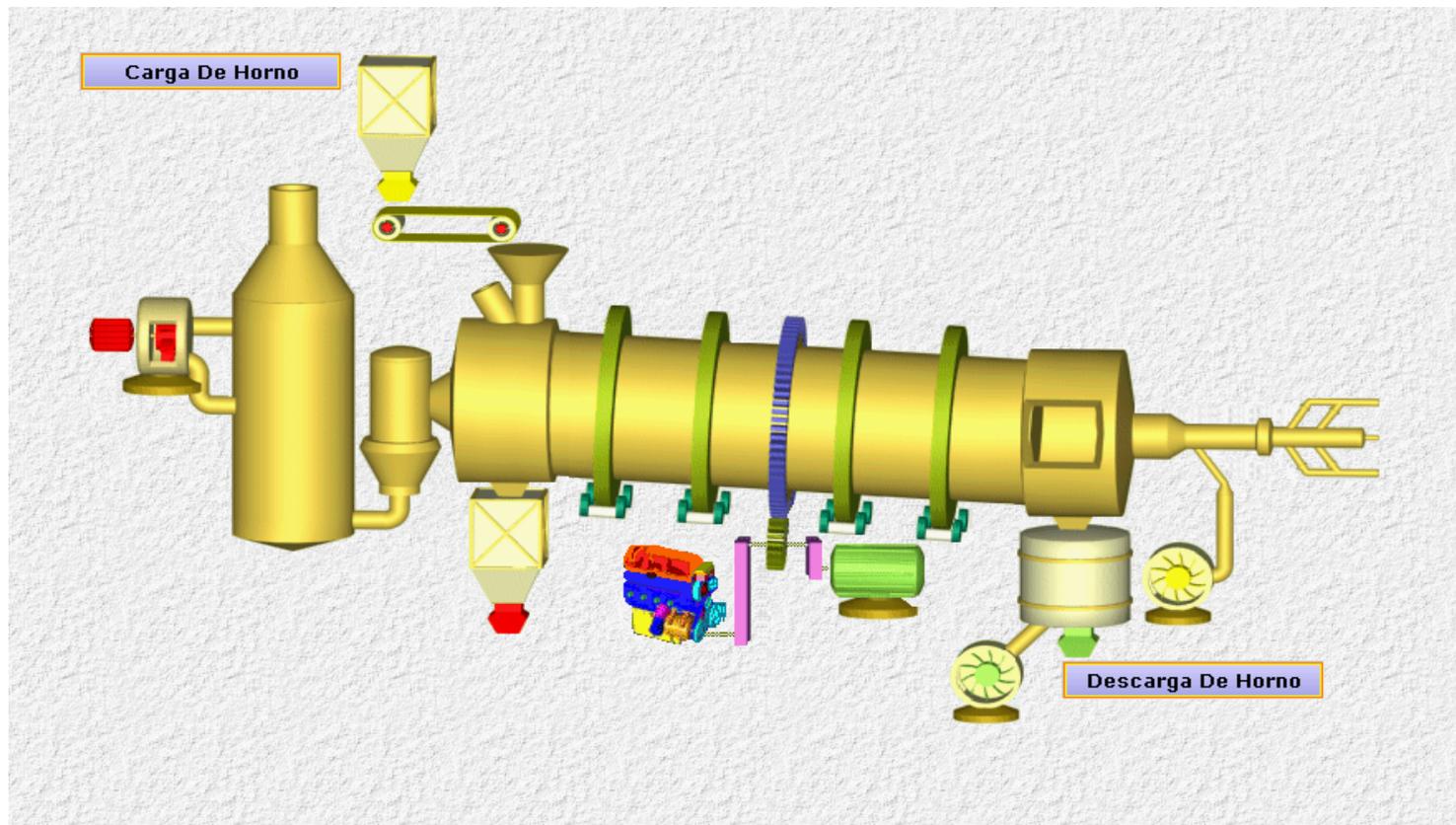
calcinan cal
cálcica, cal
dolomítica,
clinker,

para la
producción de
**cales, cementos,
carbón de
coque, papel,
acero**

➤ política de la
adquisición y
almacenaje de los
repuestos,

➤ política del
mantenimiento

Elementos técnicos del Horno Rotativo Horizontal



$\varnothing 3,5 \text{ m} < \text{tubo cilíndrico} < \varnothing 7 \text{ m}$

$2 < \text{estaciones de rodadura} < 8$

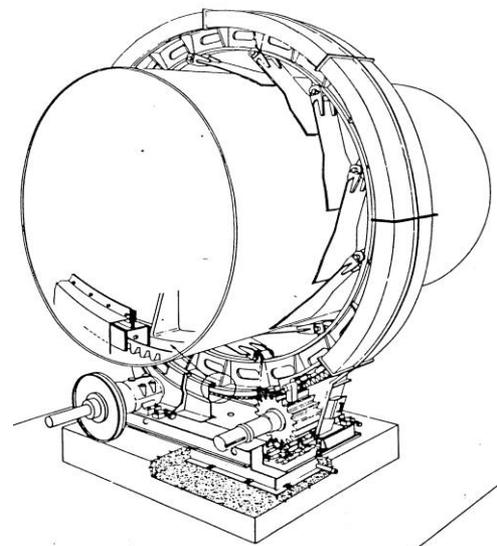
$2,5 \% < \text{inclinación depresiva} < 4,5 \%$

$1,5 \text{ rpm} < \text{velocidades de rotación} < 3,5 \text{ rpm}$

$3000 \text{ tn/día L:}227\text{m, } \varnothing 6,3 \text{ m, } 7/8 \text{ apoyos} < \text{producción} < 7500\text{tn/día L:}82\text{m, } \varnothing 5,6 \text{ m, } 3 \text{ apoyos}$

$3000 \text{ tn/día } \varnothing 4,4 \text{ m y L: } 55 \text{ m, } 2 \text{ apoyos}$





**Accionamiento:
piñón acciona
una corona
dentada**

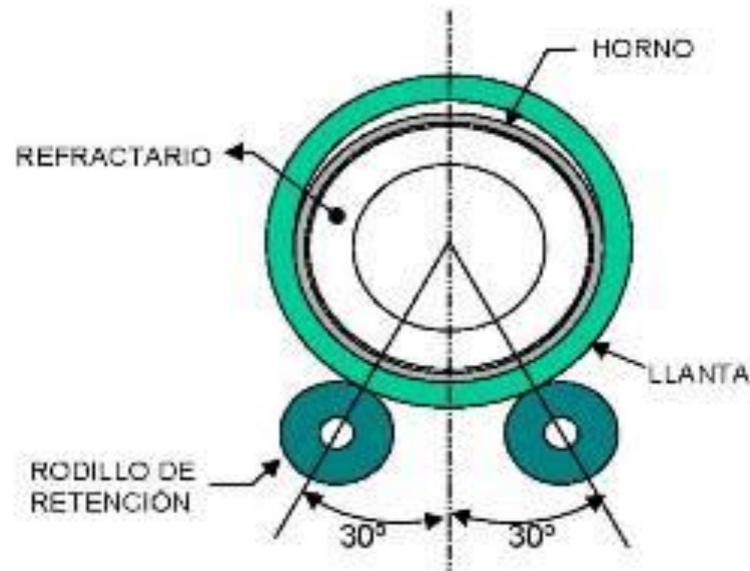
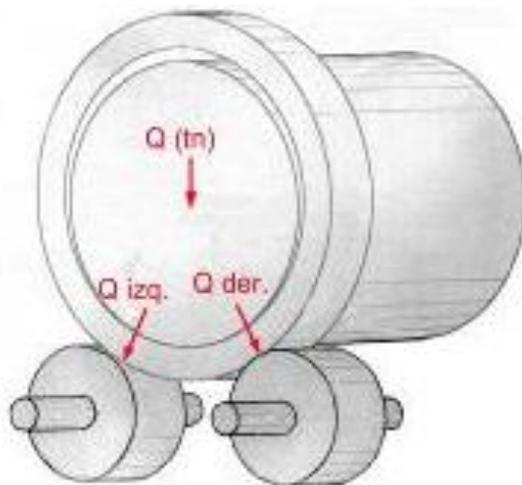
**1050 °C < temp.gases < 2000 o 2350 °C (llama),
850°/900 °C < temp. material < 1420°/1450 °C
40 a 60 minutos < Tiempo < 3 a 5 horas**



subida del horno de 8 a 24
hs, el descenso 4 a 8 hs.
Rodillo empujador



Aros de rodadura o anillos giratorios y rodillos de soporte



Carga radial del horno Q en cada aro se reparte en c/rodillo:

$$\text{Carga rodillo: } Q_r = Q / 2 \cos \alpha$$

se descompone en 2 componentes vert. y horiz.:

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

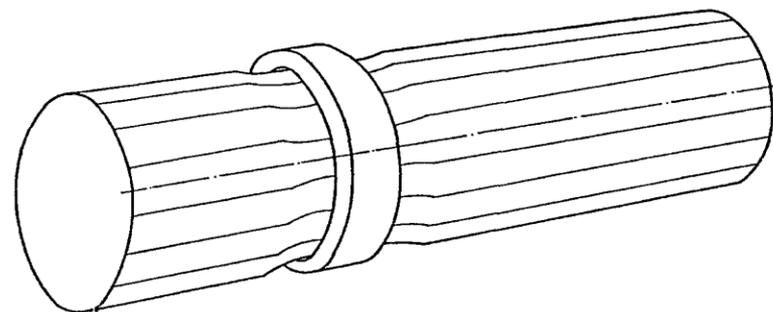
$$Q_h = Q_r \sen \alpha = (Q/2 \cos \alpha) \cdot \sen \alpha = \frac{Q \cdot \operatorname{tg} \alpha}{2} = Q_h \quad (\text{dependiente del valor de } \alpha)$$

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

Diam.: $\emptyset 1\text{m} < \text{rodillo} < \emptyset 2,5\text{ m}$

$0,90\text{m} < \text{largo} < 1,5\text{ m}$.

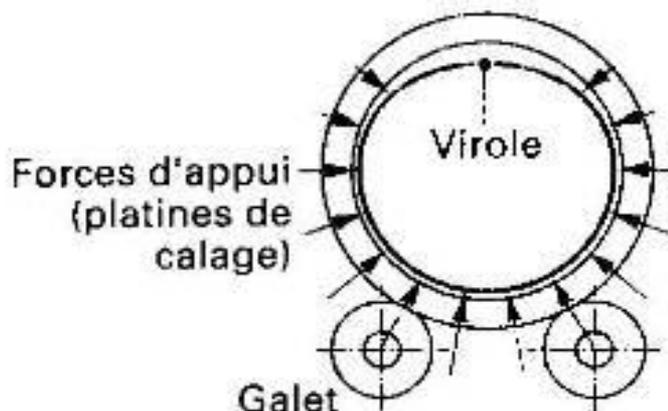
Aros de rodadura o anillos



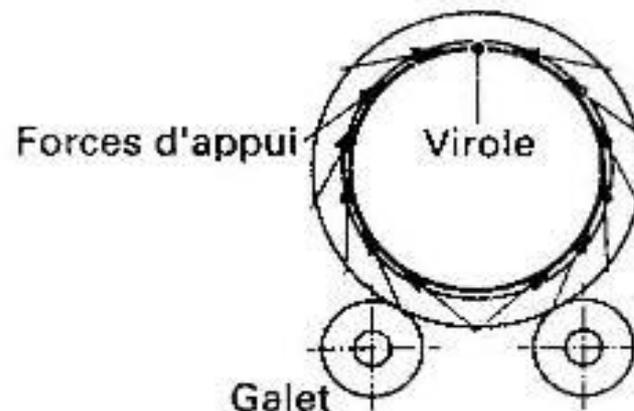
La ovalización (deformación elíptica) $< 0,2 \%$

Aros de rodadura flotantes, deben tener un movimiento relativo muy pequeño con la virola. Son rígidos. Ovalización aceptable.

Aros de cerrados (crànte) o “fijos”, la virola esta casi concéntricamente con respecto al diámetro interior del aro de rodadura. Las fuerzas de apoyo son aplicadas tangencialmente por medio de muescas o dientes.

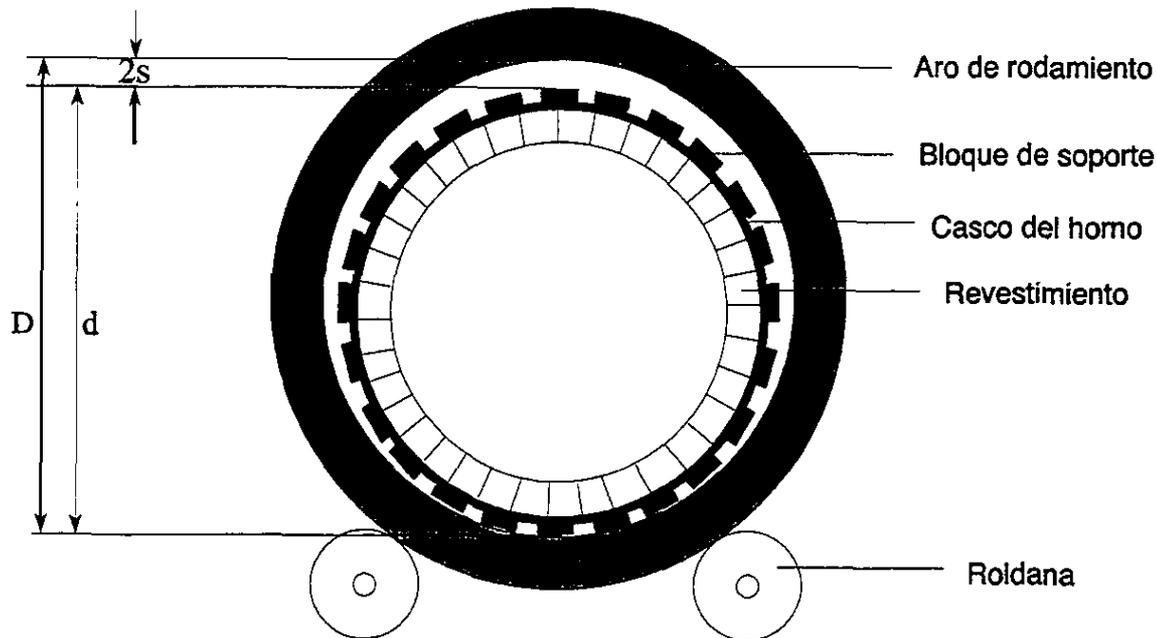


(a) bandage flottant



(b) bandage cranté

aros de rodadura flotantes



Aros de rodaduras cerrados (crànte) o "fijos"

El huelgo (δ), la luz entre la virola y el aro, debe ser $3 \text{ mm} < \delta < 20 \text{ mm}$

desplazamiento circunferencial (V)

La relación en debe ser $1,5 < V/\delta < 2,5$.

Mantenimiento ?

Métodos adoptados y su estrategia ?

Costillas



1613 - 2013
400
AÑOS

Escuela de Agrimensura

UNC



Ingeniería en Agrimensura

UNICEN

MÉTODO DE COMPROBACIÓN DE ALINEACIÓN DE HORNOS ROTATIVOS EN
PLENA PRODUCCIÓN

Profesor: Carlos A. Melitón



Un horno desalineado, con deformaciones de coraza o con una distribución de esfuerzos no balanceada sobre los 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

Técnicas de medición y control con los hornos en funcionamiento,

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

beneficios que se obtienen :

- 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, mantenimiento correctivo:

- ❖ Inspecciones visuales y mediciones de la “pisada” con hilo de plomo
- ❖ “Laminación” por exceso de presión de anillos en los rodillos
- ❖ Consumo eléctrico del motor de giro (amp)
- ❖ Temperatura: en los cojinetes, del casco y los anillos,
- ❖ El equilibrio axial del horno, desplazamiento longitudinal

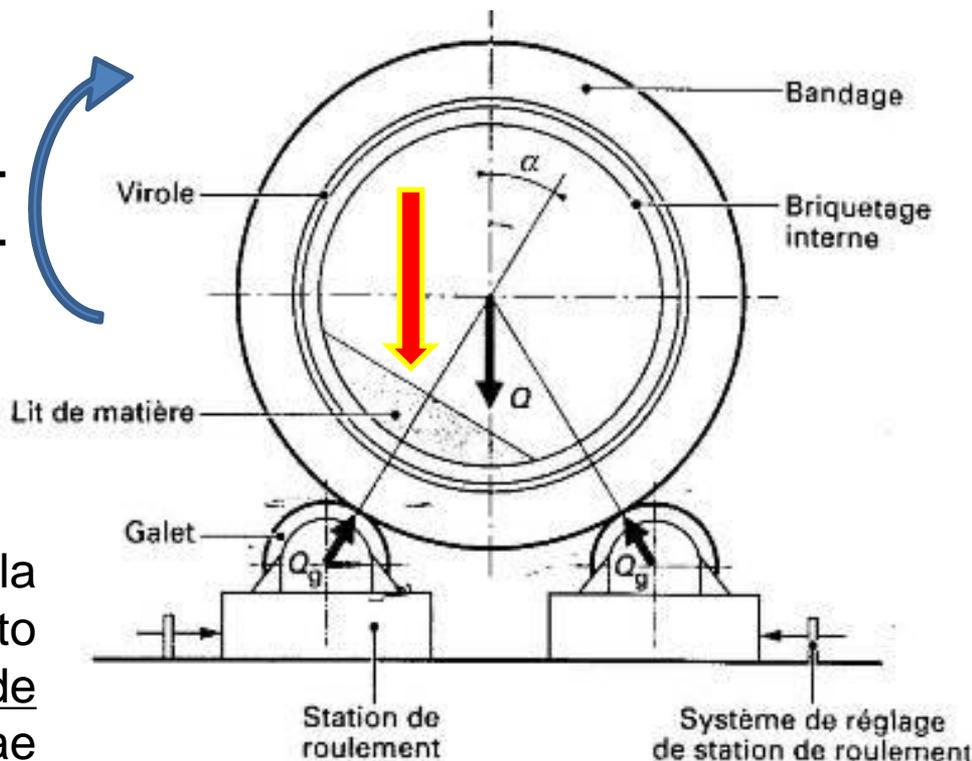
Mediciones topográficas y distribución de cargas en los soportes

1.-Tolerancias y vacilaciones

La fuerza vertical forma un momento de torsión, pero se equilibra con el momento de propulsión al girar.

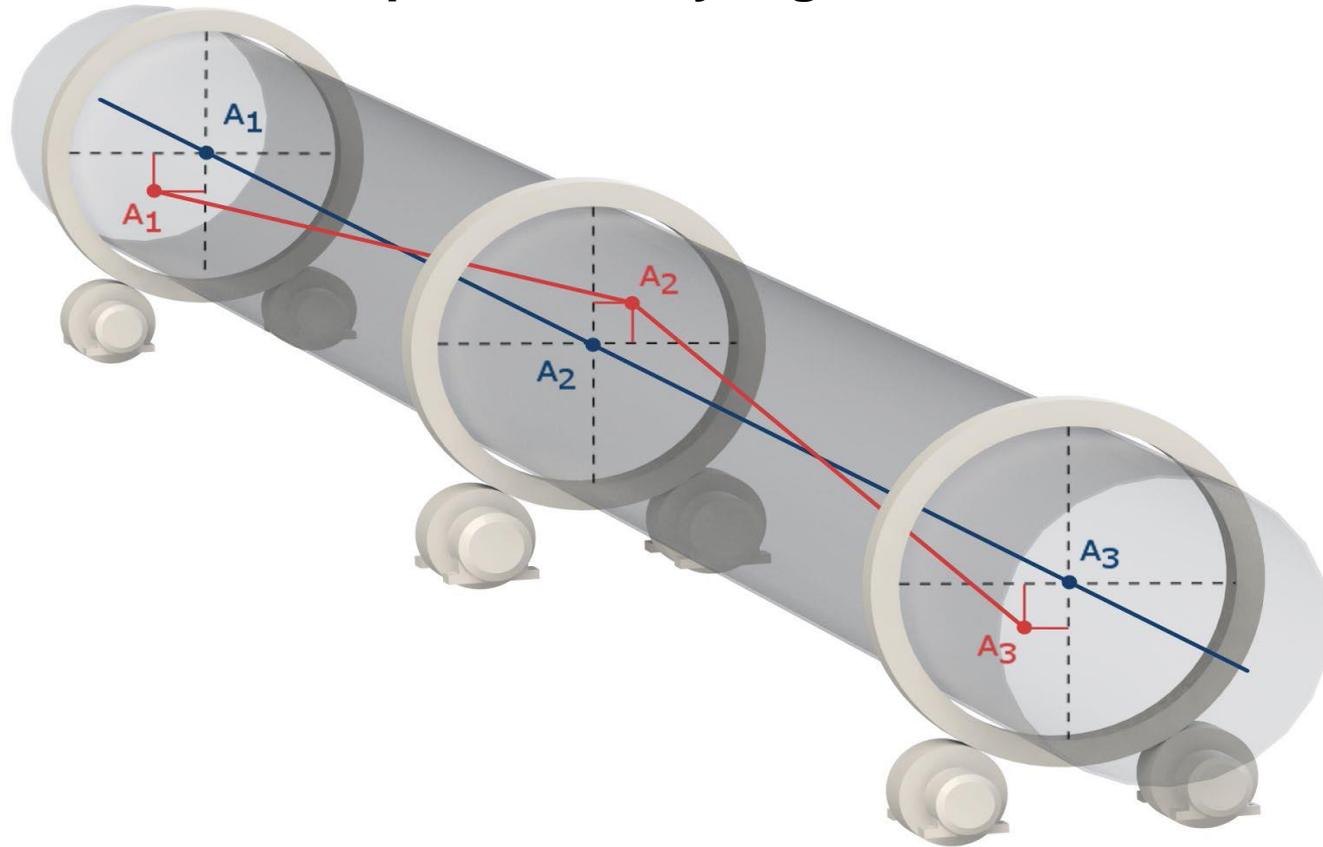
- Si ésta **fuerza F** , se incrementa verticalmente (ΔF), es absorbido con igual incremento de las dos reacciones antedichas, es decir con $\Delta F \times \text{tg } 30^\circ = \underline{\Delta F \times 0,58}$
- Si el incremento (ΔF) es horizontal, la situación no es la misma; el incremento (ΔF) se 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.**
- Las **deformaciones horizontales** del eje del horno, representan **aproximadamente el doble** del peligro que las deformaciones verticales.

Momento propulsión



Vacilaciones $< a$ $\Delta v = \pm 2,5$ mm y $\Delta h = \pm 1,5$ mm respectivamente, $<$ relación 1,7 entre las desviaciones verticales y horizontales

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



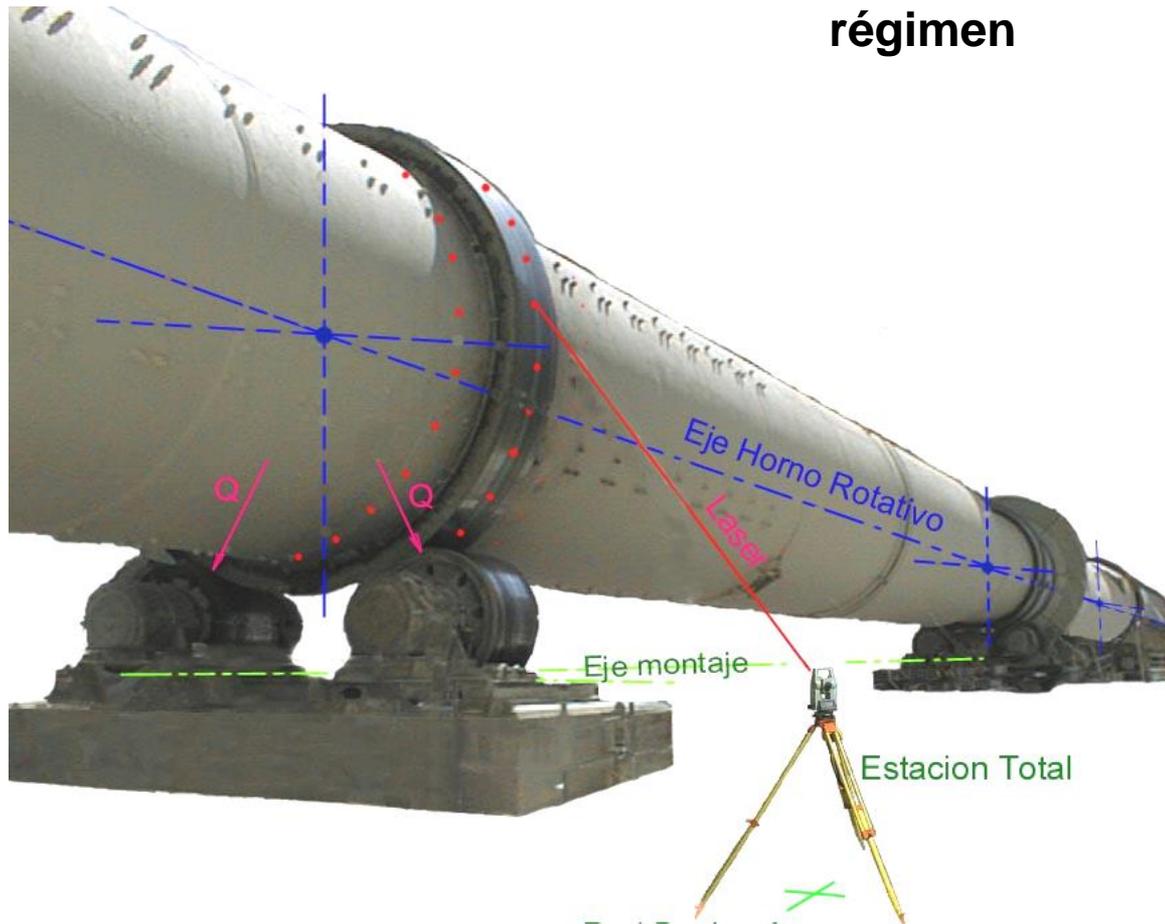
- ✓ Determinación centros geométricos tridimensionales $-X,Y,Z-$ en las secciones transversales en cada apoyo y no visibles
- ✓ Deducción desviaciones horizontales y verticales
- ✓ Sin interrumpir la producción, ni se excede las reglamentaciones de seguridad

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

1. “Descubren” ejes del montaje, longitudinal y transversal, punto fijo alimétrico.
2. Materializan marcas o señales de referencias. Evitar obstáculos, vibraciones y diferencias térmicas . Triángulos aproximadamente equiláteros .
3. Estación Total, c/rayo infrarrojo y láser 1/I y 2/II, precisión de ± 2 mm ± 2 mm/km y apr. de 3”, aumento 30x, con alcance de distancia sin prisma Miniprisma, de 10 cm. Leica TCR403 Ultra: ok.
4. Nivelación geométrica compuesta, ptos. de refer. c/nivel óptico, 32x aumentos (p/km $\pm 0,7$ mm) ,Cierre $< \pm 2,5$ mm. Wild-Leica NAK2 ok.
5. c/Estación Total Elect. método de estación libre, c/posiciones estratégicas. C/ referencia se reiteran > 3 veces, coordenadas x e y promediadas, eliminando aquellas que tengan una dispersión de $> \pm 2$ mm.

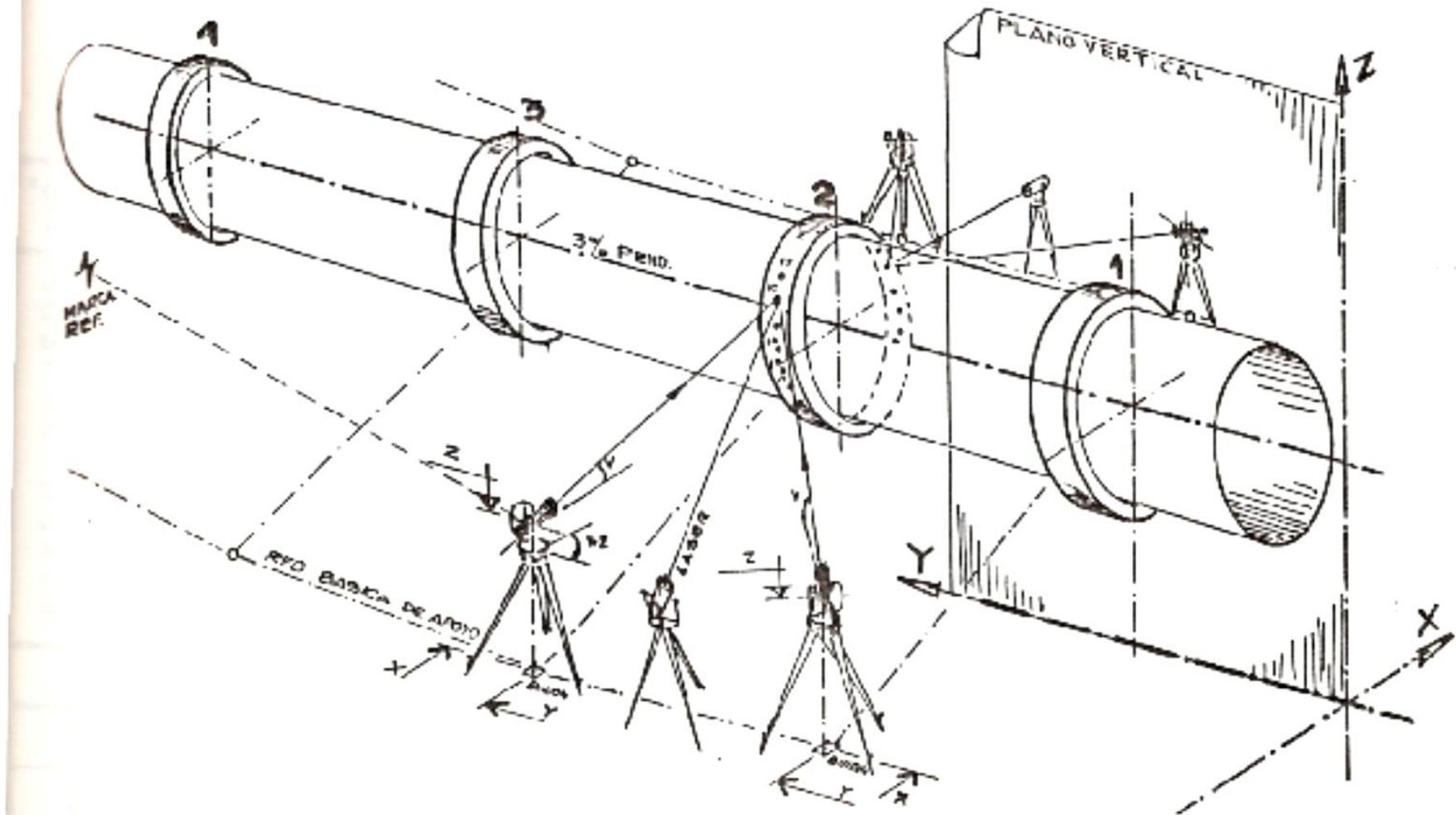


2.- Medición del eje de giro del horno rotativo horizontal en plena producción y régimen



“Bombardeo” c/Láser de la Estación Total Electrónica, 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.

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



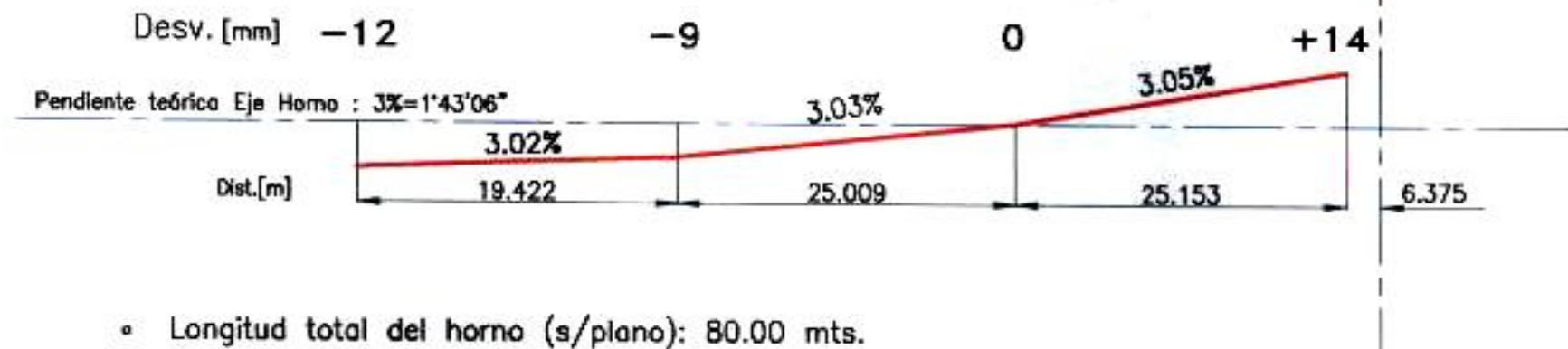
Antiguamente, en los años 90, se aplicaba el método topográfico de nivelación trigonométrica doble,

3.- La forma del eje giro del horno

DESVIACIONES HORIZONTALES DEL EJE DEL HORNO

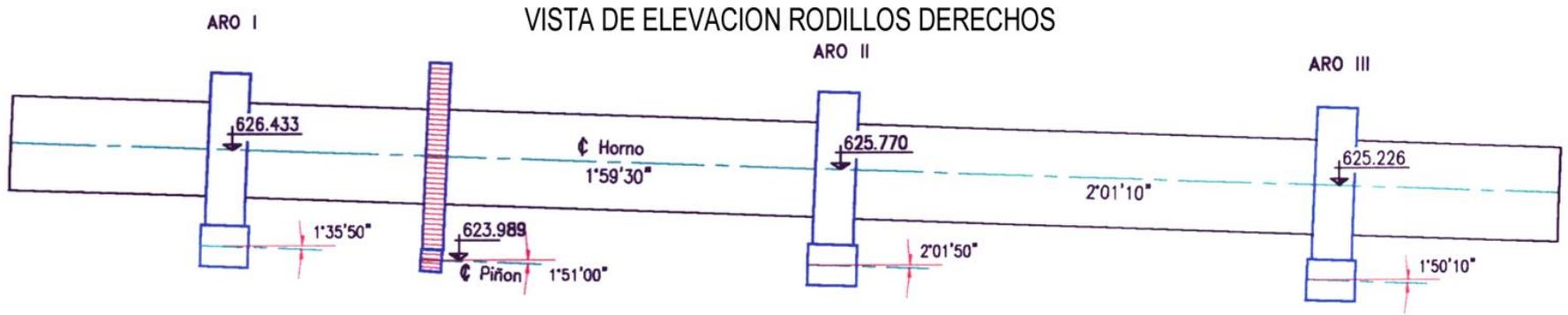


DESVIACIONES VERTICALES DEL EJE DEL HORNO

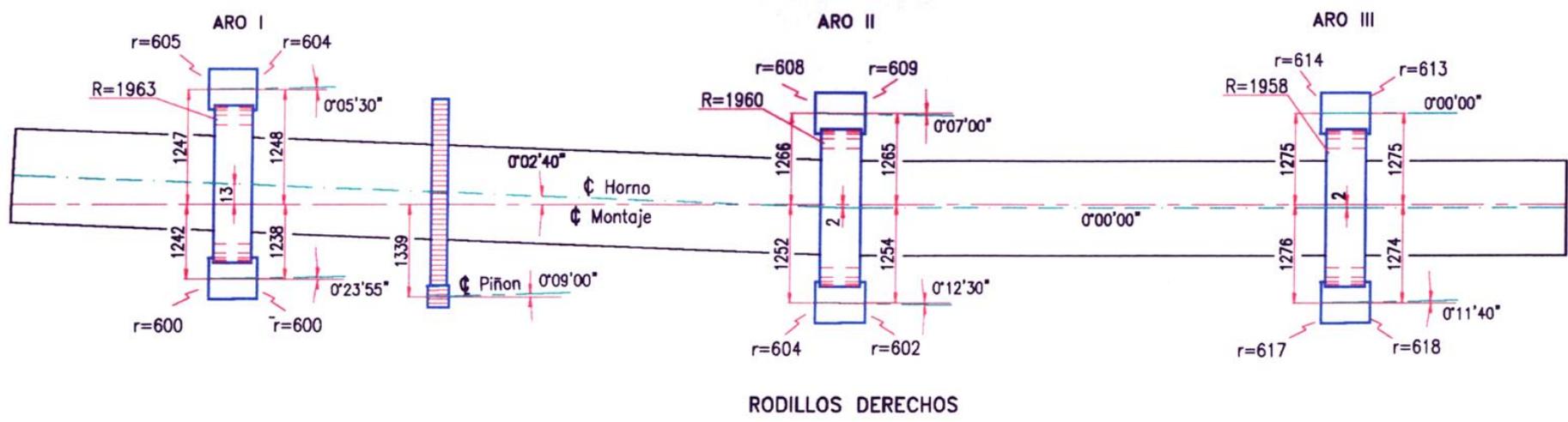


- Longitud total del horno (s/plano): 80.00 mts.
- Diametro interno del horno (s/plano): 5.000 mts.
- Vel. Giro= 1.88 rpm
- Consumo Acc.=2016 Nm/m
- Producción=3150 tn/dia

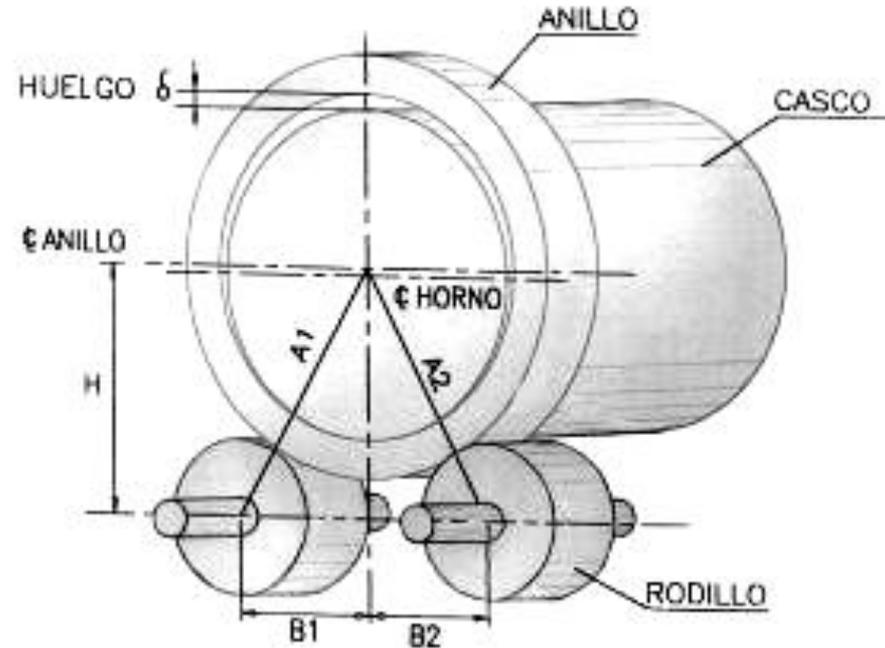
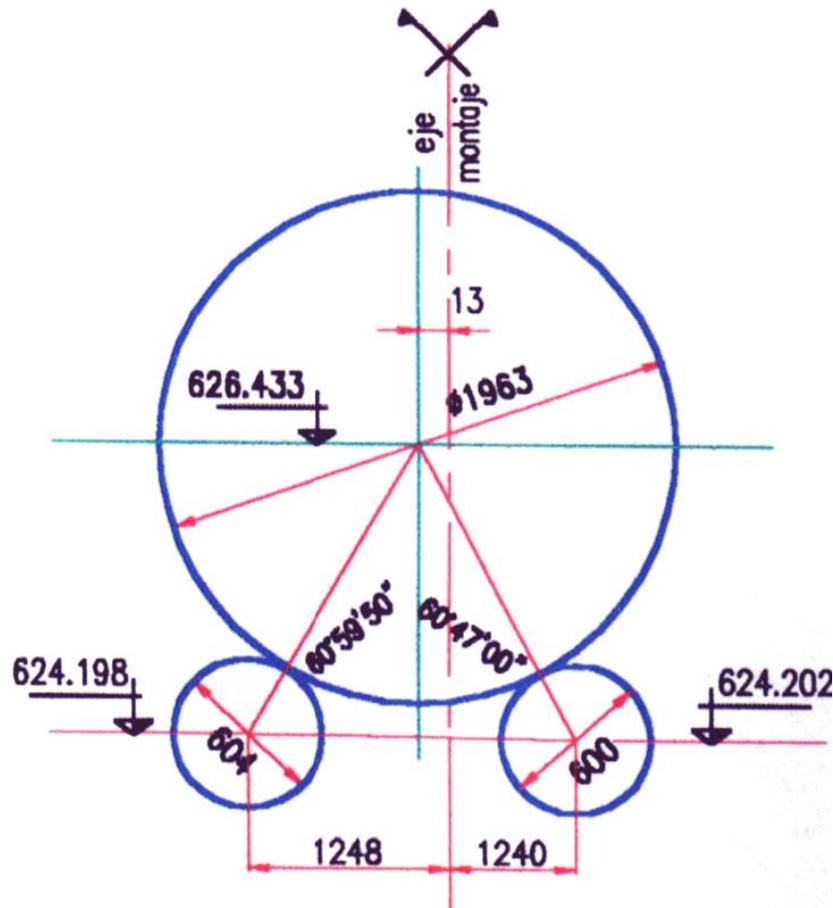
4.- Verificación de ejes y radios de los rodillos



VISTA EN PLANTA

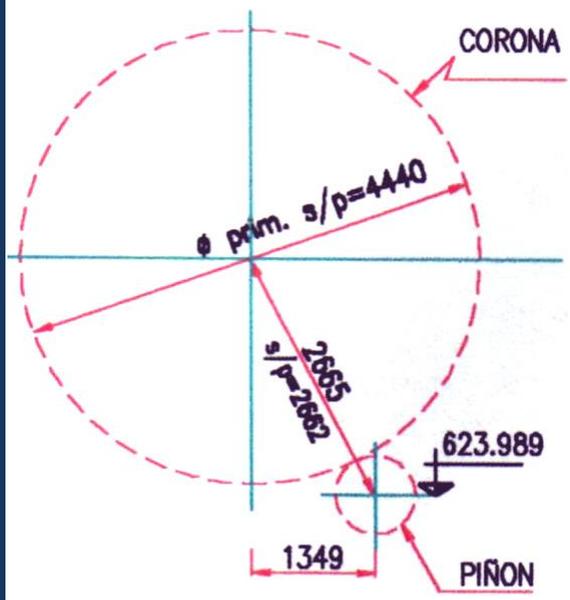


4.- Verificación de ejes y radios de los rodillos

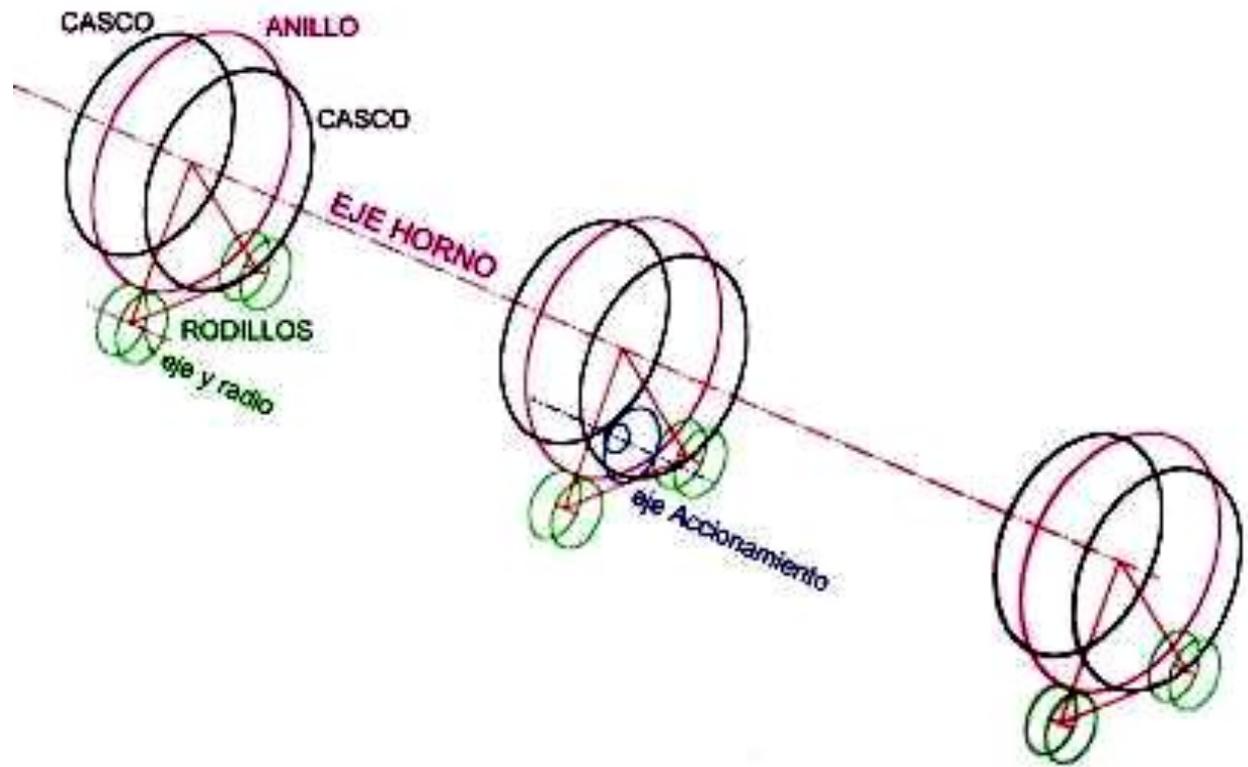


Las mediciones se ejecutan en la franja donde apoya la llanta de los anillos, se determinan sus radios y la ubicación de los ejes de giro respecto al eje de montaje del horno.

ACCIONAMIENTO

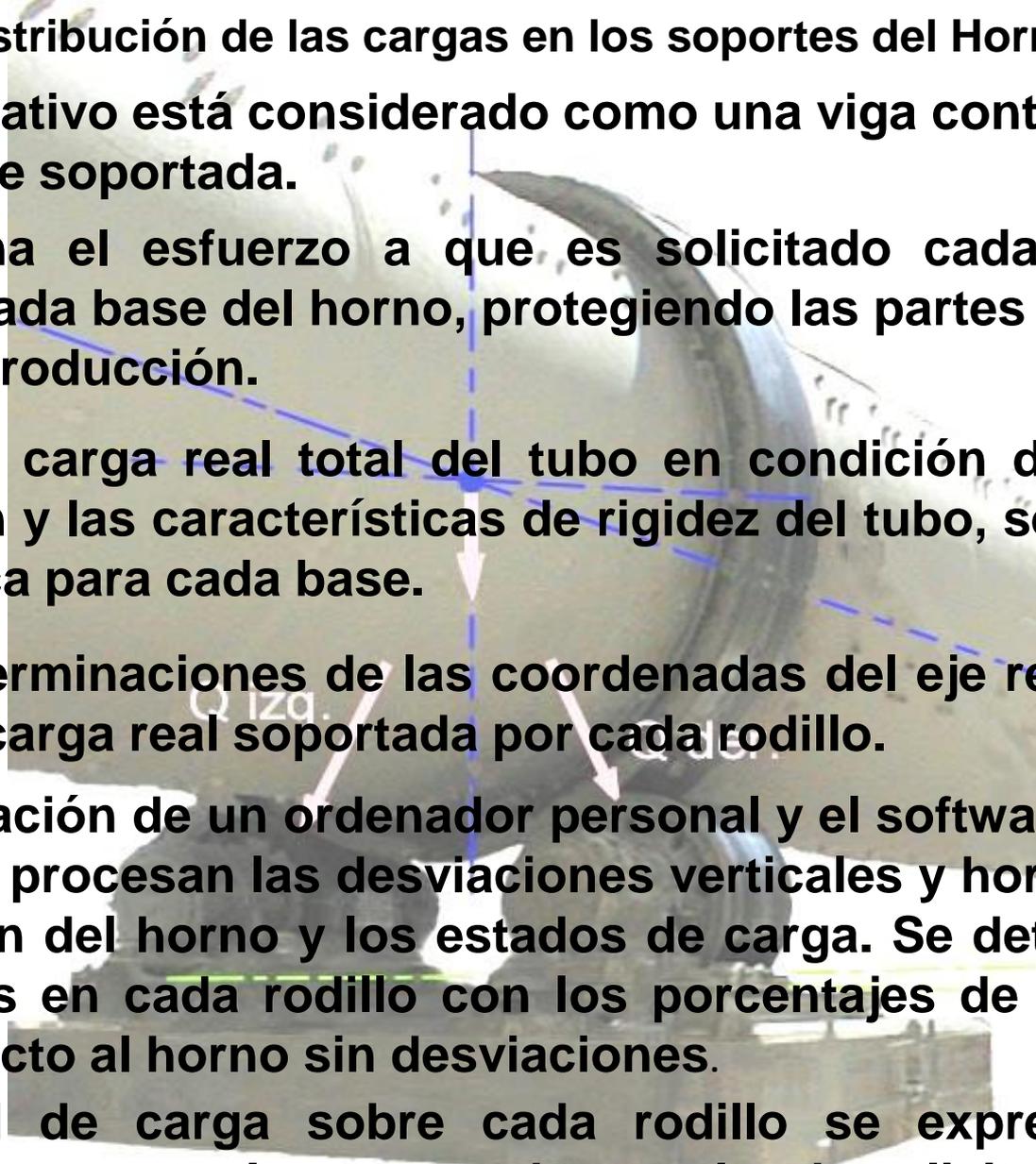


Además, de ser accesible, se miden el eje de accionamiento del piñón, a los efectos de sugerir los movimientos horizontales teóricos de los rodillos, para un ajuste horizontal y vertical del eje de giro del horno



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

- ✓ El horno rotativo está considerado como una viga continua, elástica y simplemente soportada.
- ✓ Se determina el esfuerzo a que es solicitado cada uno de los soportes de cada base del horno, protegiendo las partes más caras de la unidad de producción.
- ✓ Conocida la carga real total del tubo en condición de proceso a pleno régimen y las características de rigidez del tubo, se determinan la carga teórica para cada base.
- ✓ 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, 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



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

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 harina.

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

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

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

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

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

DISTRIB. CARGAS P/DESVIACIONES HORIZONTALES			SOLICITUDES SOBRE RODILLOS			
			IZQUIERDO		DERECHO	
BASE Nº	Desv. (e) [mm]	Cargas (f) [tn]	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 apoyo.

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

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

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

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

(j) Idem (h) en el rodillo derecho



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

Análisis del estado de Alineación

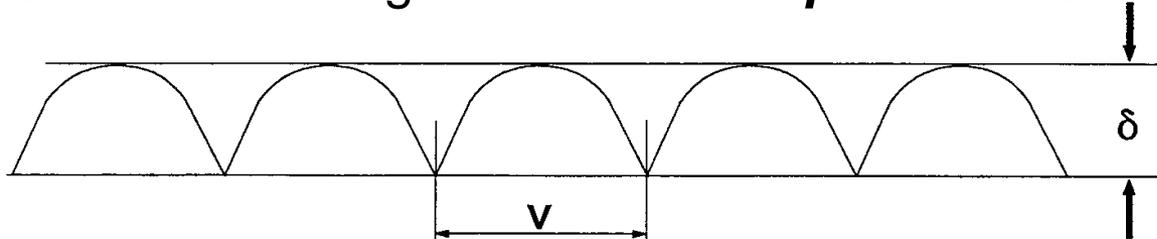
1. Se analiza cómo afecta el esfuerzo a que es solicitado cada uno de los rodillos de apoyos, el estado actual de alineación del horno, la rigidez del mismo y distintas alternativas de corrección, simulando desplazamientos horizontales y verticales.
2. Para los movimientos verticales se desplazan los rodillos horizontalmente tal que se “cierran” o “abren”, según corresponda. Para los movimientos horizontales se desplazan ambos rodillos la misma magnitud
3. 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 un \varnothing 3 mm 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.
4. Ante la urgencia de posibles correcciones de los anillos, se realiza la asistencia técnica inmediata, con la verificación de la alineación del eje de giro en los apoyos afectados -reiteración de las mediciones indicadas-

Medición del desplazamiento relativo de llantas vs. Coraza (V) y holgura (δ) con Oburg (comparador)

La diferencia de diámetros (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. Los fabricantes toman:

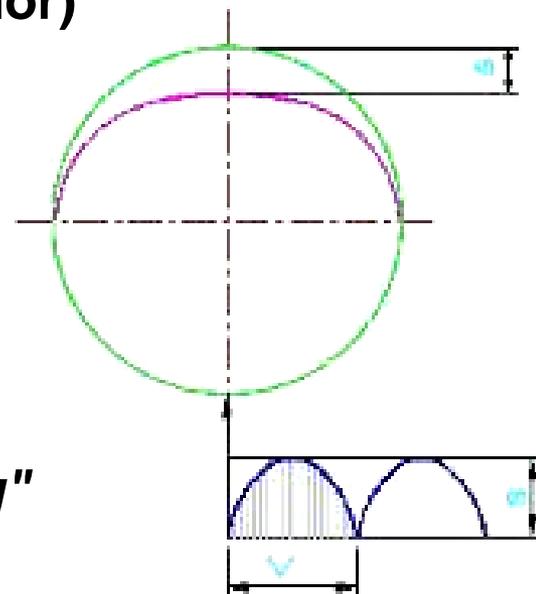
- V/ $\delta = 1,5$ p/ hornos largos y un Diámetro > 4 m
- V/ $\delta = 2,0$ p/ hornos cortos y un Diámetro < 4 m

a) Utilizando un registrador del **comparador "Oburg"**



b) Registrando la distancia de avance de n revoluciones $d = nV$ de una marca a la otra.

$\delta \cong \frac{V}{(1,5 \text{ a } 2,5)} > Sth$ Los valores δ son reales
Sth es ficticia, ya que para definirla se ha tomado como base la sección transversal del horno sin deformación.

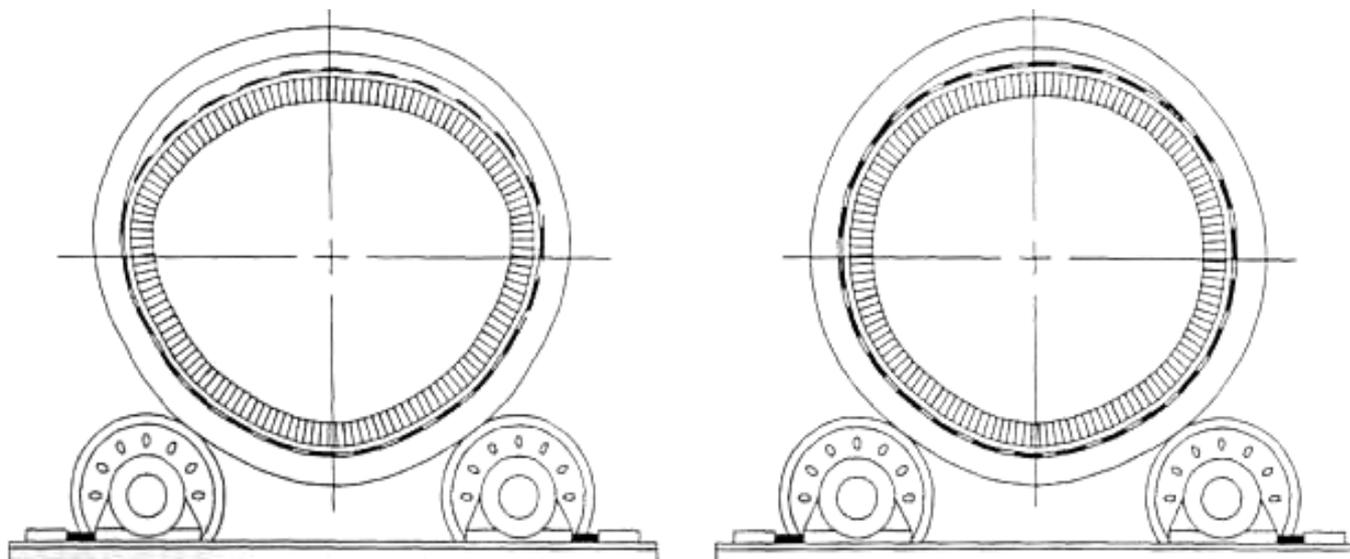


Medición de deformación de coraza -ovalidad-

El objetivo es **medir las deformaciones radiales**, en la zona de los anillos de rodadura.

La carcasa del horno va adoptando diversos radios de curvatura durante una vuelta completa. Las deformaciones pueden ser subdivididas en:

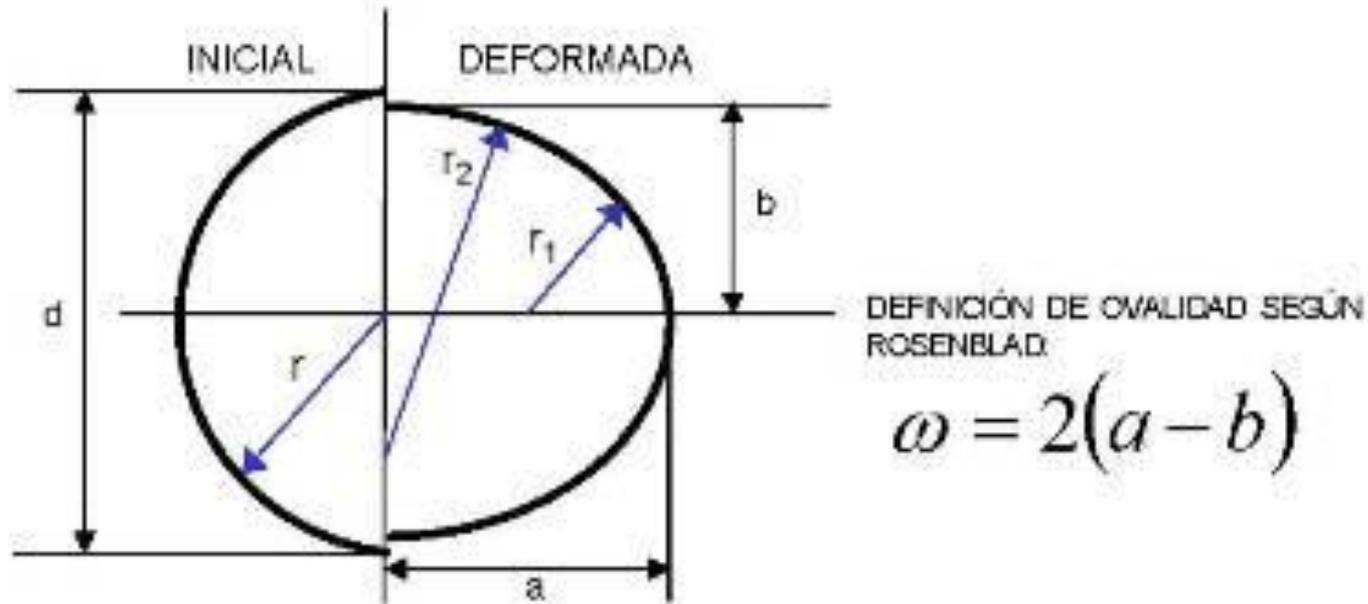
- Deformaciones de los anillos de rodadura en la zona de los rodillos de soporte, procedentes de las dos fuerzas de reacción.
- Deformaciones de la carcasa del horno, o aplastamiento en el punto más alto, a causa del juego entre la carcasa y el anillo de rodadura.



Medición de deformación de coraza -ovalidad-

La **ovalidad** del horno es el grado de la deformación elástica.

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.



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

Es el juego entre el anillo de rodadura muy rígido y el tubo del horno muy flexible.

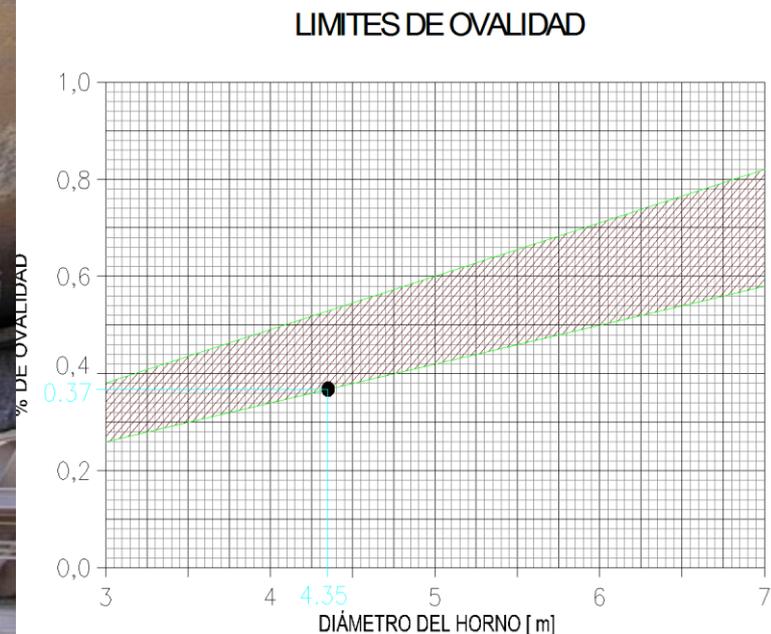
Solamente la rigidez del anillo asegura la forma casi circular del horno.

Medición de deformación de coraza -ovalidad- ShellTest

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

Por ej.: un horno de 4,35 m, el límite es de 0,37 %

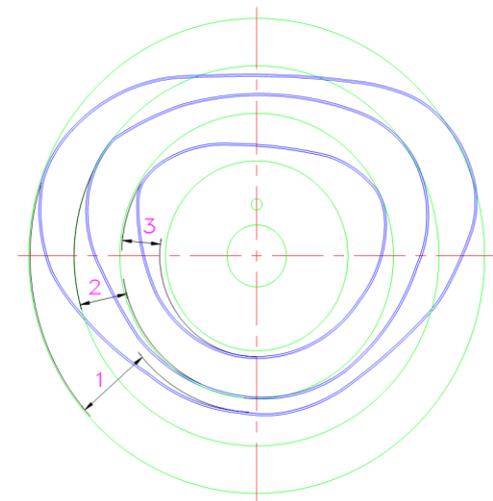
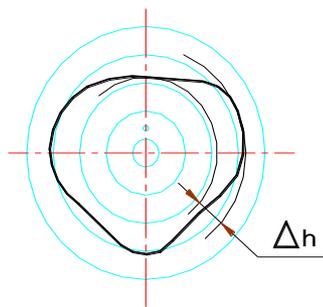
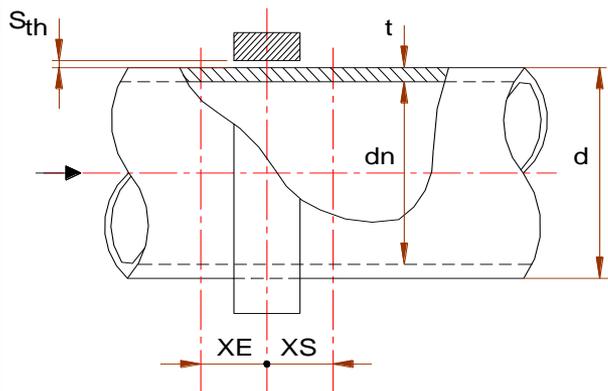
Shelltest



Medición de deformación de coraza -ovalidad- ShellTest

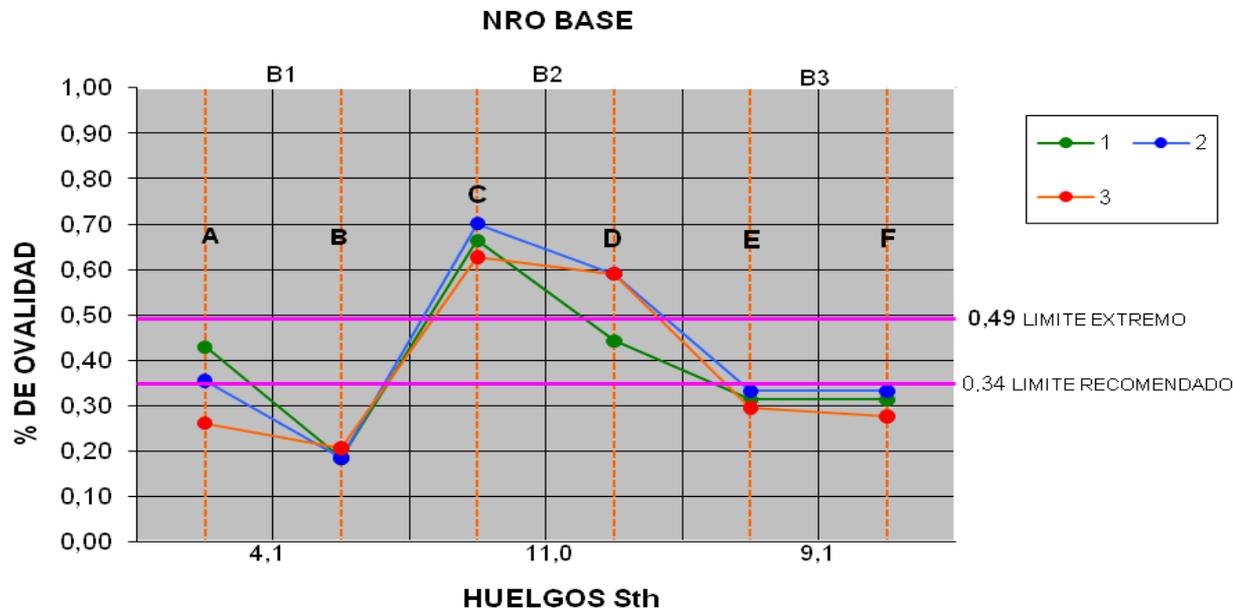
Se realizan en tres puntos, en líneas de la carcasa desplazadas en 120° obteniendo tres diagramas por plano.

El diagrama Shelltest, es la 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. O sea dibuja las desviaciones sobre el diagrama a escala 1:15



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

Medición de deformación de coraza -ovalidad- ShellTest - Diagramas



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

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

$\delta = \Delta h / 15$ (mm) medida en el diagrama Shelltest. Δh es 1, 2 y 3

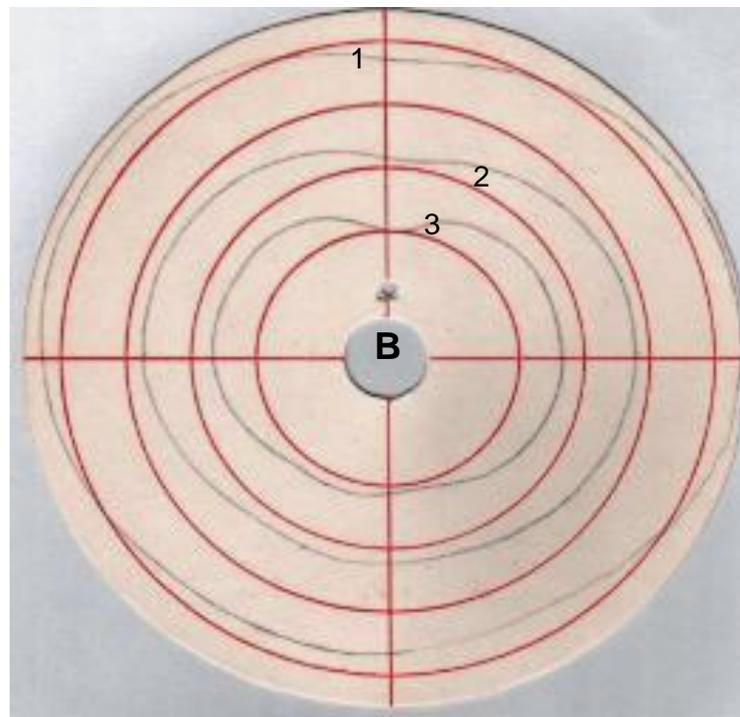
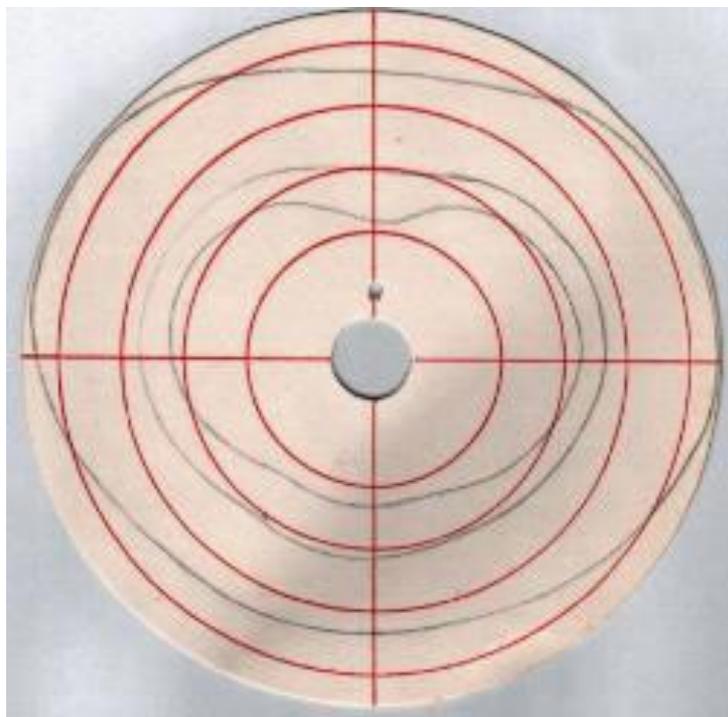
d = Diámetro exterior de la carcasa del horno (m).

dN = Diámetro interior de la carcasa (mm)

Si las líneas de unión se cruzan entre sí 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.

Medición de deformación de coraza -ovalidad- ShellTest - Diagramas



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

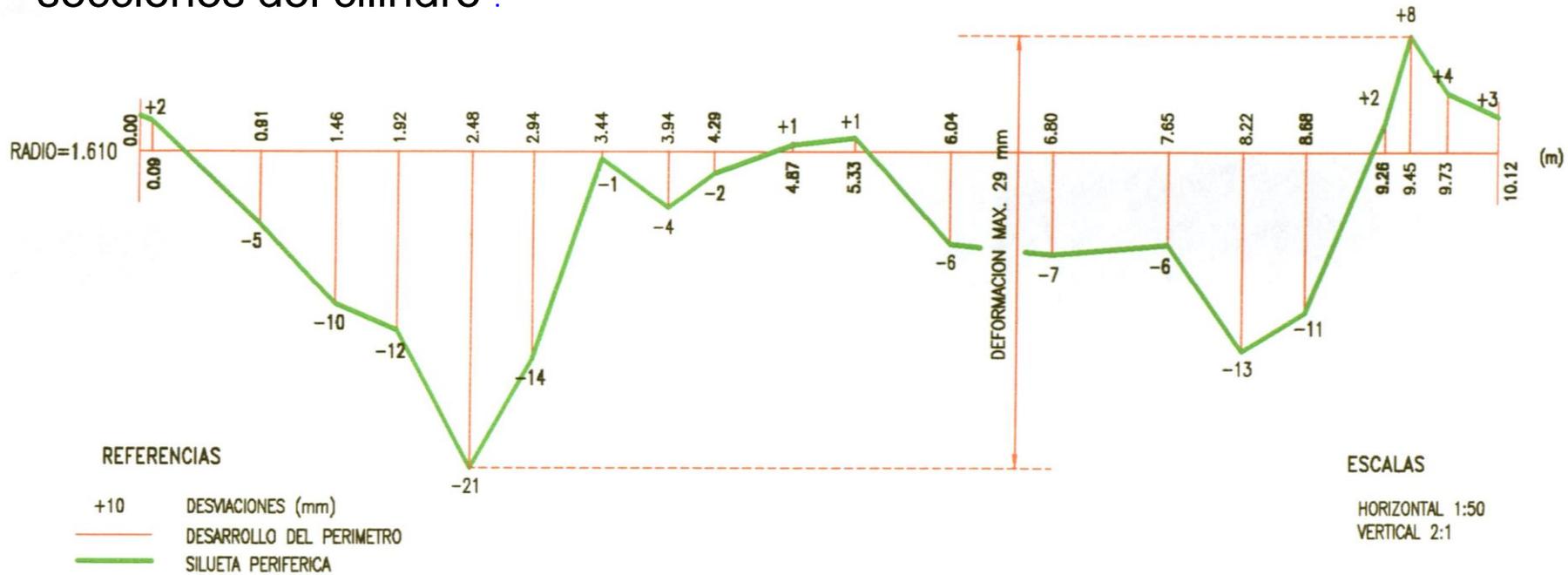
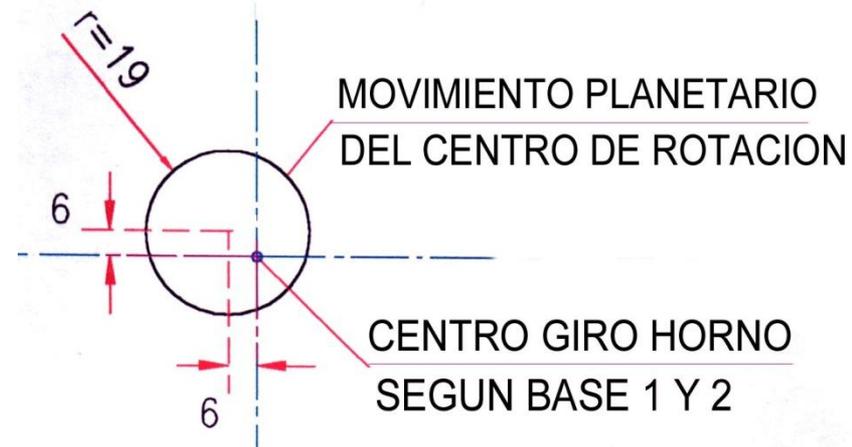
Medición de siluetas periféricas de secciones y centros de rotación del casco del horno (efecto cigüeñal y movimiento planetario)

- ✓ Si el cilindro del horno no es simétrico durante la rotación, el centro del horno no coincide con eje de giro del horno, tiene **efecto cigüeñal**
- ✓ En casos extremos, cuando el horno comienza a elevarse del rodillo, se percibe visualmente la presencia del cigüeñal
- ✓ Existen cigüeñales que son permanentes, -estacionarios- sus orígenes pueden ser por falta de trabajos de reparación, por ejemplo en contracciones de soldaduras, o sea son situaciones mecánicas.
- ✓ Otro tipo de cigüeñal obedece a la distribución de la temperatura en el tubo del horno,. 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. Zonas donde la formación de costra .

Siluetas periféricas de secciones del casco del horno

Movimiento de los centros rotación

Medición de 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.



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 (diagnóstico) con el conocimiento previo de las “enfermedades” con que el horno, eventualmente, pueda ser contagiado.

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.....

Alguna pregunta?

Mi agradecimiento a:

***Consejo Profesional de Agrimensura de la Prov. de Bs. As.
Escuela de Agrimensura de la UNC
Facultad de Ingeniería de la UNICEN***

