



\*D-9315\*



T  
621.396  
J17

# ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

## Facultad de Ingeniería Mecánica



"MEMORIAS DE UN CAMBIO DE LA ZONA DE SINTERIZACION DE UN HORNO ROTATIVO; ALINEAMIENTO DEL MISMO Y DEL SISTEMA DE ACCIONAMIENTO PIÑON CORONA"

### REPORTE TECNICO

Previo a la obtención del Título de:  
INGENIERO MECANICO



BIBLIOTECA

Presentado por:

Víctor Hugo Jácome Menéndez

Guayaquil - Ecuador

1.988

## AGRADECIMIENTO

Al ING. IGNACIO WIESNER F.  
Director de Reporte, por su  
ayuda y colaboración para  
la realización de este tra  
bajo.

DEDICATORIA



A LA MEMORIA DE MI PADRE

A MI ESPOSA

A MIS HIJOS

## DECLARACION EXPRESA

" La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en este Reporte, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual del mismo, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

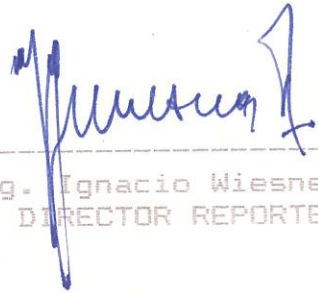
(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and a long horizontal stroke, positioned above a dashed line.

Victor Hugo Jacome Menendez



Ing. Marcos Tapia Q.  
SUBDECANO



Ing. Ignacio Wiesner F.  
DIRECTOR REPORTE



BIBLIOTECA



Ing. Fscio. Andrade  
MIEMBRO TRIBUNAL

## RESUMEN

Uno de los hornos de la Cemento Nacional en la Planta San Eduardo (específicamente el HORNO # 6), fabricado por la firma HUMBOLDT DEUTZ de Alemania y que fue montado en el año 1968, para el año 1982 presentaba marcadas deformaciones en su conformación, las mismas que se podían apreciar a simple vista.

Dichas deformaciones estaban mayormente acentuadas en la zona comprendida entre las dos llantas de soporte 1 y 2, zona en la cual se realiza el proceso de sinterización del clinker, el mismo que es altamente exotérmico.

Esta situación determinaba la falla prematura del revestimiento de refractarios interiores del horno.

Una vez realizadas las mediciones del grado de deformación y ovalidad que presentaba el referido equipo, se estudiaron las alternativas posibles para solucionar el problema, decidiendo finalmente proceder al cambio de la referida zona, la misma que sería fabricada por primera vez en el país.

Efectuado el cambio y las correcciones de alineamiento y nivelación del horno, se obtuvieron resultados altamente satisfactorios.

## INDICE GENERAL

RESUMEN	6
INDICE GENERAL	7
INDICE DE FIGURAS	9
1. ANTECEDENTES	
1.1. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO	12
1.2. DEFORMACION RADIAL Y OVALIDAD EN LOS HORNOS GIRATORIOS	21
1.3. JUEGO DE LLANTAS	34
1.4. PRINCIPIOS DE MEDICION, INTERPRETACION Y EVALUACION DE DIAGRAMAS	43
2. SOLUCION DEL PROBLEMA	
2.1. DESMONTAJE DEL TRAMO DE HORNO DEFECTUOSO	57
2.2. CONSTRUCCION, ENSAMBLADO Y MONTAJE DE LA SECCION NUEVA DEL HORNO	60
3. ALINEAMIENTO DEL HORNO	
3.1. METODOS DE ALINEAMIENTO	74
3.2. PROCEDIMIENTO DE ALINEAMIENTO Y MEDICIONES	83
3.3. EVALUACION Y CALCULO DE LOS DESALINEAMIENTOS	88
3.4. AJUSTE DE RODILLOS DEL HORNO	92
4. ALINEAMIENTO DEL PIRON Y LA CORONA DE ACCIONAMIENTO DEL HORNO	
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA ALINEAMIENTO DE SISTEMAS PIRON-CORONA	96
4.2. MEDICION DEL ALINEAMIENTO AXIAL Y RADIAL Y JUEGO DE ENGRANAJE PIRON Y CORONA	105

4.3. AJUSTE DE ENGRANAJE	109
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA	118



## INDICE DE FIGURAS

- 1.1.1.- Horno rotativo para fabricar Clinker.
- 1.1.2.- Horno normal intercambiador de calor de 4 etapas.
- 1.1.3.- Curva característica del ventilador de tiro inducido tipo HK-90/147.
- 1.2.1.- Efecto de las deformaciones radiales.
- 1.2.2.- Def. plástica por restricción de la expansión de la llanta.
- 1.2.3.- Def. plástica por sopladuras de la carcasa.
- 1.2.4.- Def. plástica por torcedura del horno.
- 1.2.5.- Ovalidad de los hornos.
- 1.2.6.- Criterio de Roseblad respecto a la ovalidad.
- 1.2.7.- Curva Ovalidad Vs. Diámetro del horno.
- 1.2.8.- Mediciones de la deformación de un horno.
- 1.2.9.- Ovalidad relativa del horno 6 en sus zonas de apoyo.
- 1.3.1.- Juego teórico y efectivo de las llantas respecto a la carcasa.
- 1.3.2.- Desplazamiento de la llanta respecto a la carcasa
- 1.3.3.- Curva de temperatura del anillo de rodadura y de la carcasa del horno durante la fase de calentamiento de un horno.
- 1.3.4.- Determinación del espesor de las chapas a colocar debajo de las zapatas del anillo de rodadura.
- 1.4.1.- Dispositivo para medir la deformación.
- 1.4.2.- Gráfico de deformación de carcasa del horno 6 en zona de llanta Nº 1.

- 1.4.3.- Instrumento OBOURG.
- 1.4.4.- Desarrollo de la ovalidad en un horno giratorio.
- 1.4.5.- Partes del aparato de medición de las deformaciones de la carcasa del horno.
- 1.4.6.- Evaluación de una medición de deformación de carcasa.
- 2.1.1.- Corte y desmontaje de la zona de llanta #1.
- 2.1.2.- Corte de zona entre llanta 1 y 2.
- 2.1.3.- Desmontaje de zona entre llantas 1 y 2.
- 2.2.1.- Conformación de anillos al bisel y tipo de bisel usado.
- 2.2.2.- Conformación del tubo de horno.
- 2.2.3.- Colocación de la llanta en el tramo nuevo del horno.
- 2.2.4.- Montaje zona de soporte y llanta 1.
- 2.2.5.- Montaje zona de soporte de segmentos de retención de boca de horno.
- 2.2.6.- Montaje de tramo de horno entre llantas 1 y 2.
- 2.2.7.- Alineamiento del horno.
- 3.1.1.- Planos de medición para determinar los ejes del horno.
- 3.1.2.- Medición con teodolito fuera del horno (distanc. verticales).
- 3.1.3.- Medición con teodolito fuera del horno (distanc. horizontales).
- 3.2.1.- Medición de diámetros de rodillos de soportes.
- 3.2.2.- Detalles previos a la nivelación vertical.

- 3.2.3.- Medición del plano vertical con teodolito sobre el horno al lado de alimentación.
- 3.2.4.- Detalles previos a la nivelación horizontal.
- 3.2.5.- Medición del plano horizontal con teodolito junto al horno al lado de descarga.
- 3.3.1.- Resultados de los nivelamientos horizontal y vertical.
- 3.3.2.- Mov. de rodillos para corrección de nivel sobre el plano vertical.
- 3.3.3.- Mov. de rodillos para corrección de nivel sobre el plano horizontal.
- 4.1.1.- Alineación radial y desbalanceo del piñón.
- 4.1.2.- Inspección visual del juego o claro.
- 4.1.3.- Inspección visual de los flancos.
- 4.1.4.- Medición de la temperatura de los flancos.
- 4.1.5.- Impresiones con silicón.
- 4.2.1.- Medición de la alineación axial de coronas.
- 4.2.2.- Gráfico del desalineamiento axial.
- 4.2.3.- Medición de la alineación radial de coronas.
- 4.2.4.- Gráfico del desalineamiento radial.
- 4.2.5.- Medición del juego entre dientes.

## CAPITULO I

### ANTECEDENTES

#### 1.1. CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO.

HORNO ROTATIVO PARA FABRICAR CLINKER:

MARCA : HULBOLDT - DEUTZ (Figura 1.1.1)

FABRICACION : ALEMANA

TIPO : DS-4, PROCESO SECO, CON PRECALENTADOR  
DE 4 ETAPAS (Figura 1.1.2)

DIAMETRO : 3.2 MTS.

LONGITUD : 40 MTS.

CAP. NOMINAL: 425 TON. CLINKER/DIA

CON. CALORIF: 976 KCAL/KGM CLINKER

VEL. MAXIMA : 3.2 RPM

MOT. PRINCIP: 68 HP

MOT. AUXILI.: 7.5 HP

TIPO DE COMB: BUNKER C

CON. EN OPER: 540 GAL/HR A 400 PSI Y 90°C

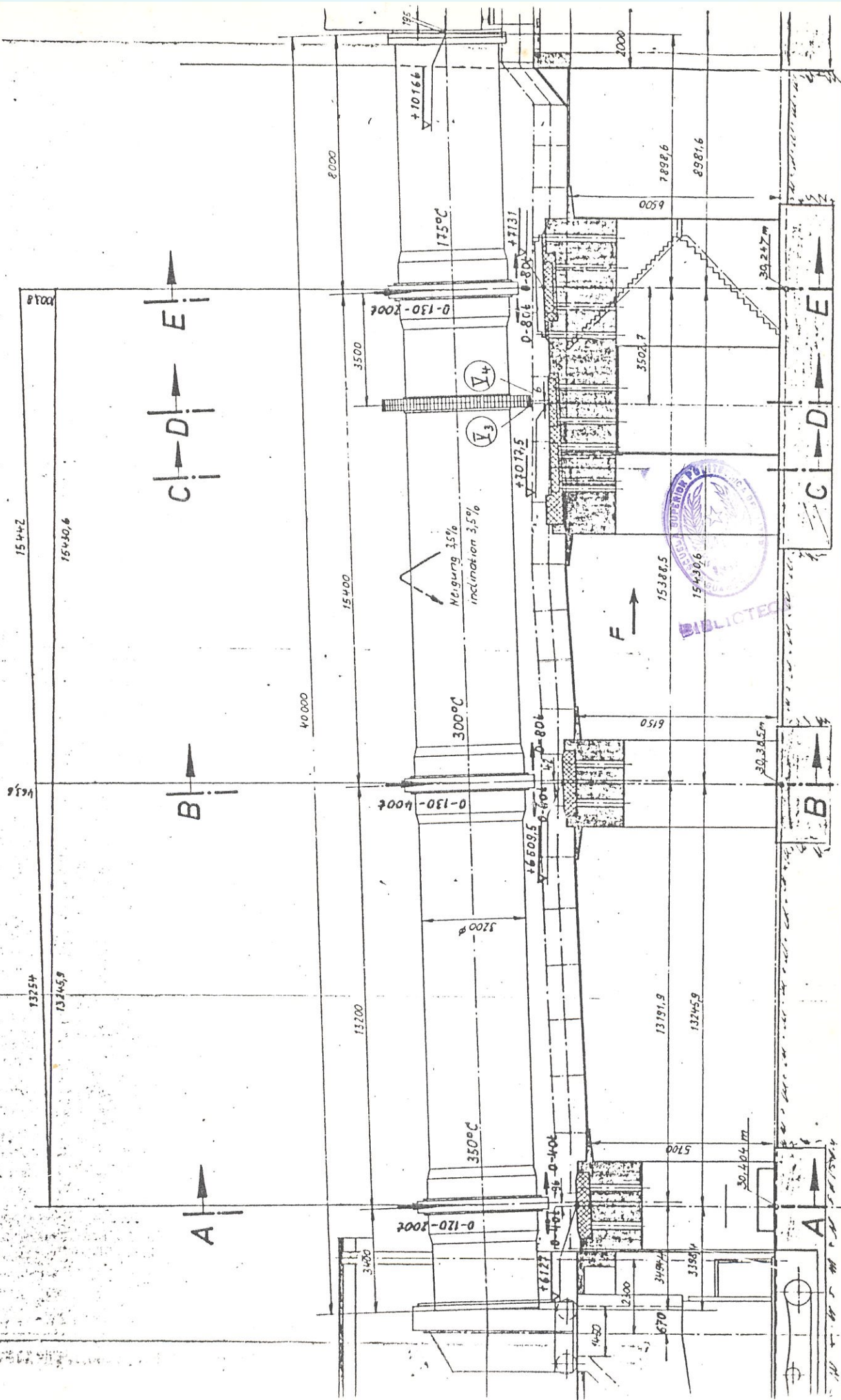
CAP. QUEMAD.: 800 GAL/HR A 800 PSI Y 90°C

VENT. TIRO INDUCIDO TIPO : HK-90/147 (Figura 1.1.3)

#### PROCESO

Este horno utilizando el proceso seco, es decir alimentando el precalentador con harina de caliza cruda, de humedad inferior al 1%, para que esta asu vez sea calentada por suspensión. Es la máquina más importante para la fabricación de clinker.

La materia prima para la alimentación de este



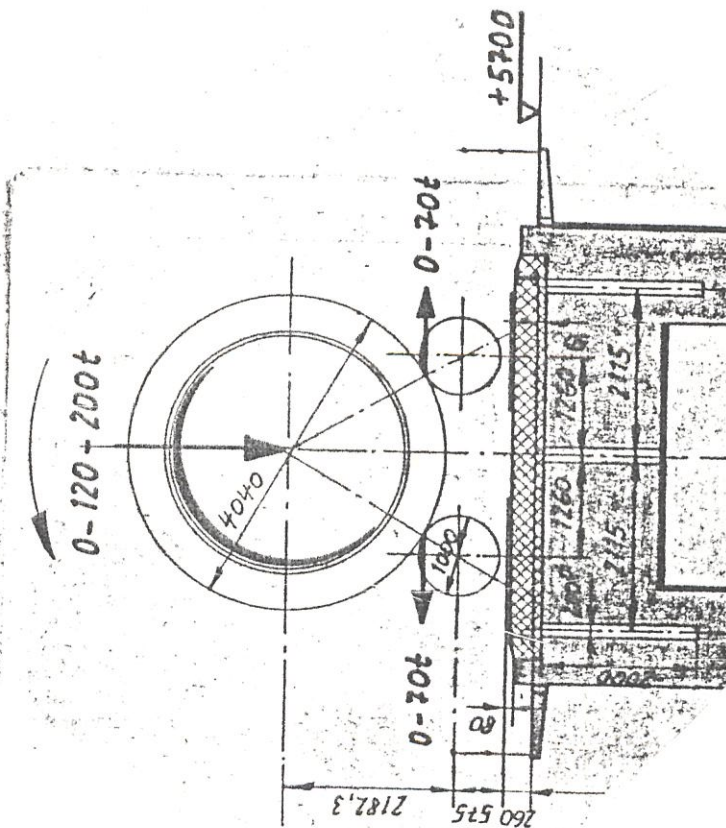
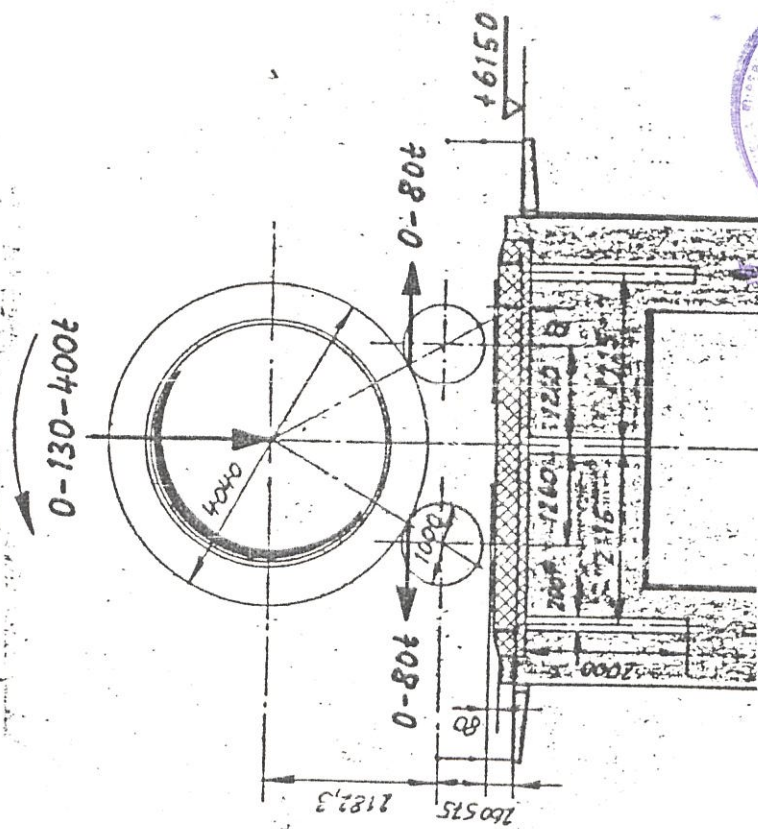
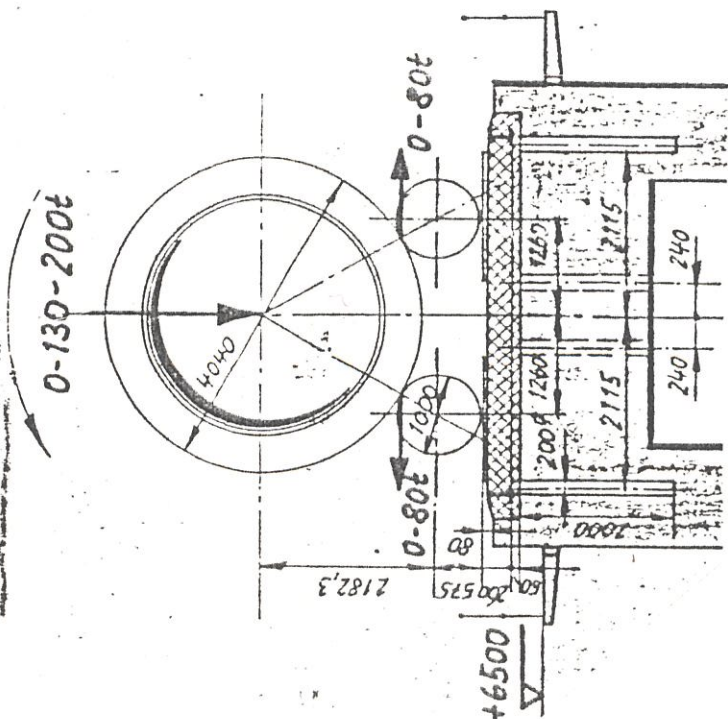


FIG. 1.1.1. - HORNO ROTATIVO PARA FABRICAR CLINKER (cont.)



# Section E-E



# View F

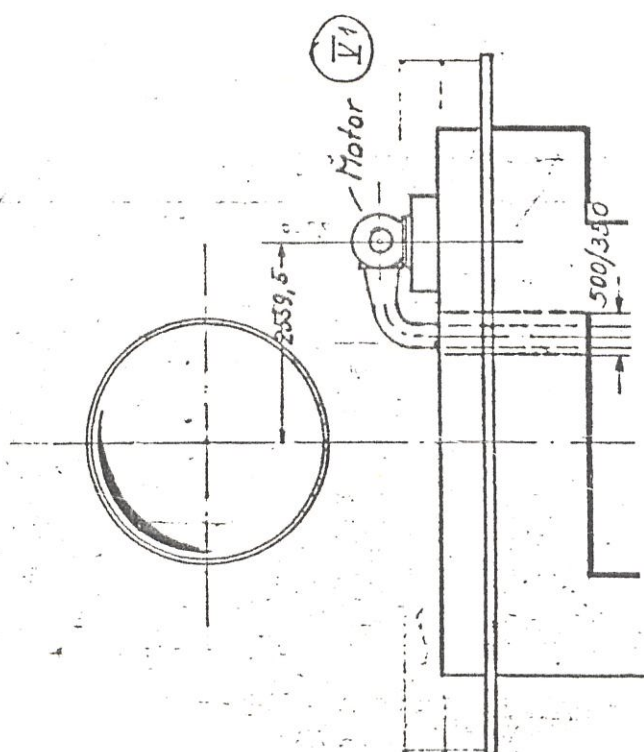


FIG. 1.1.1.1.- HORNO ROTATIVO PARA FABRICAR CLINKER (cont.).

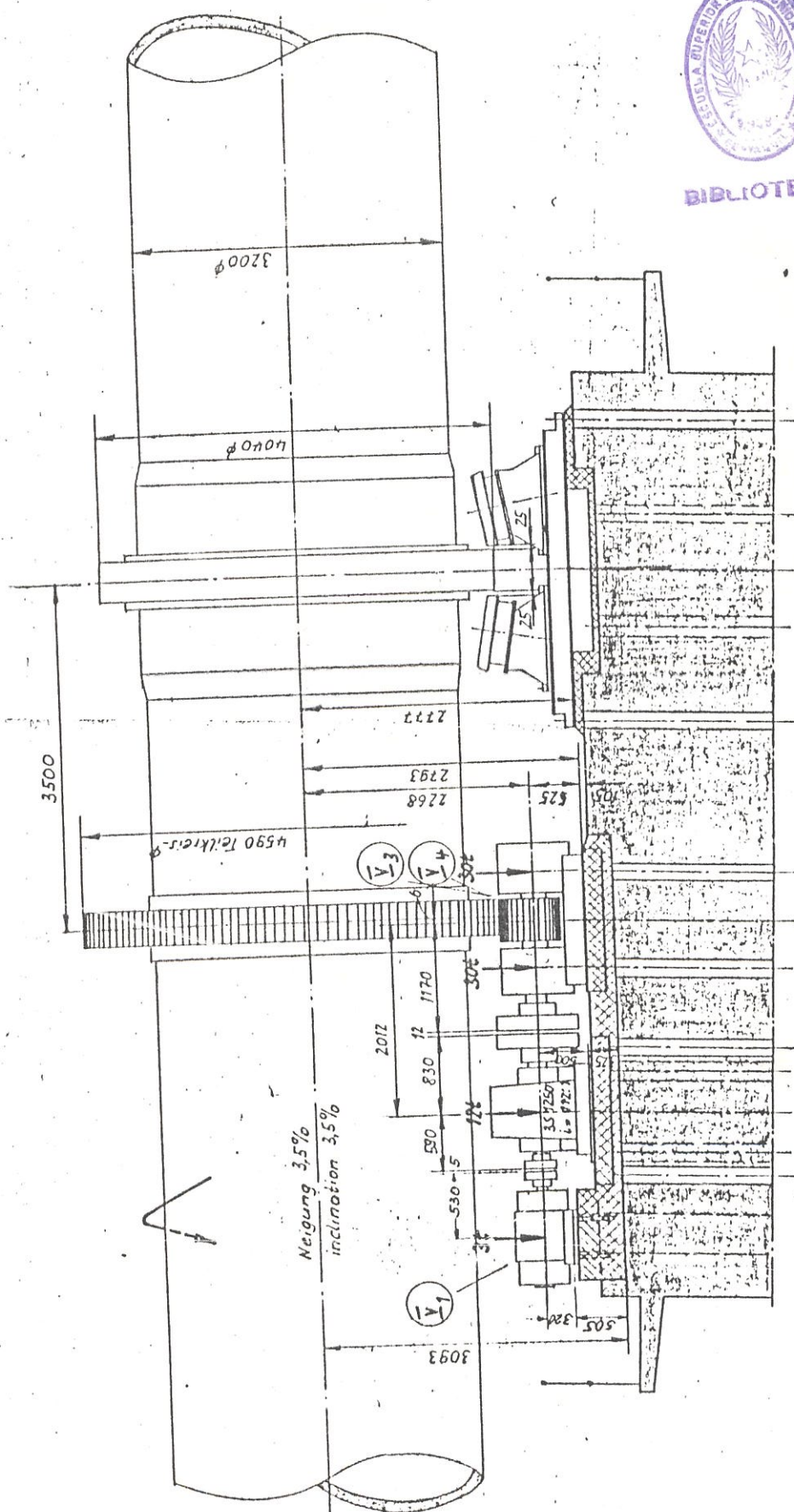


FIG. 1. 1. 1. -- HORNO ROTATIVO PARA FABRICAR CLINKER (cont.).

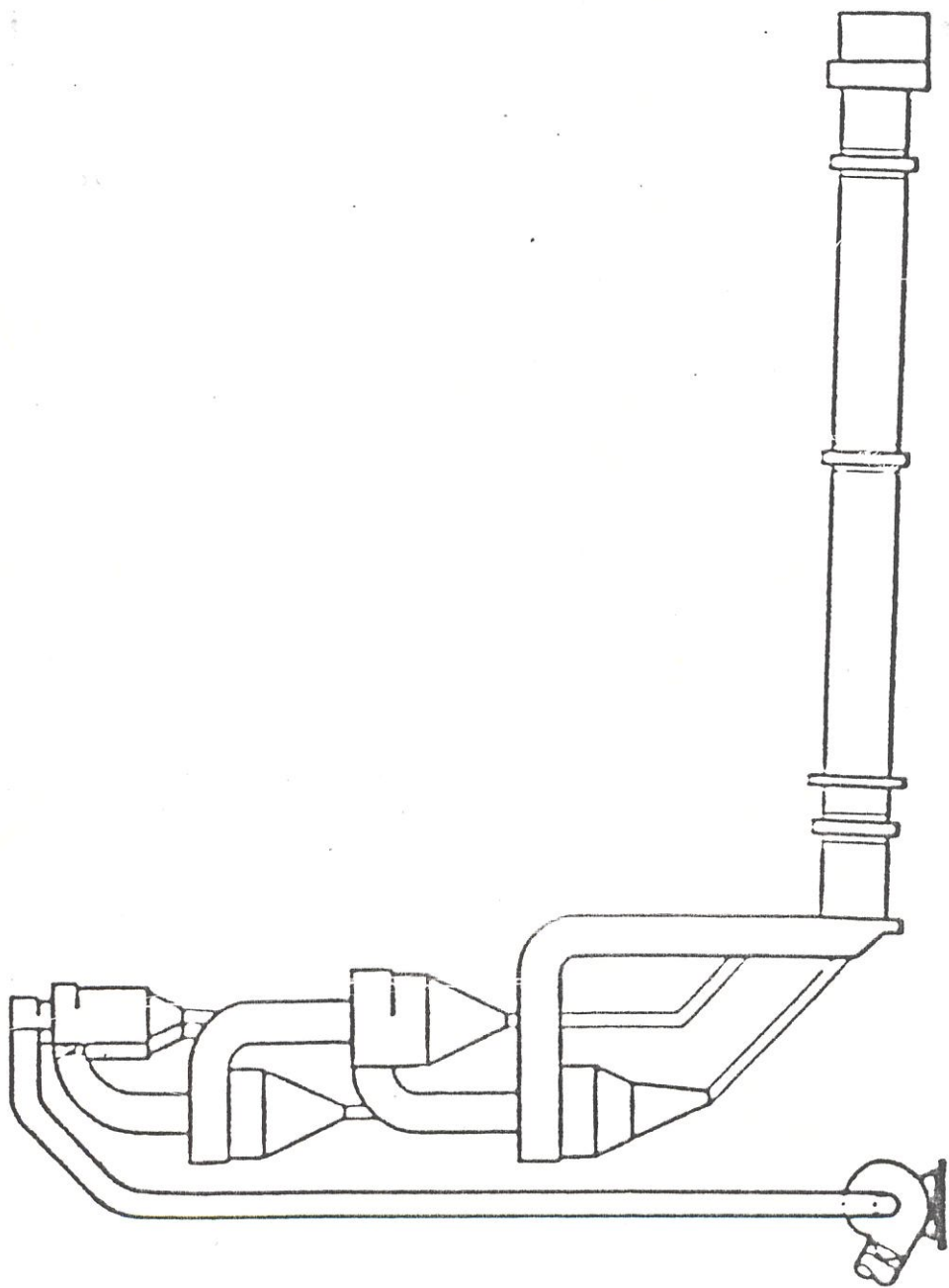
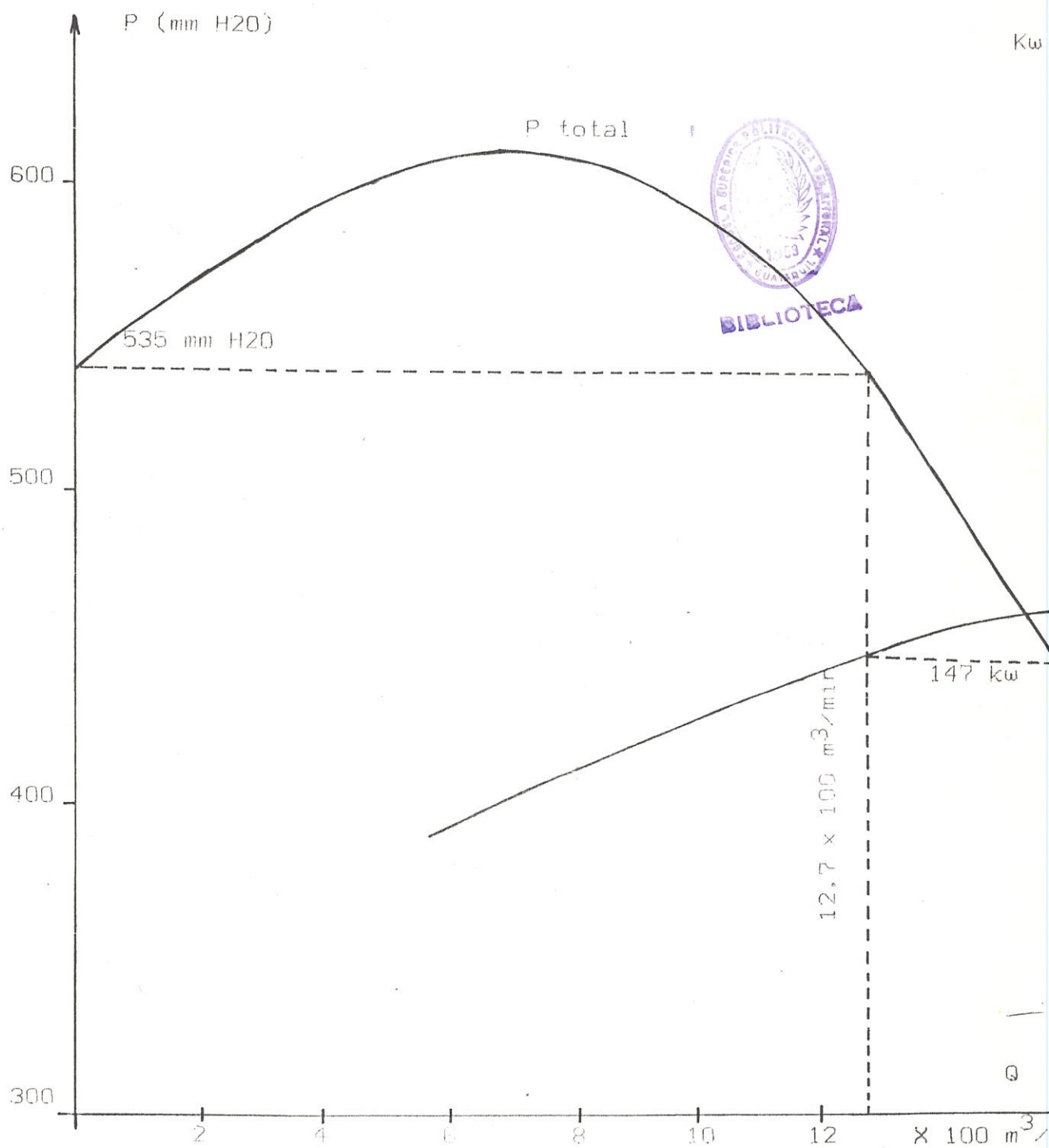


FIG. 1.1.2.- HORNO NORMAL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE 4 ETAPAS.



$Q = 1270 \text{ m}^3/\text{min}$ ;  $P = 147 \text{ Kw}$ ;  $U = 1750 \text{ RPM}$ ;  $T = 350^\circ\text{C}$ ;  
 $= 0.59 \text{ Kg}/\text{m}^3$ ;  $P = 535 \text{ mm H}_2\text{O}$ ;  $T_{\text{max}} = 400^\circ\text{C}$ ;  $U_{\text{max}} = 1800 \text{ RPM}$

Fig. 1.1.3.- CURVA CARACTERISTICA DEL VENTILADOR DE TIRO  
 INDUCIDO TIPO HK-90/147.



sistema se prepara previamente con un equipo para la molienda y secado, conformado por un molino que utiliza los gases de escape del horno para secar el crudo molido, acto seguido se homogeneiza el material antes de alimentar el precalentador, en el precalentador el crudo queda en suspensión en las corrientes de gases del horno. Las mismas que son inducidas por un ventilador de alta presión; produciéndose así una transmisión de calor extremadamente eficaz.

El intercambio de calor entre el crudo y los gases de combustión se lo realiza en contraflujo en la etapa vertical del precalentador, al caer el material a través de la corriente de gas ascendente, el intercambio de calor tiene lugar durante el tiempo de retención del material en el sistema. Posteriormente los gases en flujo turbulento, portando crudo, continúan el proceso de intercambio de calor durante este transporte neumático en flujo concurrente hasta que se introducen en los ciclones. Aquí se separan las partículas sólidas de las gaseosas, dando como resultado el que el crudo esté aproximadamente a la misma temperatura de los gases. El residuo de la energía térmica de los gases se lo aprovecha en el secado del crudo durante la molienda, ya que sin ella sería necesaria la instalación de un generador de calor auxiliar para

el proceso de secado. El precalentador de 4 etapas, se encuentra instalado en una torre junto al horno, aquí se efectúa el escape de agua combinada del crudo. La que tiene lugar a los  $600^{\circ}\text{C}$ , ingresando el material al horno con aproximadamente  $800^{\circ}\text{C}$ .

Los gases dentro del horno en esta zona están por los  $1000^{\circ}\text{C}$  y es en este primer tramo del horno, donde se produce el proceso de calcinación o descarbonatización, la materia prima alcanza los  $900^{\circ}\text{C}$ , luego pasa por una fase de transición hasta una temperatura de  $1250^{\circ}\text{C}$ , la que se realiza en la zona intermedia, para así llegar a la zona de sinterización o formación del clinker, en la que se tienen temperaturas de  $1400$  a  $1500^{\circ}\text{C}$ , como consecuencia de la fase exotérmica del proceso.

Finalmente con el clinker formado se llega a la boca de descarga a unos  $1100^{\circ}\text{C}$ , la caída de presión a lo largo de todo el sistema es de  $500$  a  $600\text{ mm H}_2\text{O}$ , con una formación de polvo del  $5$  al  $10\%$  del clinker producido.

## 1.2. DEFORMACION RADIAL Y OVALIDAD EN LOS HORNOS GIRATORIOS.

### DEFINICIONES DE DEFORMACION RADIAL Y OVALIDAD

Se define como deformación radial, la variación del radio de curvatura de una sección circular de un

círculo. Y como ovalidad, la conformación elipsoide que adopta un círculo cuando es ligeramente deformado.

#### COMENTARIOS Y CAUSAS DE DEFORMACION Y OVALIDAD

Todo horno rotativo en servicio, se encuentra sujeto a esfuerzos que causan deformaciones radiales especialmente en el área de las llantas, que son las superficies de apoyo del mismo. (Fig. 1.2.1).

Por esta razón en el curso de una revolución, el horno presenta diversos radios de curvatura de su carcasa. La deformación de la carcasa en la parte superior de los hornos rotativos, se debe principalmente al peso de la mitad de la carcasa superior, incluyendo el peso de los ladrillos refractarios y las costras por incrustaciones del horno.

La distorsión de la carcasa o el aplastamiento que sufre la parte superior del horno es el resultado de las condiciones de ajuste de las llantas o anillos de rodaduras y el tubo o carcasa del horno.

Cuanto mayor sea este juego, mayor será el valor de la deformación de la carcasa.

Las fuerzas de reacción que actúan sobre las llantas, les causa también deformación y esta deformación será proporcional a la dureza de las mismas. Así pues, en términos generales las

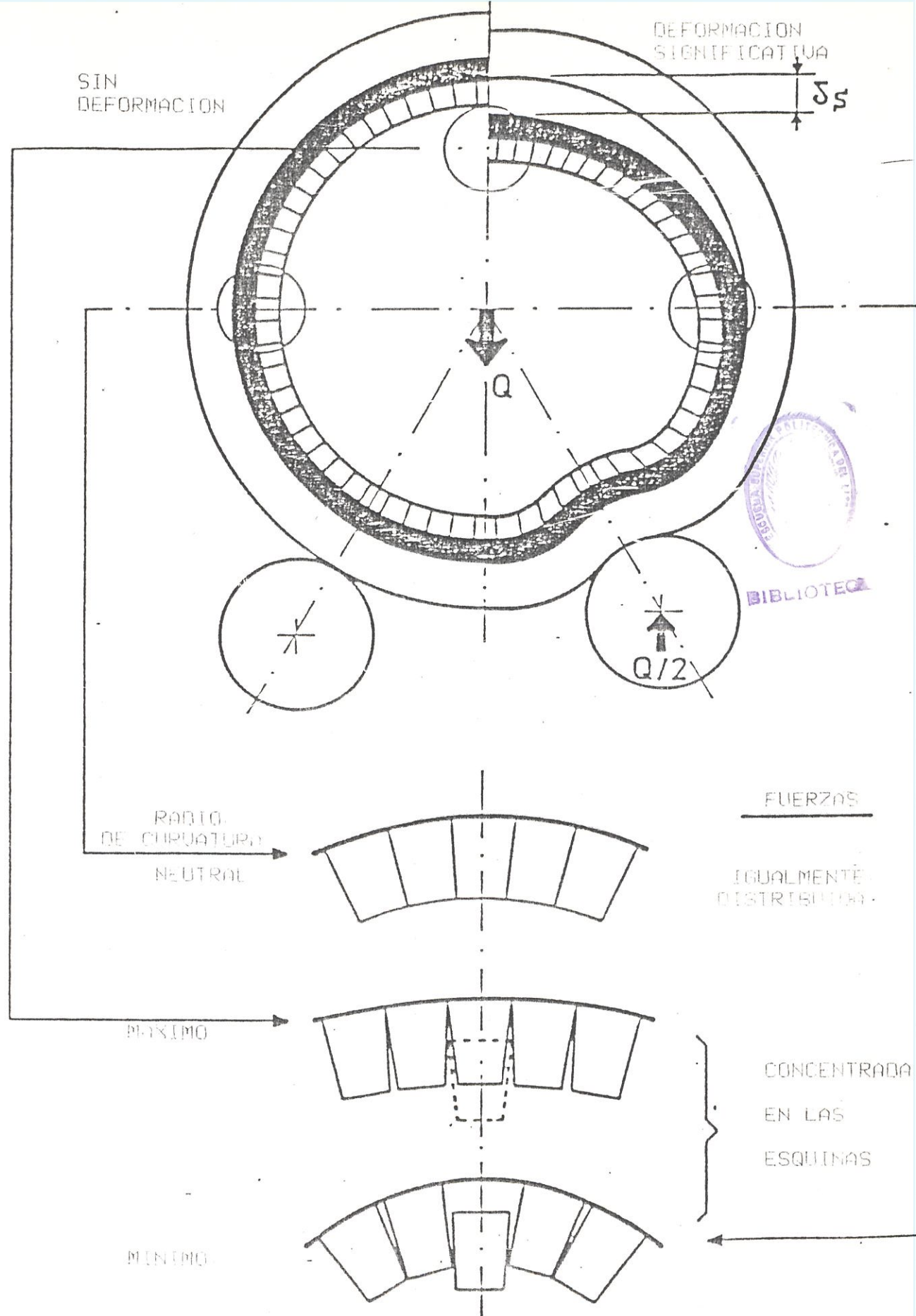


FIG. 1.2.1.- EFECTO DE LAS O FORMACIONES RADIALES

deformaciones nos dan la posibilidad de medirlas y determinarlas.

En circunstancias ideales, la carcasa del horno debería ajustarse estrechamente dentro de las llantas y esta distancia debería ser mínima cuando el horno gira. Pero cuando el horno está frío, se requiere de cierta holgura para que la carcasa pueda resbalar en el interior de las llantas.

Por otro lado existe el peligro de graves consecuencias, si por efectos de un calentamiento rápido del horno, se expande la carcasa y no así la llanta cuya temperatura es menor; estos fenómenos suelen ocurrir cuando existen sobrecalentamientos de la carcasa en condiciones de operación normal de los hornos, por efectos de la caída de refractarios.

Las deformaciones radiales mínimas están localizadas en la mitad de los diferentes tramos del horno según el número de apoyos, es por esto que las mediciones de la deformación se llevan a efecto cerca de las llantas.

#### EFFECTOS DE LA DEFORMACION RADIAL

La vida útil de los ladrillos refractarios que revisten interiormente el horno, se encuentra influenciada directamente por las condiciones mecánicas del mismo y por las deformaciones en él producidas.

Si recordamos que la adhesión y estabilidad de los ladrillos dentro del horno dependen del "EFECTO DE ARCO", cuando el radio de curvatura del horno cambia continuamente durante su rotación; el recubrimiento de refractarios, sigue estos cambios de la cubierta, sujeto a una presión superficial excesiva que en un momento dado puede producir una rotura de los ladrillos.

Con el propósito de evitar las averías frecuentes de los revestimientos de ladrillos refractarios de los hornos rotativos; es necesario establecer el grado de deformación que tienen la cubierta de los hornos para reducir el consumo de refractarios.

#### TIPOS DE DEFORMACIONES PLASTICAS QUE SE PRESENTAN EN LOS HORNOS

- A. Por restricción de la expansión de la corasa respecto a la llanta. (Fig. 1.2.2).
- B. A consecuencia de las sopladuras de la carcasa por sobrecalentamiento a causa de deficiencia de los refractarios. (Fig. 1.2.3).
- C. Torcedura del horno que causa efectos de cigueñal (Fig. 1.2.4).

Esta última puede tener su origen en calentamientos o enfriamientos irregulares, los cuales hacen que los diferenciales de temperatura de las zonas

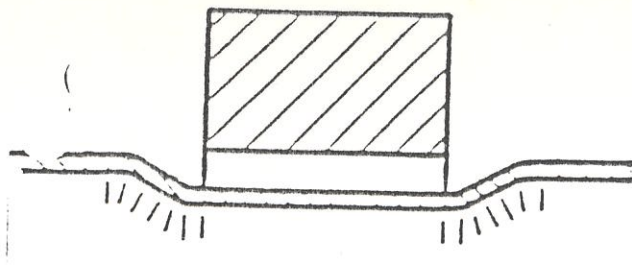


FIG. 1.2.2.- DEF. PLASTICA POR RESTRICCION DE LA EXPANSION DE LA LLANTA.

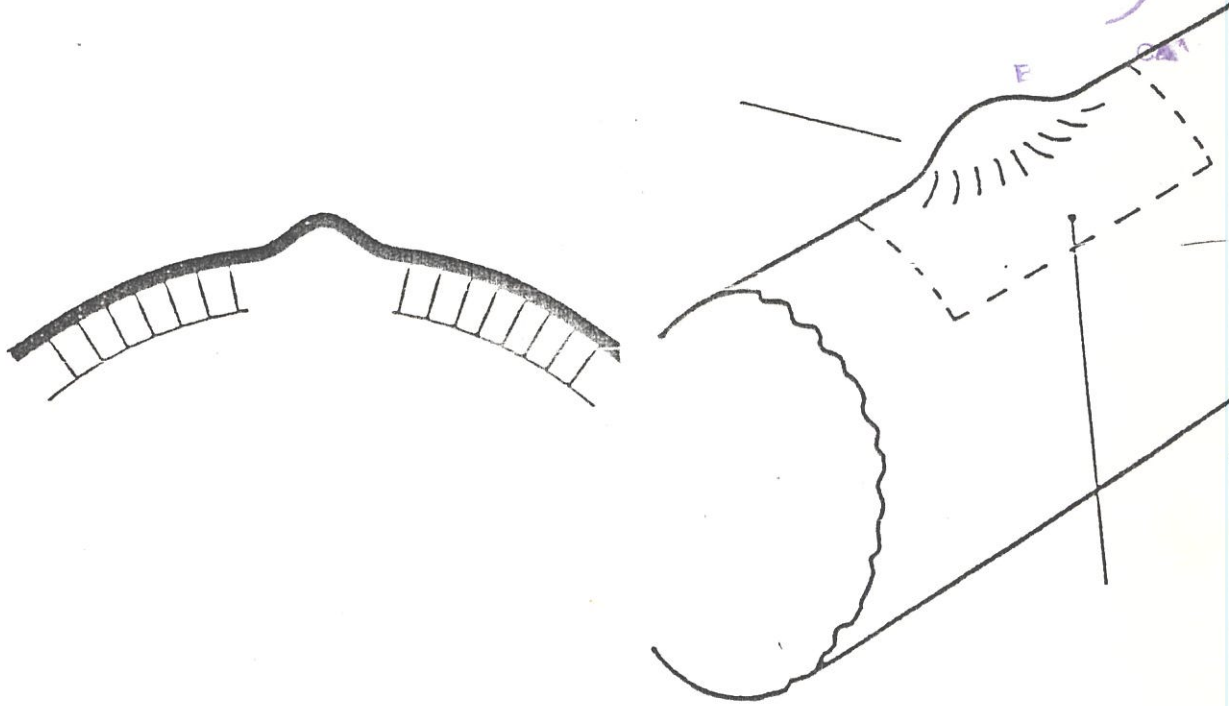


FIG. 1.2.3.- DEF. PLASTICA POR SOPLADURAS DE LA CARCASA.

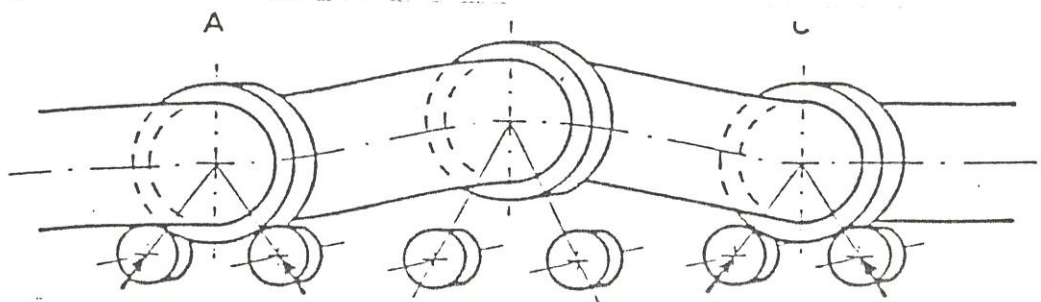


FIG. 1.2.4.- DEF. PLASTICA POR TORCEDURA DEL HORNO.

superior e inferior del horno sean superiores a los 200 °C, los mismos que originan esfuerzos de dilatación que sobrepasan los límites de elasticidad causando deformaciones de carácter plástico, de tal suerte que cuando el horno se enfría, la deformación del tubo es permanente.

#### OVALIDAD DE LOS HORNOS

Para determinar la ovalidad se toma como modelo matemático la elipse como círculo deformado y se expresa la ovalidad como diferencia de los diámetros de estos. (Fig. 1.2.5).

$$W = 2 (a-b)$$

Perímetro del círculo  $\approx$  Perímetro de la elipse.

$$D \pi \approx (a+b) \pi$$

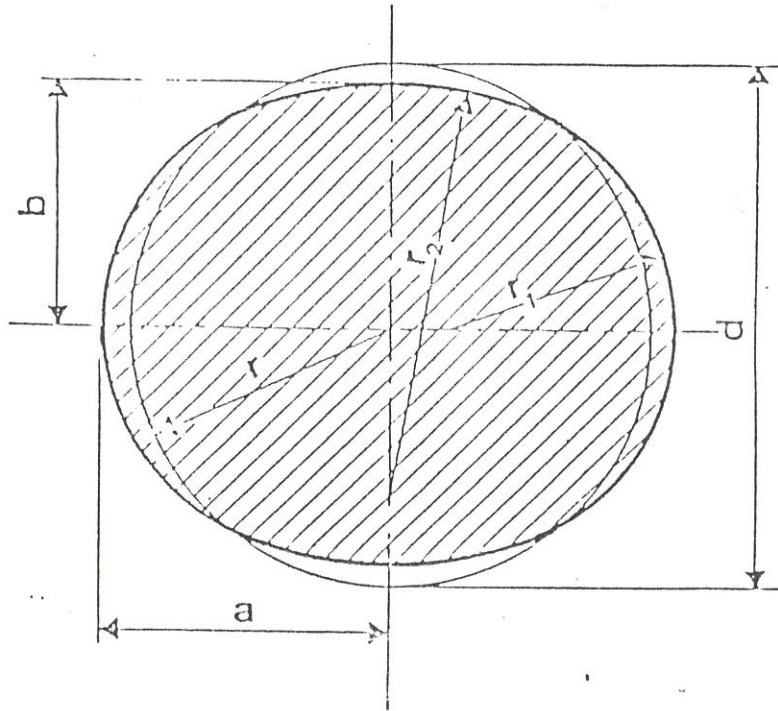
Según el criterio de Roseblad (Fig. 1.2.6):

$$W = (4/3)(D^2\delta/1^2)$$

La ovalidad puede ser expresada como valor absoluto en mm, por medio de un instrumento desarrollado por HOLDERBANK el que se denomina "Instrumento para medir deformaciones de la carcasa de hornos" (SHELLTEST), el mismo que considera el valor de  $l = 1$  m, siendo D el diámetro exterior de la carcasa del horno, medida en m, y  $\delta$  la distorsión en mm, siendo  $\delta = \delta'/15$ , en donde  $\delta'$  es el resultado de la medida tomada en el instrumento en mm, dividido para 15 (factor de magnificación del pantógrafo).



BIBLIOTECA



Perímetro del círculo  $U_K$  = Perímetro del elipse  $U_E$

$$U_K = d \cdot \pi \quad U_E = (a+b) \cdot \pi$$

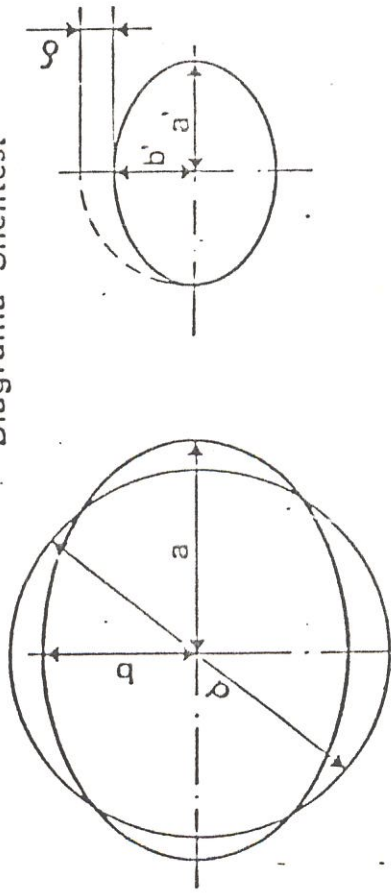
$$d = a + b$$

$$\text{Ovalidad } \omega = 2(a - b)$$

FIG. 1.2.5.- OVALIDAD DE LOS HORNOs.

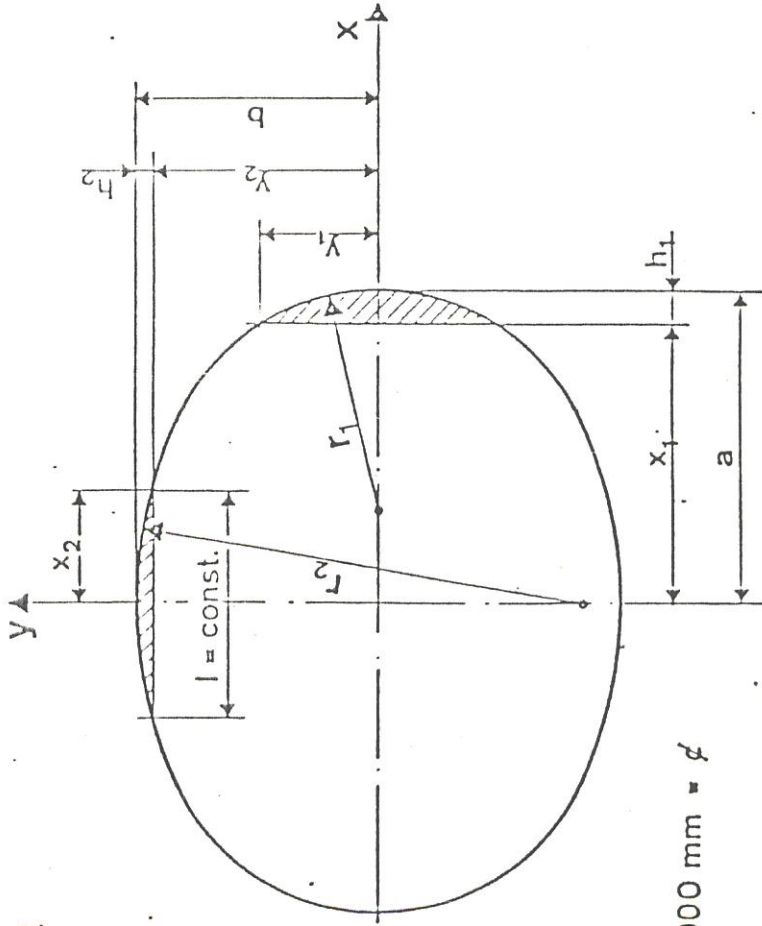
1

# Diagrama Shelltest



$$(a-b) \neq (a'-b') \\ \omega = 2(a-b) = C \cdot \delta$$

2



$$l = 1000 \text{ mm} = \phi$$

3

$$\frac{x^2}{a^2} = \frac{y^2}{b^2} = 1$$

$$y_1 = \frac{l}{2} \\ x_1 = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - y_1^2} = \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} \\ x_2 = \frac{l}{2} \\ y_2 = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x_2^2} = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

$$\Delta h_{\text{máx}} = h_1 \cdot h_2$$

$$h_1 = a - x_1 = a - \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} \\ h_2 = b - y_2 = b - \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

$$\Delta h_{\text{máx}} = a - \frac{a}{b} \sqrt{b^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} - b \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

Por el desarrollo de las series, se puede eliminar a y b

$$\omega = 2(a-b) \\ d = a+b$$

$$\omega = \frac{4}{3} \frac{d^2}{l^2} \cdot \delta \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{5}{12} \left(\frac{l}{d}\right)^2 + \frac{7}{24} \left(\frac{l}{d}\right)^4 + \frac{15}{64} \left(\frac{l}{d}\right)^6 + \dots}}$$

Forma simplificada, ya que la raíz tiende hacia 1

$$\omega = \frac{4 \cdot d^2}{3 \cdot l^2} \cdot \delta$$

d = Diámetro de la carcasa del horno  
δ = Amplitud máxima de medición

FIG. 1.2.6.- CRITERIO DE ROSEMBLAN RESPECTO A LA QUALIDAD

Esta medida de ovalidad se la considerará como medida de ovalidad absoluta y se expresará en mm, se la denomina  $w_a$  y se la expresa así:

$$w_a = (4/3)(D_{ext})^2 \delta$$

También puede considerarse la ovalidad como un valor relativo o porcentual (%) del diámetro del horno. Utilizando los valores de la ovalidad absoluta, divididos para el valor del diámetro interior del horno en mm, y multiplicándolos por 100, para obtener valores porcentuales, en este caso la ovalidad relativa, se la denomina  $w_r$  y se la expresa así:

$$w_r = (w_a/D_{int}) 100$$

Estos valores relativos de la ovalidad, pueden ser utilizados para la comparación directa de los valores medidos en hornos de distinto tamaño.

Con el fin de impedir un desgaste excesivo del revestimiento de un horno rotatorio o bien la caída de los ladrillos del mismo, la ovalidad no deberá sobrepasar ciertos límites.

La fijación de estos valores límites de ovalidad, a partir de los cuales es muy probable que se produzcan daños en los revestimientos es un tanto compleja, pues depende del tamaño del horno y de las condiciones y calidad del revestimiento existente.

Las experiencias prácticas han demostrado, que los valores críticos de la ovalidad son directamente

proporcionales al diámetro de los hornos y para los casos que se determina claramente una influencia negativa sobre el revestimiento de refractarios son las siguientes:

Para hornos grandes de 5 - 6 mts de diámetro, la ovalidad crítica tiene como límite un 0.5%; para hornos pequeños de 2 - 3 mts de diámetro, la ovalidad crítica tiene un límite del 0.3%. (Fig. 1.2.7).

Las mediciones de deformación de un horno pueden ser graficamente resumidas (Fig. 1.2.8).

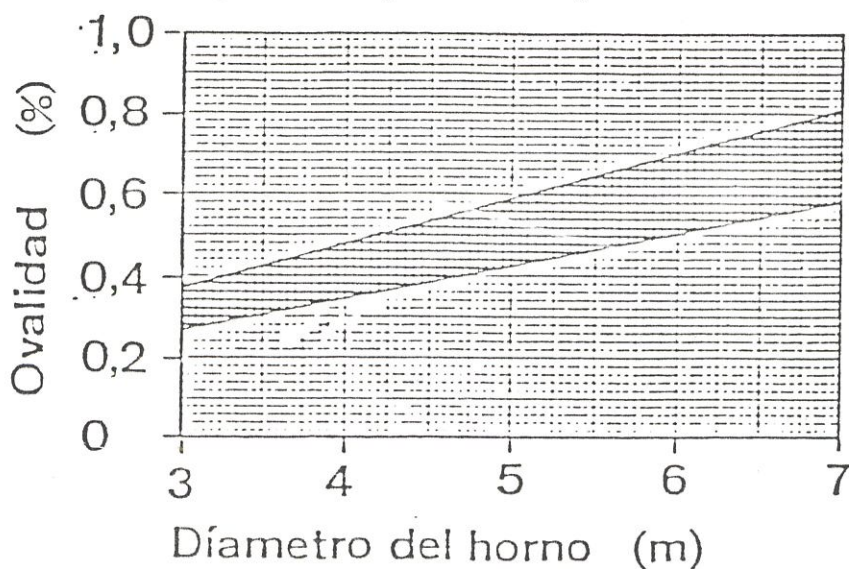
En la figura 1.2.8, se encuentran relacionados entre sí los valores de las ovalidades de los planos de medición individuales. Además de una visión del conjunto, respecto al comportamiento del horno con respecto a las deformaciones, la figura antes mencionada hace posible determinar lo siguiente:

Sí el horno se comportara de manera ideal, los tres valores de la ovalidad (medidas en un plano) saldrán superpuestos; sin embargo, en la práctica estos valores se desvían más o menos entre sí, dado que en la cubierta del horno se encuentran puntos más o menos débiles.

Cuando los valores de la ovalidad relativa de las estaciones de un horno en tres puntos (1, 2, 3) se los representa graficamente y las líneas de unión de estos valores se cruzan entre sí, nos indica que el



BIBLIOTECA

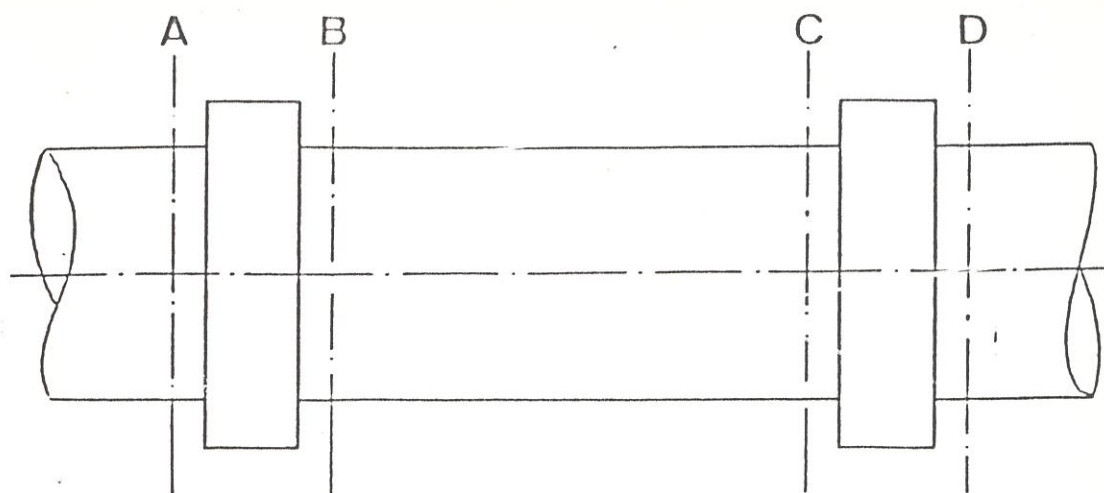


Valores límite de la ovalidad

En un horno de 3,5 m, el límite aproximado es de 0,3 %;  
En un horno de 6 m de 0,5 % aprox.

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.

FIG. 1.2.7.- CURVA OVALIDAD Vs. DIAMETRO DEL HORNO.



1, 2, 3      Líneas de la carcasa  
 A, B, C, D   Planos de medición

Diagrama de un plano de medición

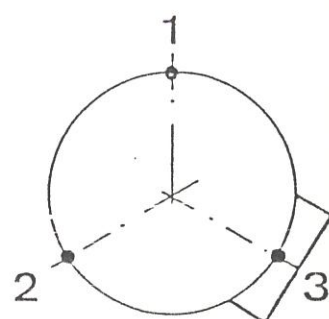
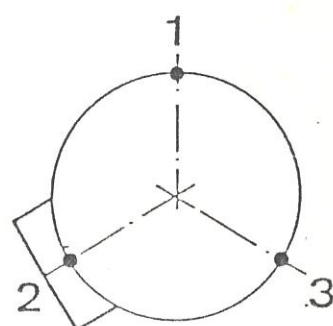
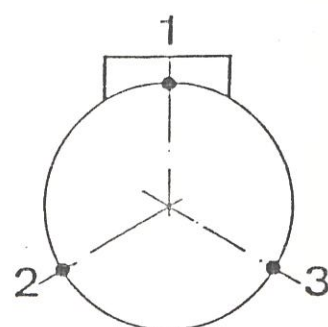
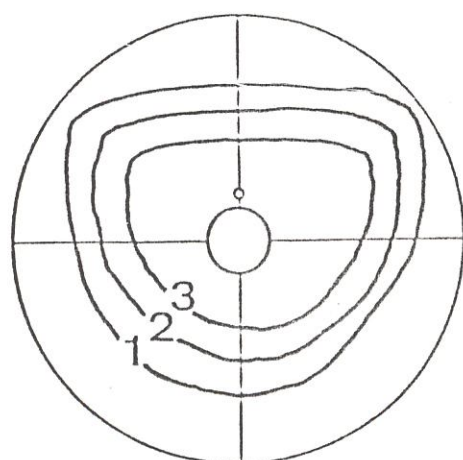


FIG. 1.2.8.- MEDICIONES DE LA DEFORMACION DE UN HORNO.

horno está torcido. (Fig. 1.2.9).

TABLA 1.2.1  
OVALIDAD ABSOLUTA Y RELATIVA EN ZONA DE LLANTAS DEL  
HORNO Nº 6.

	LL-1	LL-2	LL-3
$w_a$ (mm)	12.26	6.95	6.32
$w_r$ (%)	0.39	0.22	0.20

### 1.3. JUEGOS DE LLANTAS

Como hemos mencionado, el diámetro interior de las llantas ( $D_i$ ) es siempre mayor que el diámetro exterior ( $D_e$ ) del horno sobre las zapatas de soporte de la llanta; debido a este juego, las llantas poseen un movimiento relativo respecto al horno en dirección de la circunferencia del mismo.

Este movimiento o desplazamiento de las llantas con respecto al horno es un factor importante en el funcionamiento del mismo. Ya que es un indicador de la ovalidad de su carcasa.

Para tener una idea sobre esto, diremos que si no existiera juego de llantas sobre las zapatas del horno, esto es: si la llanta se queda aprisionada al horno por deformaciones en su carcasa, el horno en su girar tendrá movimientos como los de un cigüeñal. El juego teórico ( $S_{th}$ ) (Fig. 1.3.1) se puede determinar claramente en base a la diferencia de

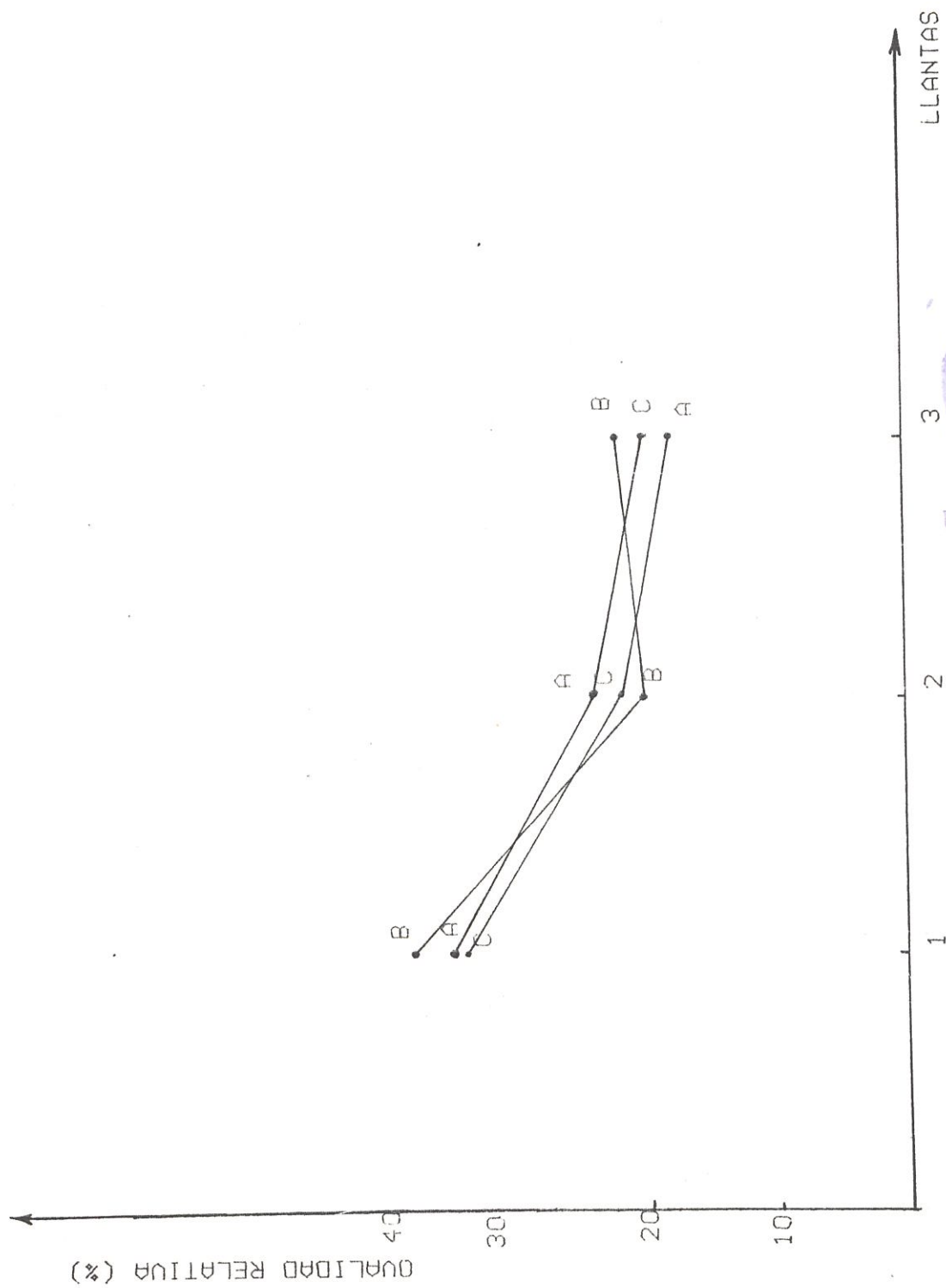
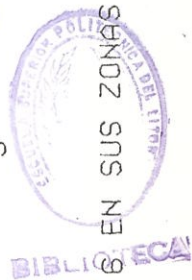
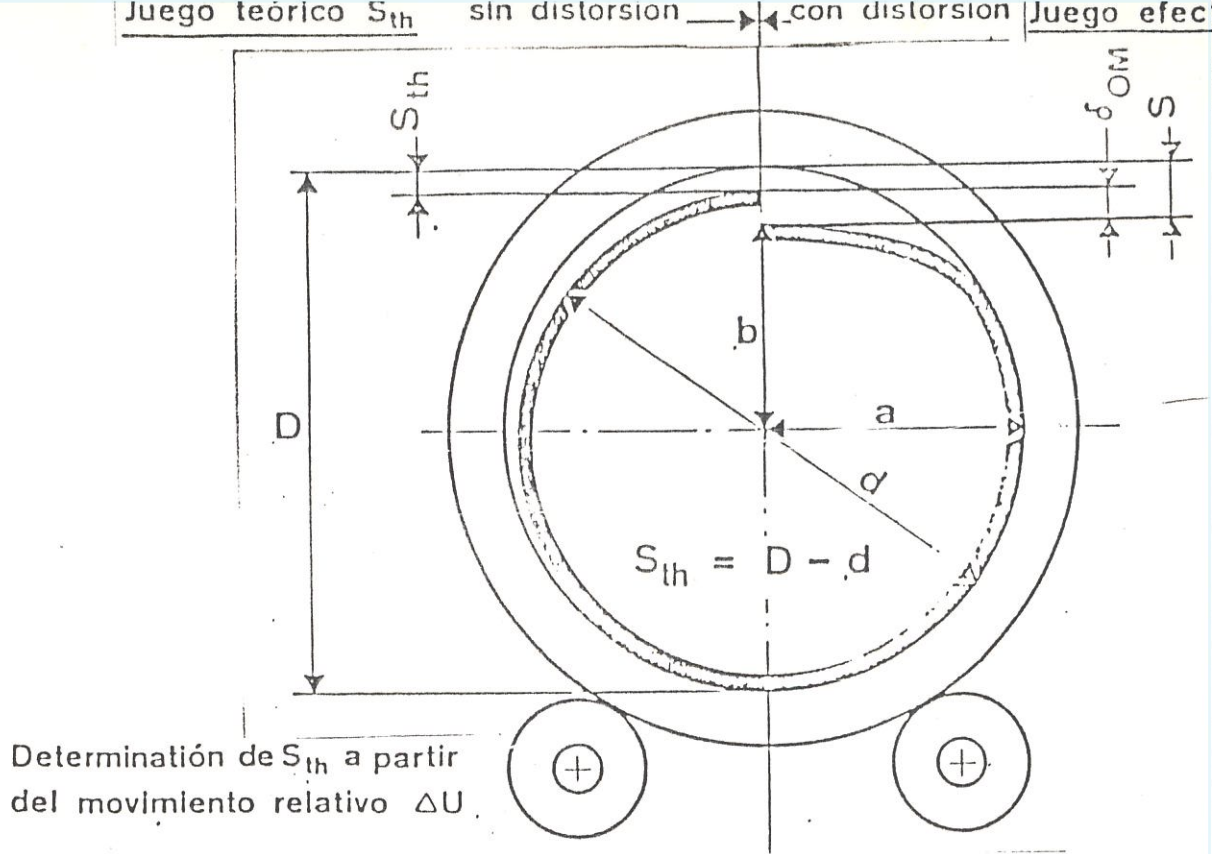


FIG. 1.2.9.- OUALIDAD RELATIVA DEL HORNO 8 EN SUS ZONAS DE APOYO.





$$\Delta U = (D-d)\pi = S_{th} \cdot \pi$$

$$S_{th} = \Delta U / \pi$$

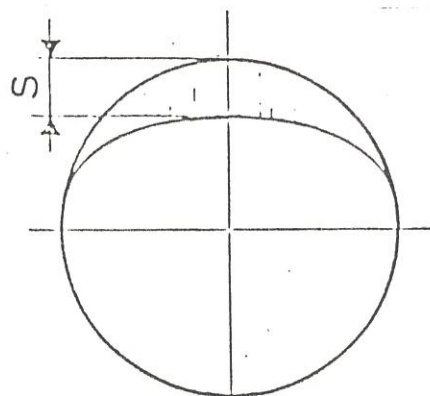
$$S = a - b > S_{th}$$

$$\neq \Delta U / \pi$$

$$\approx \frac{\Delta U}{2-2,5}$$

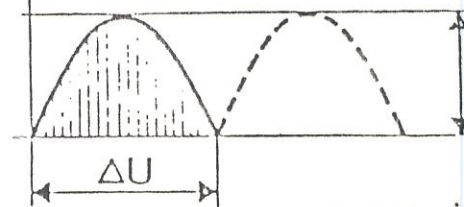
$$S = S_{th} + \delta_{OM}$$

$S$  podrá ser determinada solamente por medición



Principio de medición :

$S$  como involucro del movimiento relativo  $\Delta U$



$S_{th}$  = Juego teórico

$S$  = Juego efectivo o separación efectiva

$\delta_{OM}$  = Ovalidad relativa de la cubierta

FIG. 1.3.1.- JUEGO TEORICO Y EFECTIVO DE LAS LLANTAS RESPECTO A LA CARCASA.

diámetros:

$$\Delta D = D_i - D_e$$

$$S_{th} = \Delta D$$

Los movimientos relativos de las llantas respecto al horno se miden de la siguiente forma:

- a. Efectuando una marca con tiza en la cara lateral de la llanta de un horno y la zapata de asentamiento de la misma. (Fig. 1.3.2).
- b. Después de 10 revoluciones del horno, la marca de la cara lateral de la llanta se encuentra a una cierta distancia de la marca en la zapata.
- c. Midiendo la distancia de desplazamiento entre las dos marcas.
- d. Dividiendo esta medida tomada para el número de revoluciones, en este caso para 10.
- e. El resultado de esta operación, determina el movimiento relativo que existe entre la llanta y el horno. Por tanto el juego real que existe entre la llanta y el horno es  $S = \Delta U / \pi$ .

#### CAUSAS DE LA REDUCCION DEL JUEGO DEL ANILLO DE RODADURA

1. El anillo de rodadura en estado frío nunca se asienta de manera fija sobre el horno. Las razones técnicas del montaje explican la necesidad de que exista cierto juego, con el fin de que el anillo pueda desplazarse sobre el horno.

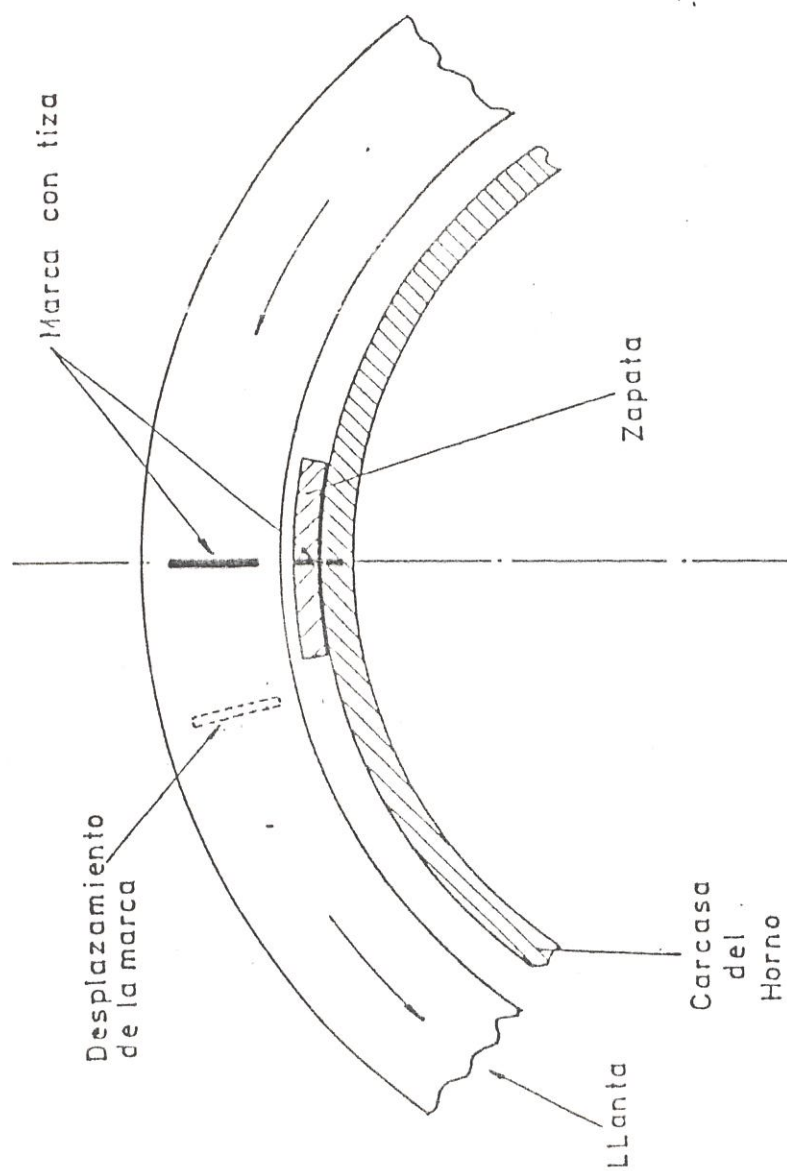


FIG. 1.3.2.- DESPLAZAMIENTO DE LA LLANTA RESPECTO A LA CARCASA.

Con el objeto de tener en cuenta las dilataciones térmicas variables de la carcasa del horno y del anillo de rodadura durante el periodo de calentamiento, los suministradores del horno calculan ambos diámetros para que el juego entre el anillo de rodadura y el horno, a 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. Esto exigiría naturalmente que las temperaturas que sirvieron para el cálculo, sean alcanzadas realmente durante el servicio.

Se ha podido comprobar en base a la experiencia, que es prácticamente imposible calcular de antemano el perfil de temperatura de la carcasa de un horno giratorio.

Existe siempre un peligro para el horno, cuando la carcasa se dilata con una rapidez que no puede ser seguida por el anillo de rodadura. Es fácil comprender que este caso se presenta cuando se produce un daño del revestimiento de los ladrillos debajo del anillo de rodadura.

En cambio, el hecho de un calentamiento demasiado rápido, es decir una puesta en servicio en un tiempo record, puede tener igualmente graves consecuencias. En este caso, las llantas se

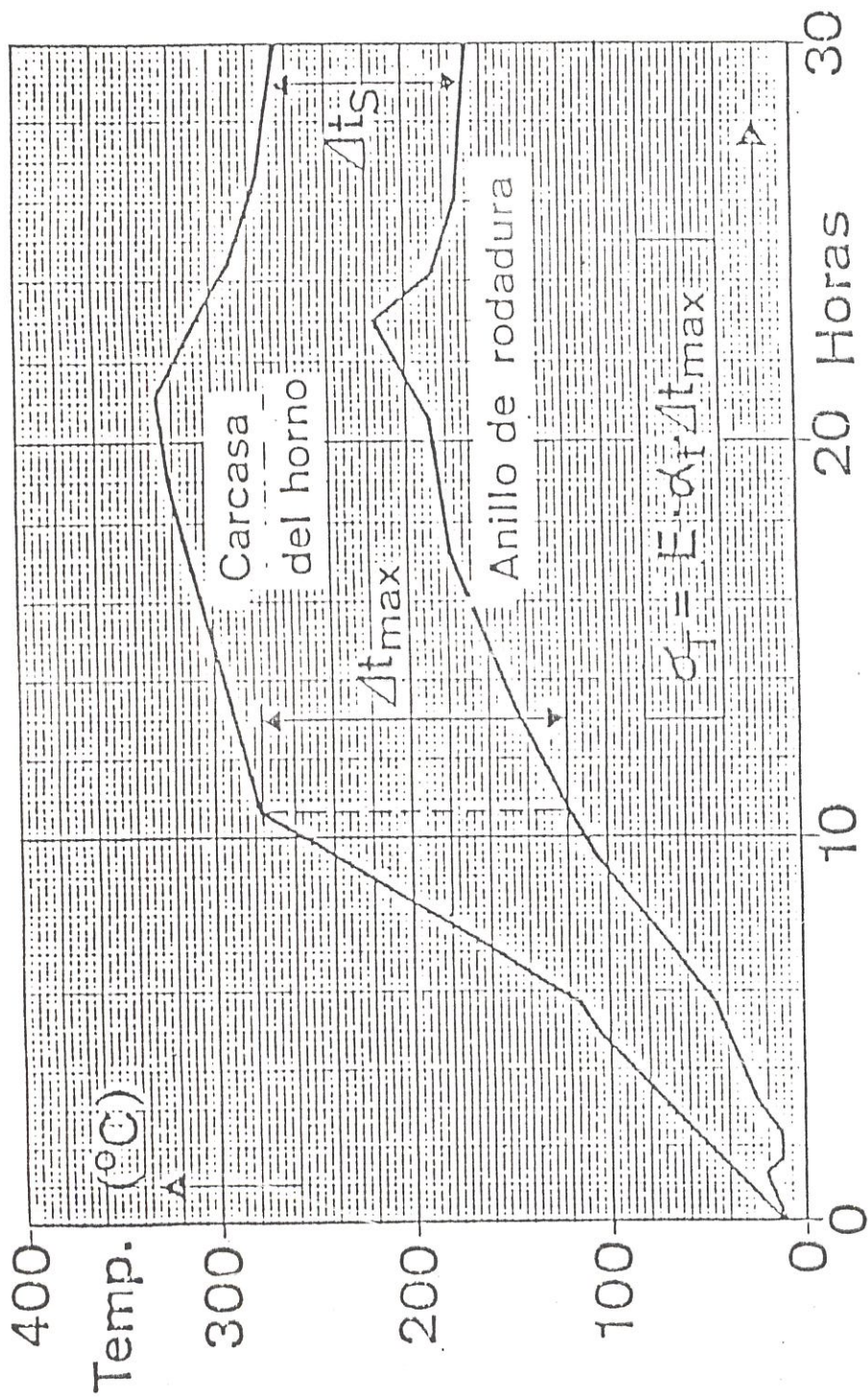
encuentran relativamente frías y la carcasa del horno se calienta rápidamente, con lo que se pueden producir deformaciones permanentes por estrangulamiento de la carcasa. Para luego con el calentamiento posterior de las llantas producir un juego inadmisible.

La diferencia máxima de temperatura que puede darse entre la carcasa y las llantas puede presentarse en el período de calentamiento del horno y no debe ser superior a los 180 °C.

Una diferencia de temperatura mayor, producirá una contracción permanente en la carcasa del horno bajo las llantas, porque en este caso la deformación térmica de la carcasa por dilatación es superior, al límite de elasticidad de la misma.

Este puede ser el caso cuando el juego requerido en frío  $S_{th}$  sea pequeño o cero, y cuando la diferencia máxima de temperatura entre carcasa y llantas ( $\Delta T_{max}$ ) sea demasiado grande debido al calentamiento excesivamente rápido. (Fig. 1.3.3).

Considerando que la temperatura de la carcasa es siempre superior a la de las llantas, se recomienda dejar siempre una holgura de 3mm entre carcasa y llantas a temperatura de trabajo; como factor de seguridad con respecto a grandes tensiones térmicas, holgura que dará tiempo

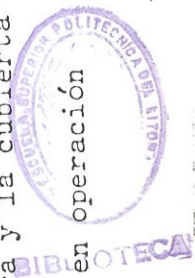


$\sigma_T$  = Esfuerzo térmico con expansión obstruida

$\Delta t_{\max}$  = Diferencia máxima de temperatura entre el anillo de rodadura y la cubierta

$\Delta t_s$  = Diferencia de temperatura en operación

$\alpha_t$  = Coeficiente de expansión



suficiente para efectuar modificaciones al proceso de combustión del horno; para evitar deformar la carcasa, cuando se comprueba que las llantas comienzan a engarrotarse con el cilindro del horno.

Pudiendo así determinar el espesor de las laines que es necesario calzar sobre la carcasa del horno bajo las llantas, siendo este espesor:

$$Z_{mm} = (S_{th_{mm}} - 3)/2 \quad [mm]$$

2. El juego real de la llanta(s) representa la holgura realmente existente entre la carcasa del horno y la llanta, siendo por regla general mayor que el juego teórico de la llanta ( $S_{th}$ ).

Sí sabemos que  $S_{th} = AU/\pi$ ; y por principio sabemos que  $S > S_{th}$ .

Para obtener un valor aproximado de  $S$ , se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$S \approx \Delta U / (2.0 - 2.5) > S_{th}$$

3. Como se ha mencionado ya; las grandes deformaciones son observadas en la zona de aquellas llantas que poseen un juego considerable. Con el objeto de reducir estas deformaciones; es preciso reducir el juego de las llantas por medio del enlainado de las zapatas del contorno de la carcasa siempre que esto sea posible.

4. Cómo determinar el espesor de las laines a

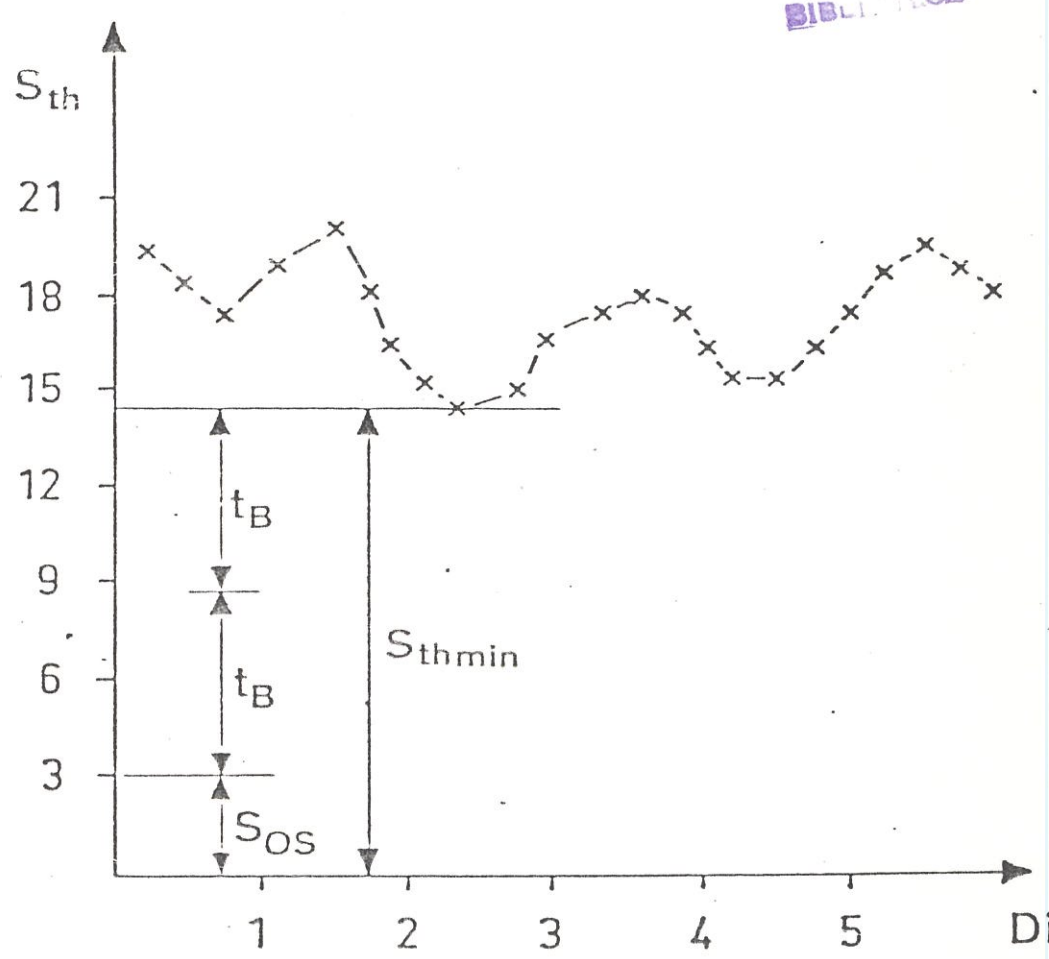
colocar sobre las zapatas?, el método mas seguro para esto es el siguiente:

Determinando diariamente o registrando el movimiento relativo ( $\Delta U$ ) durante un período suficientemente largo (una semana) de la llanta en crisis, luego tomamos el valor mínimo de  $\Delta U$  que se presente en este período, el mismo que servirá para determinar el juego teórico mínimo de la llanta ( $S_{th \min}$ ). Fig. 1.3.4.

5. Recientemente, algunos fabricantes de hornos giratorios y algunas firmas especiales, ofrecen aparatos de medición del deslizamiento de las llantas, los mismos que trabajan de manera automática y permanente, dando muy buenos resultados; el movimiento relativo o el juego de cada llanta puede ser leído desde la sala de control, con un instrumento de indicación digital.

#### 1.4. PRINCIPIOS DE MEDICION, INTERPRETACION Y EVALUACION DE DIAGRAMAS.

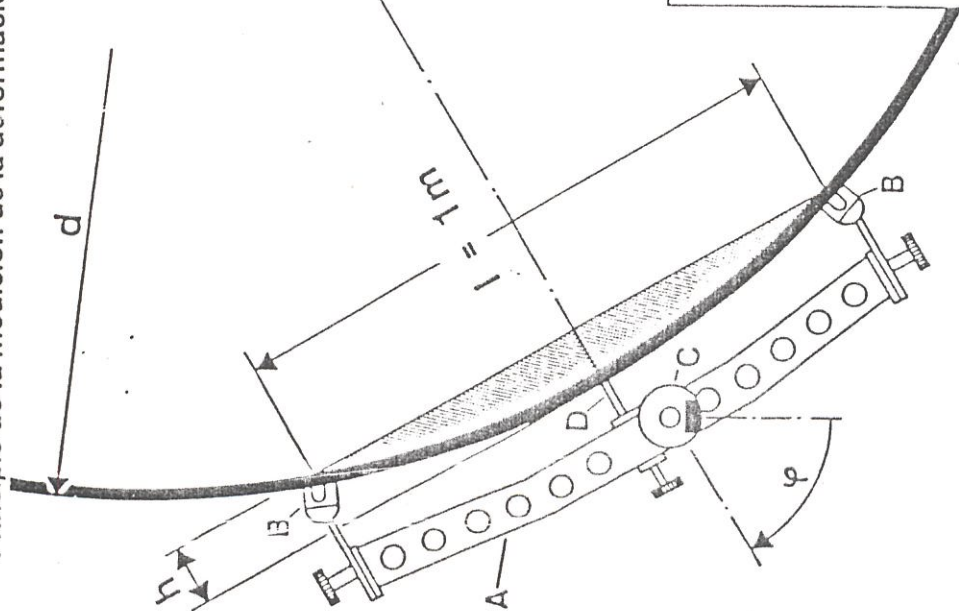
- A. Las deformaciones de la carcasa de los hornos giratorios pueden ser registradas mediante un instrumento que ha sido desarrollado para este fin y se lo conoce como DISPOSITIVO PARA MEDIR LA DEFORMACION DE LAS CARCASAS DE HORNOS (SHELLTEST), Fig. 1.4.1, desarrollado por



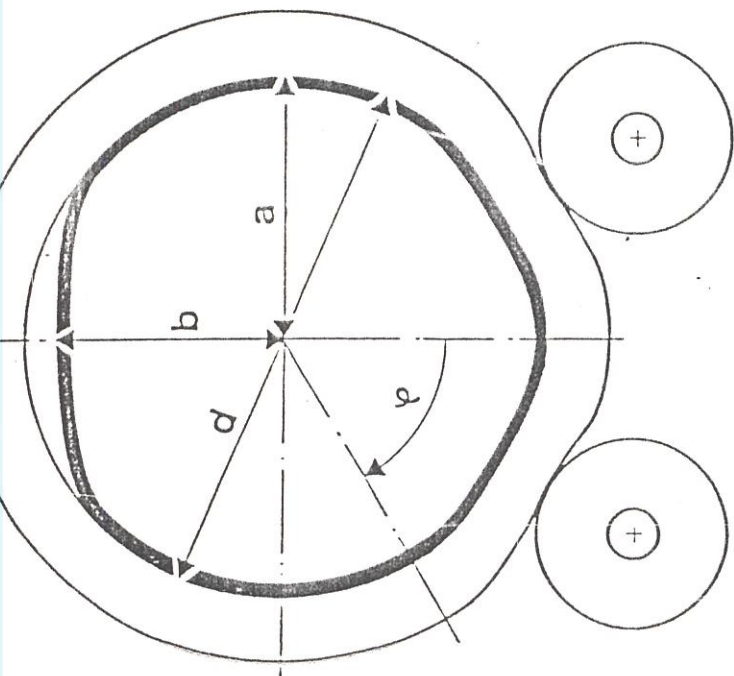
$$t_B = \frac{S_{thmin} - S_{OS}}{2} = \frac{14.5 - 3}{2} = 5.75$$

FIG. 1.3.4.- DETERMINACION DEL ESPESOR DE LAS CHAPAS  
A COLOCAR DEBAJO DE LAS ZAPATAS DEL ANILLO  
DE RODADURA.

Principio de la medición de la deformación



Ovalidad:  $\omega = \frac{2(a-b)}{4 \cdot d^2 \cdot \delta}$



Sistema registrador  
«Holderbank»

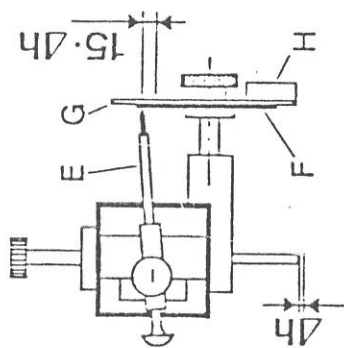


Diagrama Shelltest

$$\delta = \frac{4h}{15}$$

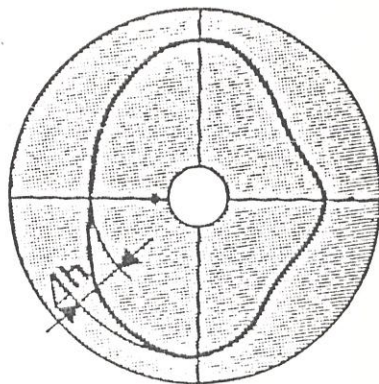


FIG. 1.4.1.- DISPOSITIVO PARA MEDIR LA DEFORMACION.

## HOLDERBANK.

Dicho instrumento está formado por una viga (A) de sección cuadrada de 1 m de longitud, la misma que estando fabricada de acero inoxidable y por su diseño anticorodal esta provista de grandes agujeros con el fin de hacerla lo más estable en su longitud, a pesar de la influencia térmica que existe en el momento de efectuar las mediciones.

Esta viga se encuentra equipada con unos imanes (B) en cada uno de sus extremos, los mismos que le permiten fijar el instrumento al horno giratorio. Esta viga de un metro exacto de longitud, sujeta por medio de los imanes, gira alrededor del horno. En el centro de la viga se encuentra colocado un dispositivo registrador (C) el mismo que con su punto palpador (D) está en contacto con la carcasa del horno, con el fin de obtener la transmisión del cambio de altura cuando varía el radio de curvatura del horno.

Al percibir estos cambios, el palpador micrométrico, se mueve dentro de una guía de pantógrafo, la misma que transmite las señales de desviación (multiplicadas  $1 \times 15$ ) a un lápiz (E), el mismo que a su vez grafica en un disco diagrama (F), que se fija a un disco péndulo (G) en el eje del registrador.

El disco pendular, se mantiene permanentemente en

posición perpendicular por su peso ( $H$ ), graficándose de este modo un movimiento relativo entre el lápiz y el disco del diagrama.

Este movimiento se encuentra sincronizado con la variación del ángulo de rotación ( $\Psi$ ) y al cabo de una revolución del horno, aparece en el diagrama una línea cerrada; la misma que es la representación polar del cambio de altura ( $\Delta H$ ), percibido por el palpador en función del ángulo de rotación ( $\Psi$ ); lo que significa un gráfico geoméricamente similar a la sección deformada del horno ( $\delta$ ). Con deformaciones radiales de dimensiones 15 veces mayores de las normales por efectos del pantógrafo amplificador.

El diagrama de medición de las deformaciones de la carcasa de hornos, como representación polar de las variaciones de altura de los segmentos ( $h$ ); ofrece la gran ventaja de que posibilita también inmediatamente una evaluación de la medición, ya que representa una imagen geoméricamente semejante a la sección transversal deformada del horno. Con la única diferencia que las variaciones radiales son registradas con un aumento de 15 veces.

Para la apreciación de los diagramas de las deformaciones es imprescindible considerarlas correctamente.

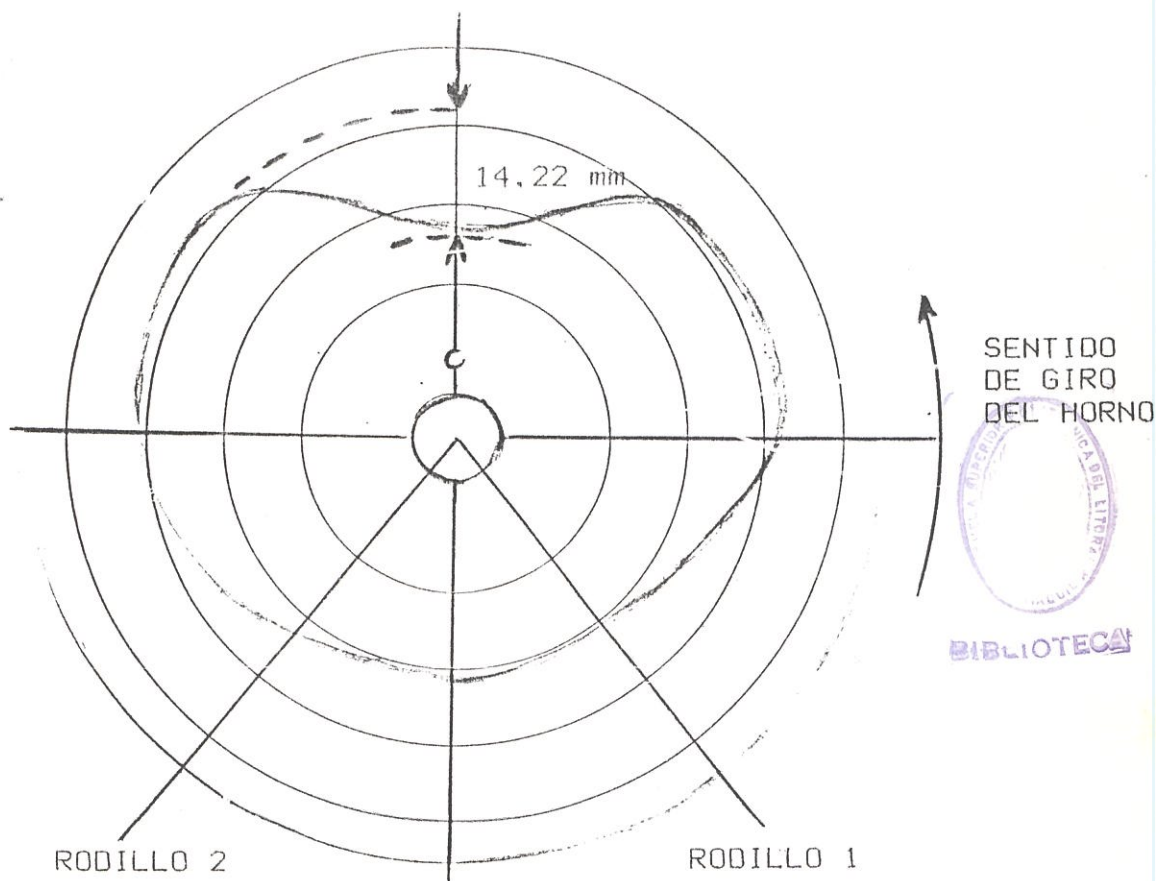
Si la red de coordenadas señala la medición en la dirección de la entrada de el horno, el diagrama deberá ser observado durante su evaluación siempre del lado de entrada del horno, con el objeto de que se correspondan los lados. El pequeño orificio en el disco del diagrama, deberá encontrarse en la posición de las 12 horas, ya que en esta posición marca el eje vertical, así como también el punto más alto de la sección transversal medida. (Fig. 1.4.2).

TABLA 1.4.1

DEFORMACION DE CARCASA DE HORNO Nº 6 EN ZONA DE LLANTA Nº 1.

	PLANO A			PLANO B		
PUNTOS	1	2	3	1	2	3
S' (mm)	11.85	12.80	11.50	14.25	14.19	14,22
S (mm)	0.79	0.85	0.77	0.95	0.946	0.948

B. Otro dispositivo para medir el juego teórico de las llantas con respecto a los hornos rotativos y la deformación de las mismas es el instrumento llamado OBOURG (Fig. 1.4.3), el cual consta de dos bases magnéticas; la una se fija a una cara de la llanta del horno (y porta un papel para graficar sobre una placa). La otra base magnética se fija a la carcasa del horno (porta un lápiz,



LLANTAS EN BUENAS CONDICIONES, NO PRESENTA DEFORMACIONES EN ZONAS DE RODILLOS DE SOPORTE. CARCASA CON GRAN CALIDAD, FUERTE DEFORMACION EN LA PARTE SUPERIOR DEL HORNO, EXCESIVO JUEGO ENTRE CARCASA Y LLANTA.

FIG. 1.4.2.- GRAFICO DE DEFORMACION DE CARCASA DEL HORNO 6 EN ZONA DE LLANTA N° 1.

(FIGURA 1.4.2)

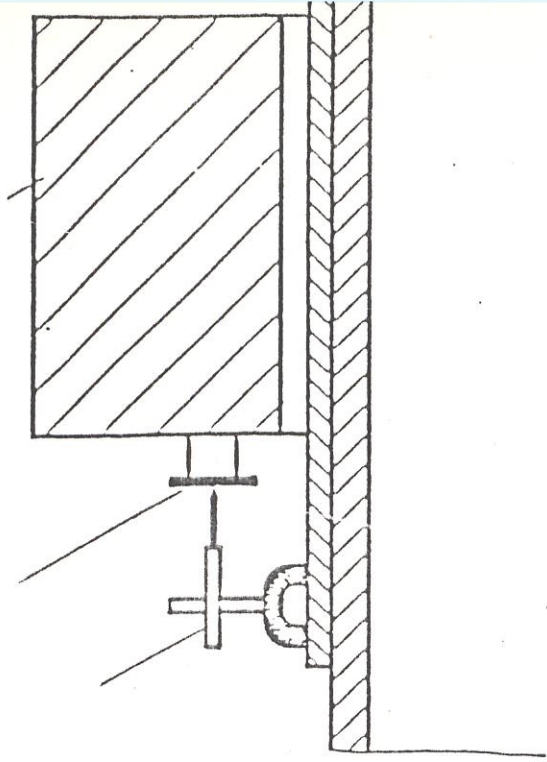
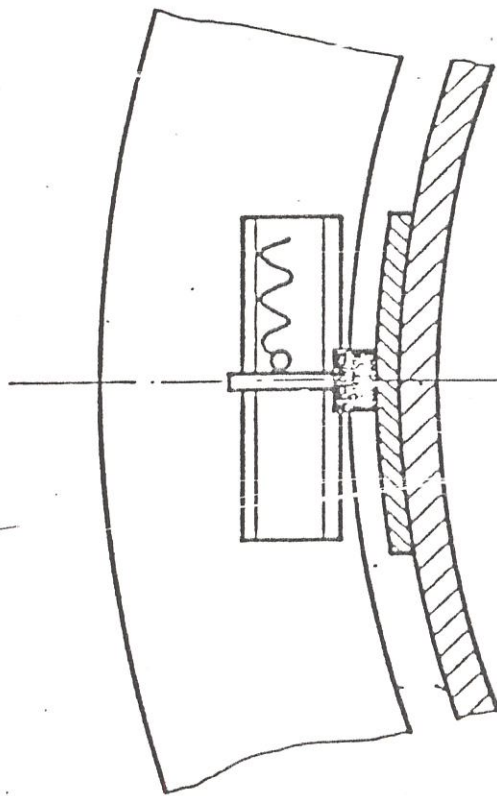
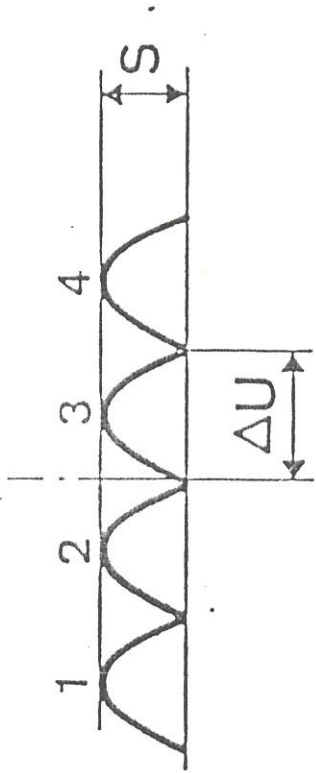


Diagrama de medición después de 4 revoluciones



$\Delta U$  = Movimiento relativo  
 $S$  = Ancho de la separación

Valor empírico para hornos grandes

$$\frac{\Delta U}{S} < \pi \approx 2 - 2.5$$



FIG. 1.4.3.- INSTRUMENTO OBORG.

el mismo que grafica un diagrama sinusoidal) a medida que gira el horno. De este gráfico podemos medir el desplazamiento relativo de la llanta respecto al horno  $\Delta U$  y el juego real que existe entre la llanta y la carcasa S.

#### MEDICIONES CON EL DISPOSITIVO PARA MEDIR LAS DEFORMACIONES DEL HORNO (SHELL TEST DE HOLDERBANK).

Las deformaciones del horno giratorio, se reducen a medida que aumenta la distancia de las llantas (Fig. 1.4.4). Por tanto, las mediciones deberán efectuarse siempre lo más cerca posible de las llantas y en lo posible por ambos lados de las mismas; siempre que exista escudos deflectores de calor sobre los cojinetes y muy cercanos entre la carcasa y el horno, es necesario retirarlos.

Para poder dar una idea clara de la magnitud de las deformaciones, en cada plano de medida, deberán efectuarse 3 (tres) medidas desplazadas entre sí  $120^\circ$  sobre dicho plano y para futuras comparaciones deberán utilizarse los mismos planos y los mismos puntos o zonas de medición, para lo cual será necesario marcar con pintura los puntos de medición, de contacto del palpador.

Es conveniente limpiar con cepillo de alambre los puntos de apoyo de los imanes siempre que sea necesario.

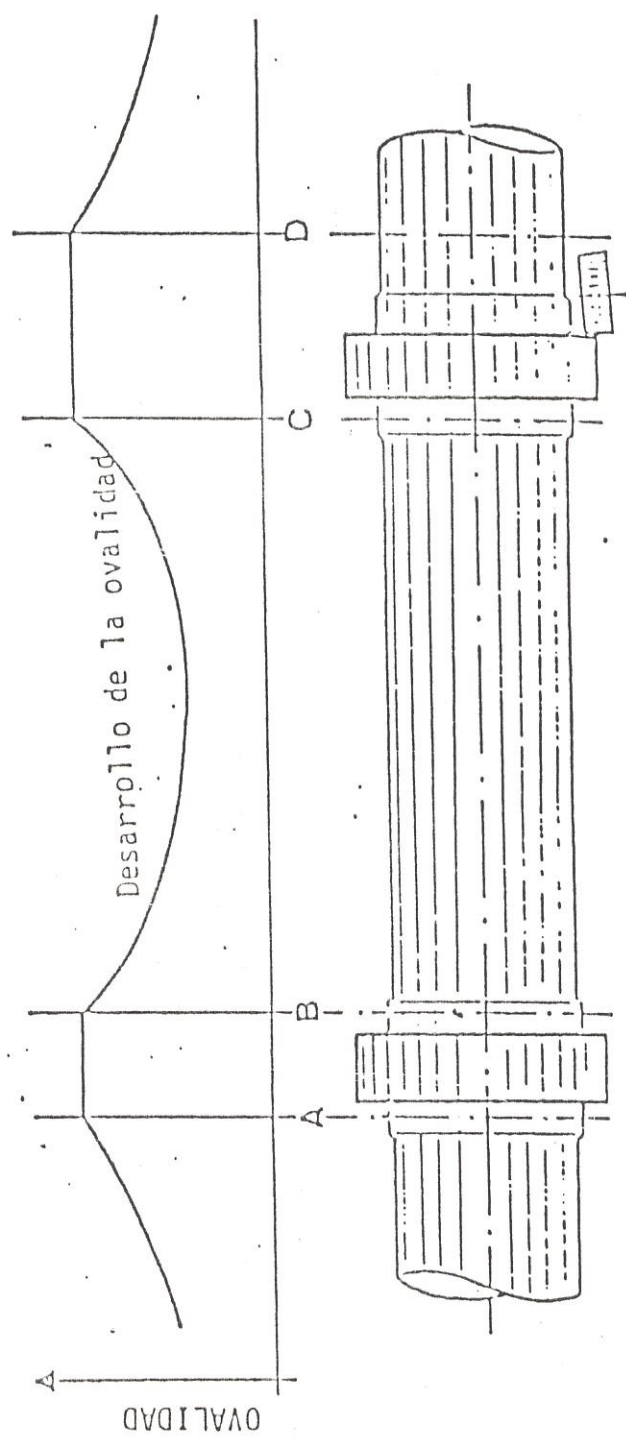


FIG. 1.4.4.- DESARROLLO DE LA OVALIDAD EN UN HORNO GIRATORIO.

El disco diagrama se fijará de manera que quede asegurado contra el giro con las coordenadas del lado del lápiz y el pequeño orificio dispuesto excentricamente, que además de servir para fijación del gráfico, nos indicará el paso del punto por la posición más alta de la carcasa en la sección transversal a medir.

El aparato deberá prepararse para la medición (fig. 1.4.5), adaptando previamente los portaimanes (2) con la altura necesaria de acuerdo al diámetro del horno, graduando los mismos hasta colocar el lápiz (7) en posición horizontal. Cuando se coloca el instrumento, el lápiz se encuentra en la primera muesca, posición desconectada (6).

Cuando el horno está girando, se coloca el instrumento en la posición marcada con el punto (1) y se comprueba si es suficiente la fuerza de adhesión de los imanes. El lado de imagen y coordenadas del diagrama (10), deberá señalar siempre en una misma dirección, por ejemplo:

Flujo del material para todas las mediciones.

Se colocará el lápiz de tal forma que se puedan graficar los tres puntos (1, 2, 3) del mismo plano en el mismo gráfico; para lo cual se dispone de un tornillo de ajuste de precisión (8).

La primera medición se la efectúa ligeramente hacia arriba; la segunda en la mitad y la tercera

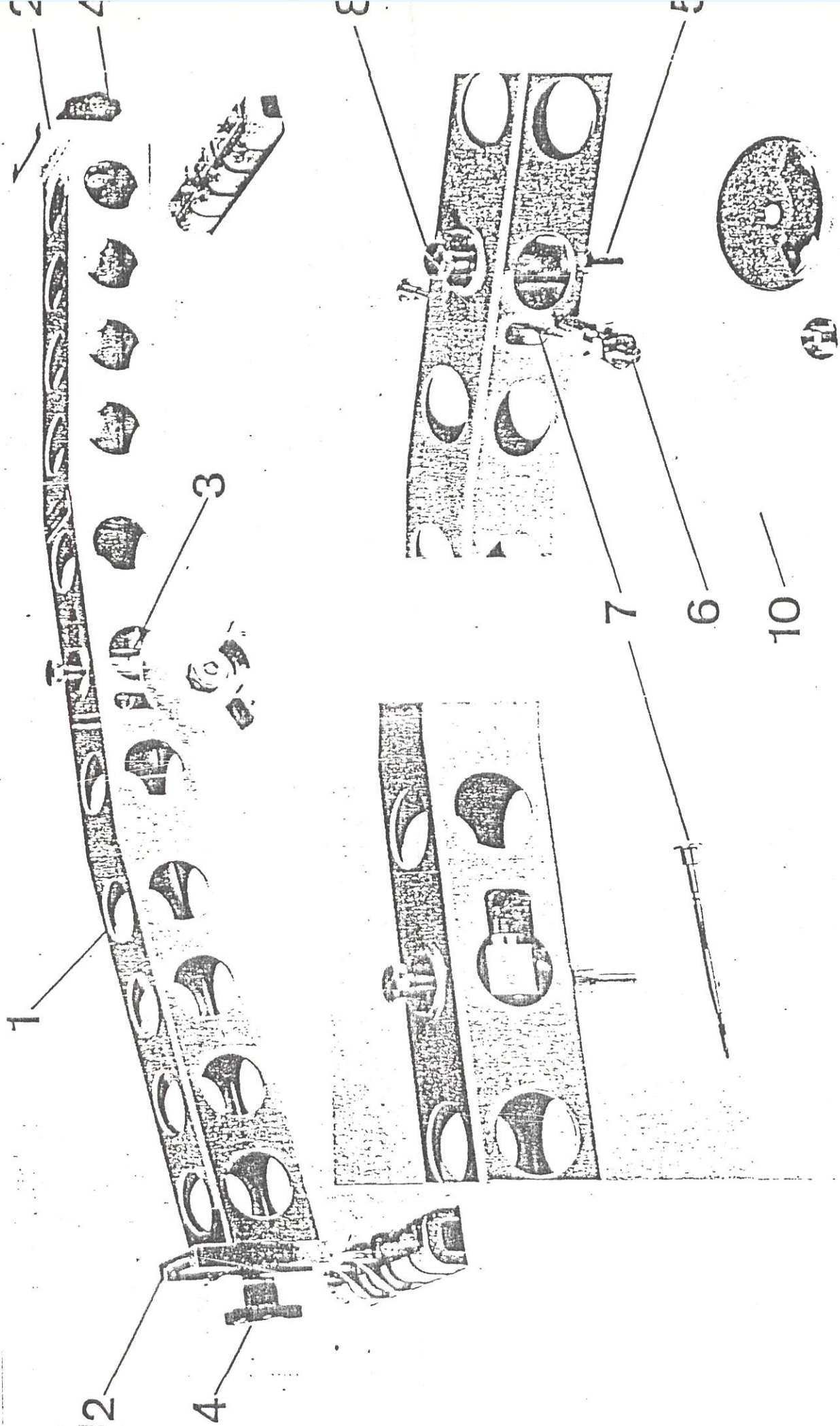


FIG. 1.4.5.- PARTES DEL APARATO DE MEDICION DE LAS DEFORMACIONES DE LA CARCASA DEL HORNO.

ligeramente hacia abajo. (Fig. 1.4.6).

Una vez colocado el instrumento, en la posición desconectado, este deberá girar 2 o 3 veces con el horno a fin de que la punta palpadora pueda dilatarse a causa de temperatura de la carcasa sin influenciar en el diagrama.

Luego con una ligera presión se actúa el lápiz hasta la segunda muesca de manera que la punta del mismo se apoye sobre el diagrama.

Después de un giro, retirar el lápiz a la posición desconectado, tirando del botón pulsador.

Luego se retirará el instrumento y se lo fijará en el siguiente punto de medición en el que se procederá de la misma manera que antes.

Una vez que se efectúan todas las mediciones se deberán colocar las placas de protección sobre los imanes, con el fin de protegerlos.

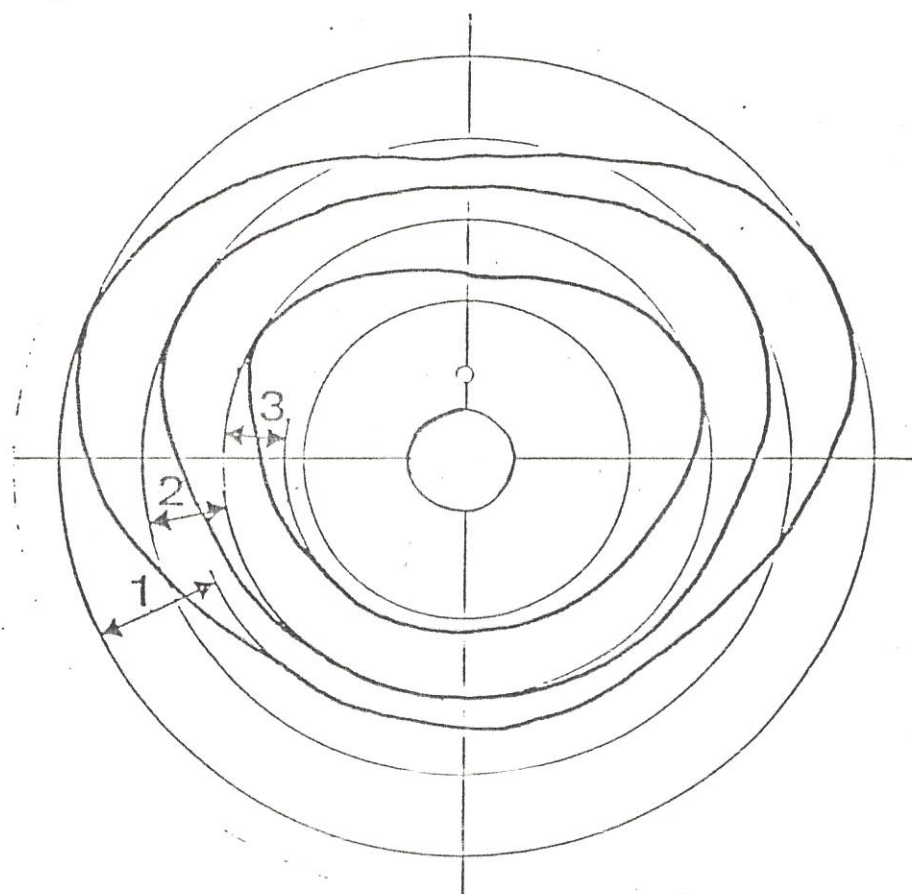


FIG. 1.4.6.- EVALUACION DE UNA MEDICION DE  
DEFORMACION DE CARCASA.

## CAPITULO II

### SOLUCION DEL PROBLEMA

#### 2.1. DESMONTAJE DEL TRAMO DE HORNO DEFECTUOSO.

La solución al problema existente se lo podía encarar de varias formas:

- A. Continuar trabajando en las condiciones existentes, lo cual incrementaba los costos de producción.
- B. Solicitar a la casa fabricante del equipo, la construcción de un tramo del horno, con las mismas características del existente, en la longitud que se deseaba cambiar; esta alternativa podría dar una solución mediata al problema, tomando en consideración el tiempo de fabricación, entrega y cambio de repuestos.
- C. Parar inmediatamente el horno aprovechando la coyuntura del mercado que hacía que la compañía tenga en esa fecha, un sobre-stock de producción y, aprovechando el tiempo disponible de parada del equipo acometer en la reparación del horno de forma inmediata y con una solución al alcance de nuestro medio. (CONSTRUCCION, FABRICACION LOCAL DEL TRAMO DEL HORNO Y CAMBIO DEL MISMO).

De acuerdo con los antecedentes anotados en relación a las fallas del horno, se decidió cambiar un tramo de tubo del horno de 11.04 m de longitud, desde la

boca de descarga hacia la alimentación.

Para dicho efecto, se utilizó un tramo nuevo de tubo de 3.64 m de longitud, que se tenía disponible para la zona de llantas, el cual tenía 40 mm de sección en dicha zona y un peso de 12800 Kg.

Se recuperó un tramo de 1.24 m de tubo de la boca del horno que estaba en condiciones aceptables, con un peso de 1800 Kg.

Finalmente se confeccionó localmente un tramo nuevo de tubo de 7.4 m de longitud por 3.2 m de diámetro exterior en plancha de 21 mm, con un peso de 10500 Kg.

#### PASOS DEL DESMONTAJE:

- 1.- Se sacaron los ladrillos refractarios de la zona deteriorada.
- 2.- Se desmontó 0.96 m de la boca de descarga, la misma que porta los segmentos de retención del refractario con un peso de 2500 Kg.
- 3.- Se cortó y desmontó 1.24 m del tubo del horno que sería recuperado luego, con un peso de 1800 Kg.
- 4.- Se cortó y desmontó la zona de la llanta # 1 de 2.4 m, la misma que estaba en pésimas condiciones y que con la llanta, tenía un peso de 19300 Kg. (Fig. 2.1.1).
- 5.- Se cortó y desmontó un tramo de 7.4 m de tubo con grandes deformaciones, de la zona

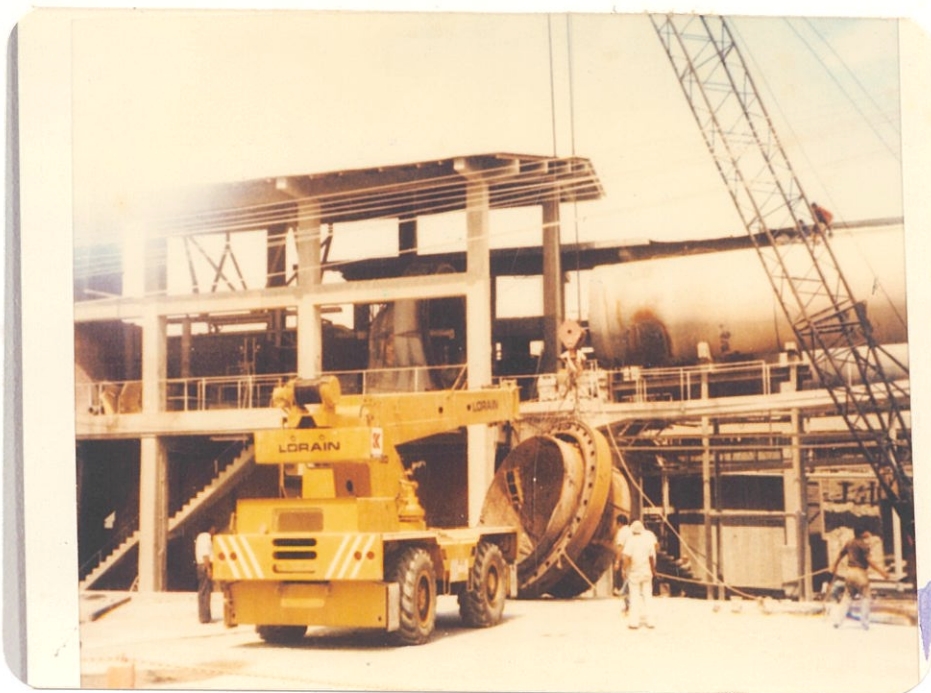


FIG. 2.1.1.- CORTE Y DESMONTAJE DE LA ZONA DE LLANTA  
Nº1.



BIBLIOTECA



FIG. 2.1.2.- CORTE DE ZONA ENTRE LLANTA 1 Y 2.

comprendida entre las llantas 1 y 2, con un peso de 10500 Kg. (Fig. 2.1.2).

Es decir el desmontaje se totalizó en 34100 Kg, labor que se efectuó en dos semanas de trabajo, tomándose todas las medidas de seguridad requeridas para este tipo de labores. (Fig. 2.1.3).

## 2.2. CONSTRUCCION, ENSAMBLADO Y MONTAJE DE LA SECCION NUEVA DEL HORNO.

Tratar de conseguir en el mercado local, el tramo de horno en acero de calidad ST-37 de 20 mm de espesor, en planchas de 3.6m por 10 m de longitud, fue totalmente imposible.

Por tanto se decidió colocar planchas convencionales de acero estructural de calidad ASTM-A36 de 21 mm de espesor y 1.22m x 2.44 m, que si se consiguieron.

Las especificaciones recomendadas para la carcasa del horno son:

TABLA 2.2.1

Resist. a la tracción	50700 - 65250 PSI
Pto. fluencia mínima	29000 PSI
Elongación	25%

### COMPOSICION QUIMICA

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
0.17	0.35	0.4	0.045	0.045	0.3	0.025

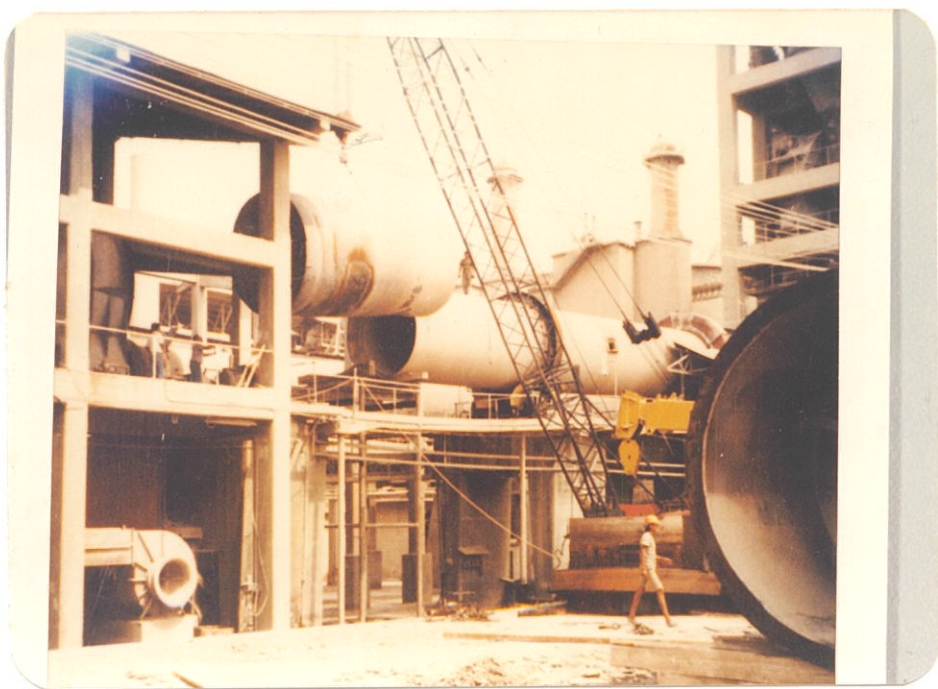


FIG. 2.1.3.- DESMONTAJE DE ZONAS ENTRE LLANTAS 1 Y 2.

El acero ASTM-A-36 conseguido, tenía:

TABLA 2.2.2

Resist. a la tracción	58000 - 80000 PSI
Pto. fluencia mínima	36000 PSI
Elongación	23%

COMPOSICION QUIMICA

C	Si	Mn	P	S	Cr	Al
0.25	0.4	0.4	0.04	0.05	0.1	0.02

Se confeccionó el tramo de tubo de 6.16 m; el mismo que estaba formado por 5 anillos de 1.22 m de ancho, dispuestos armónicamente, y el tramo recuperado de 1.24 m, se lo añadió a un extremo de este tubo, para así obtener un solo pedazo de tubo de 7.4 m, usando para todas las uniones el bisel descrito en la figura 2.2.1.

Se rolaron las planchas y se procedió a soldar con equipo automático de soldadura de arco sumergido, haciendo la primera pasada por el exterior del tubo con soldadura tipo 7018, luego se soldaría por el interior del tubo, después se pasó esmeril de disco en la raíz de la primera soldadura exterior y se volvió a soldar todo el contorno interior y exterior, efectuándose 4 pasadas de soldadura, 2 interiores y 2 exteriores. (Fig. 2.2.2).

Posteriormente se calzó la llanta al tramo nuevo del

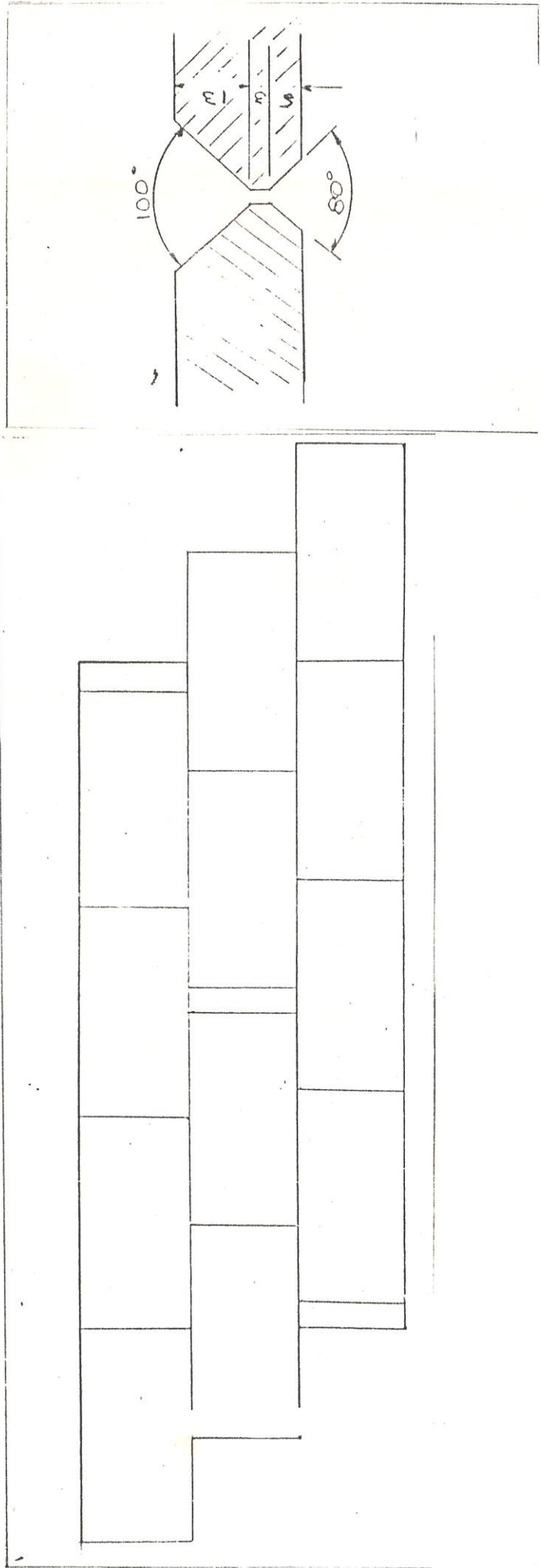


FIG. 2.2.1.- CONFORMACION DE ANILLOS AL BISEL Y TIPO DE BISEL USADO.

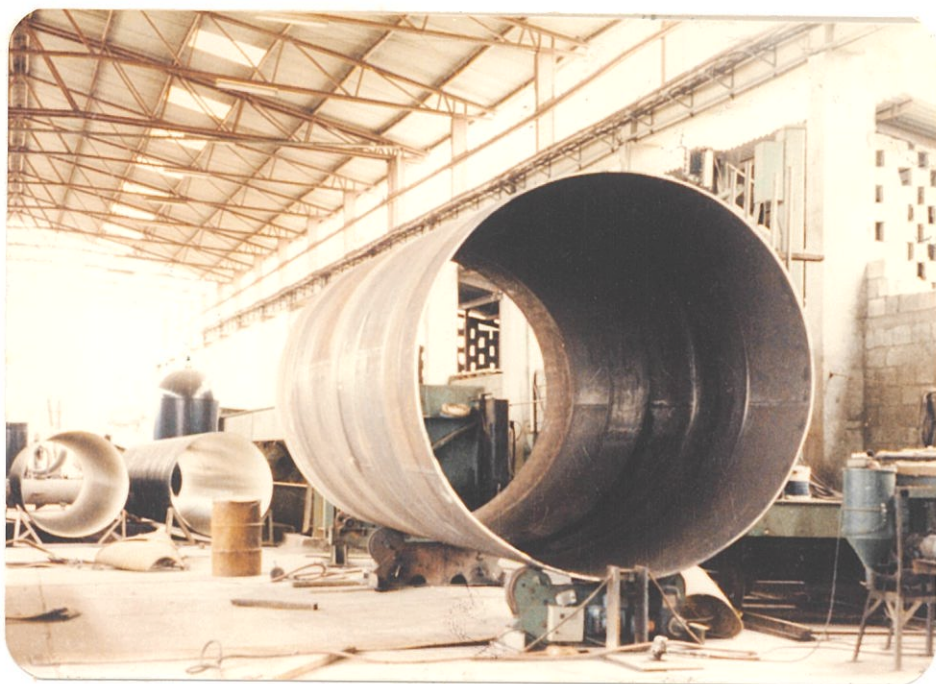


FIG. 2.2.2.- CONFORMACION DEL TUBO DE HORNO.

horno. (Fig. 2.2.3).

Las piezas se montaron en el orden siguiente:

1. El tramo nuevo de la boca del horno con la llanta #1 de 3.64 m, que pesó 21200 Kg. (Fig. 2.2.4).
2. Se montó el tramo de la boca que porta los segmentos de retención de 0.96 m, con un peso de 2500 Kg. (Fig. 2.2.5).
3. Finalmente se montó el tramo nuevo fabricado localmente de 7.4 m con un peso de 10800 Kg.

Antes de efectuar los empates del tubo del horno nuevo fabricado, se tomaron las medidas de alineamiento desde el exterior del horno, a fin de dejar el horno totalmente alineado. (Fig. 2.2.7).

En los trabajos generales de montaje y alineamiento se emplearon 4 semanas.

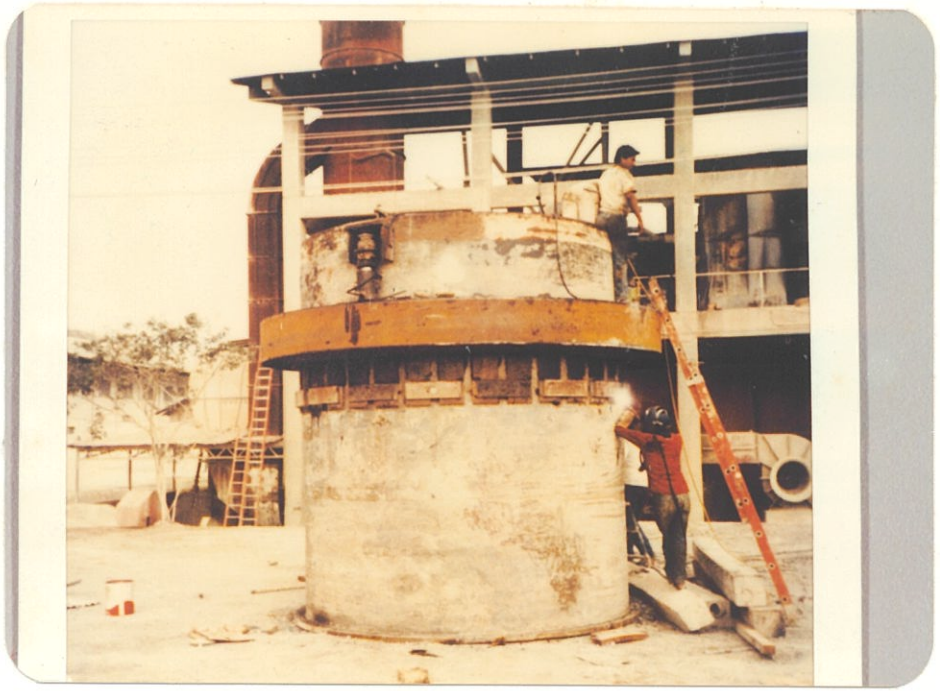


FIG. 2.2.3.- COLOCACION DE LA LLANTA EN EL TRAMO NUEVO DEL HORNO.

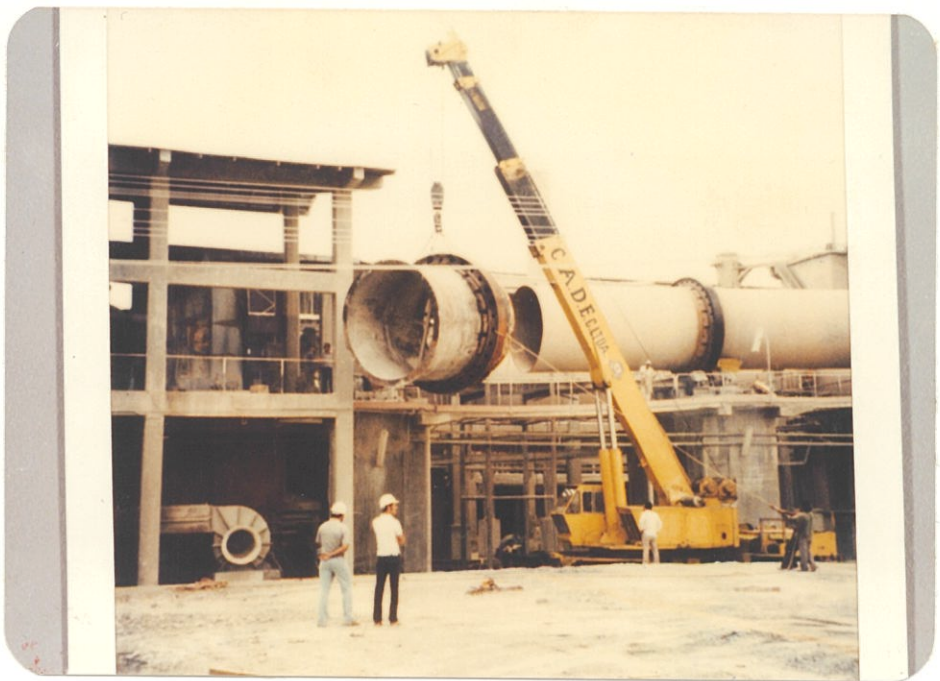


FIG. 2.2.4.- MONTAJE ZONA DE SOPORTE Y LLANTA 1.

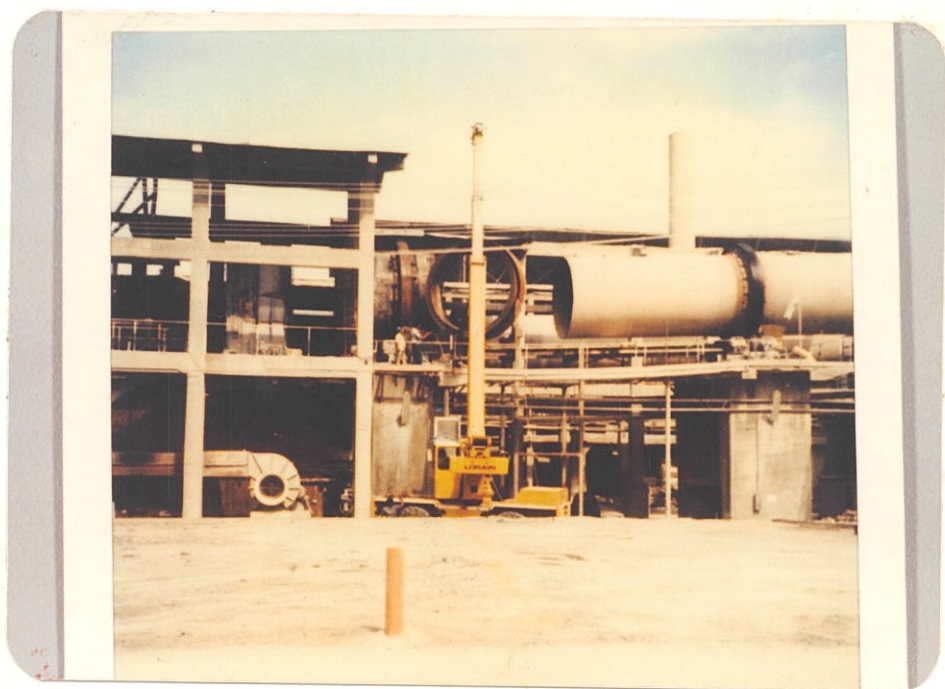


FIG. 2.2.5.- MONTAJE ZONA DE SOPORTE DE SEGMENTOS DE  
RETENCION DE BOCA DE HORNO.



FIG. 2.2.6.- MONTAJE DE TRAMO DE HORNO ENTRE LLANTAS  
1 Y 2.

L. HERRIA.

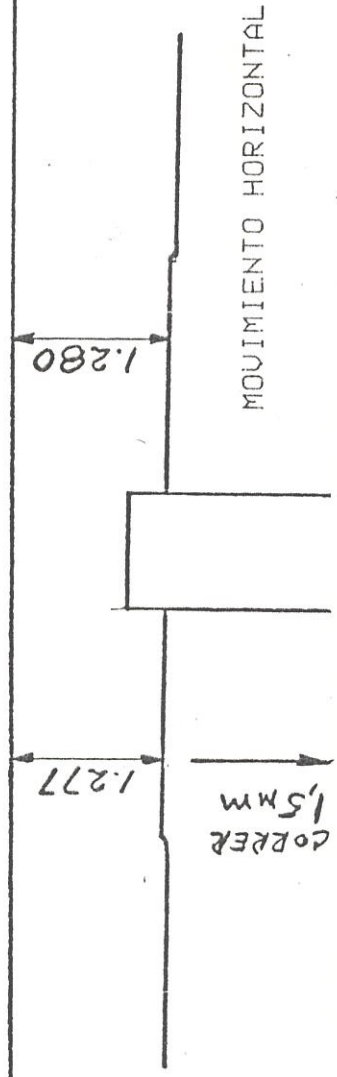
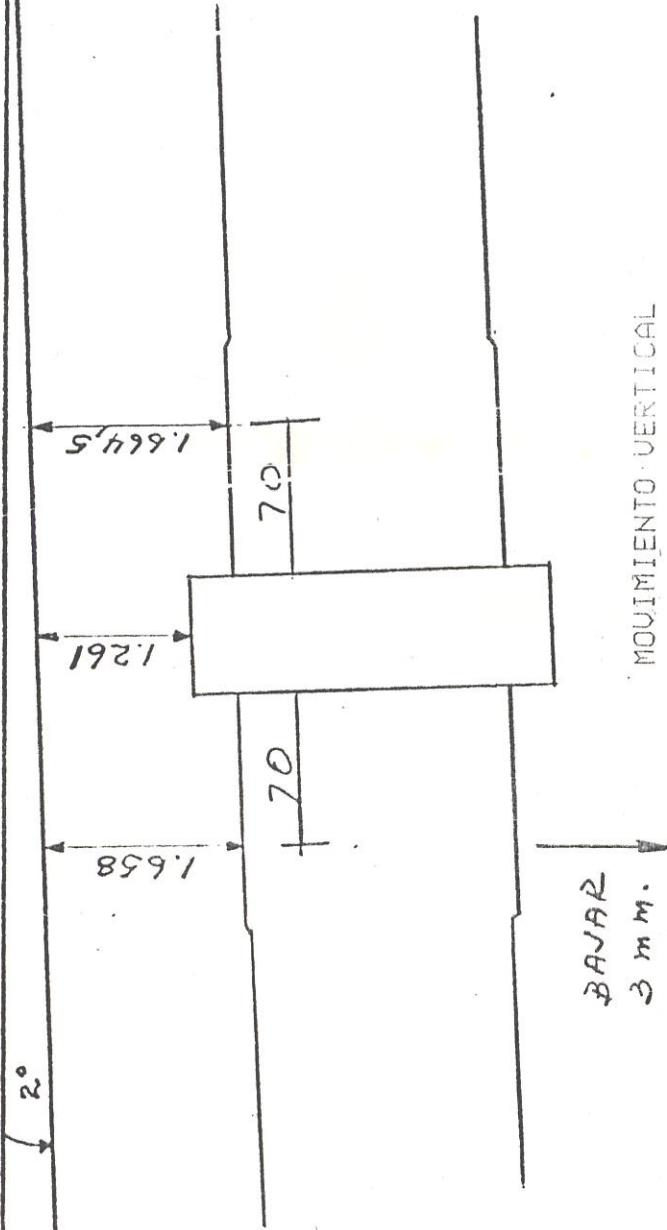
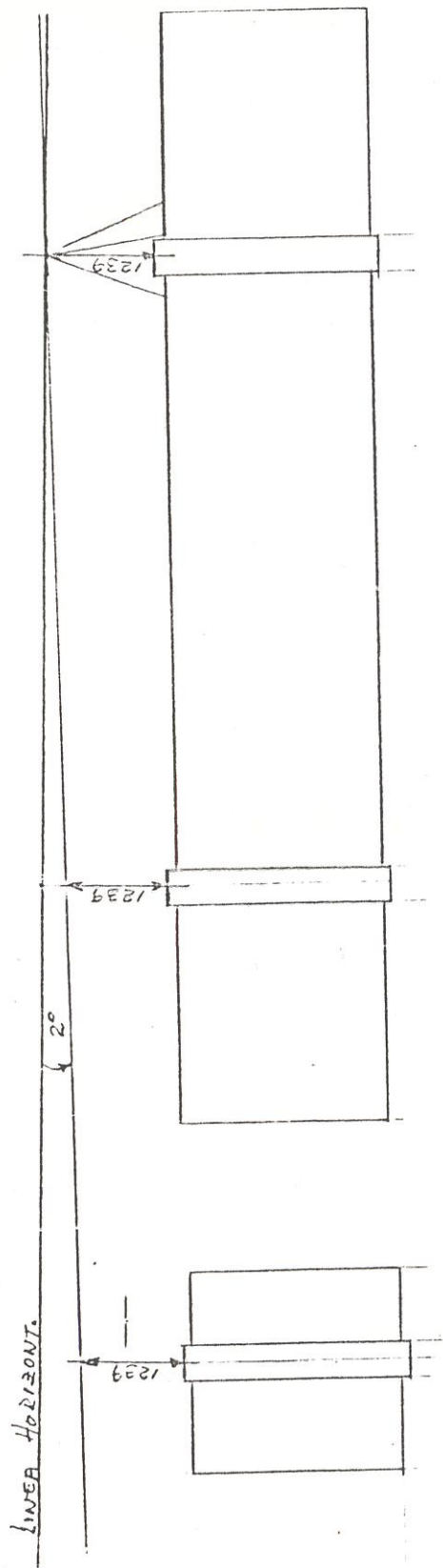
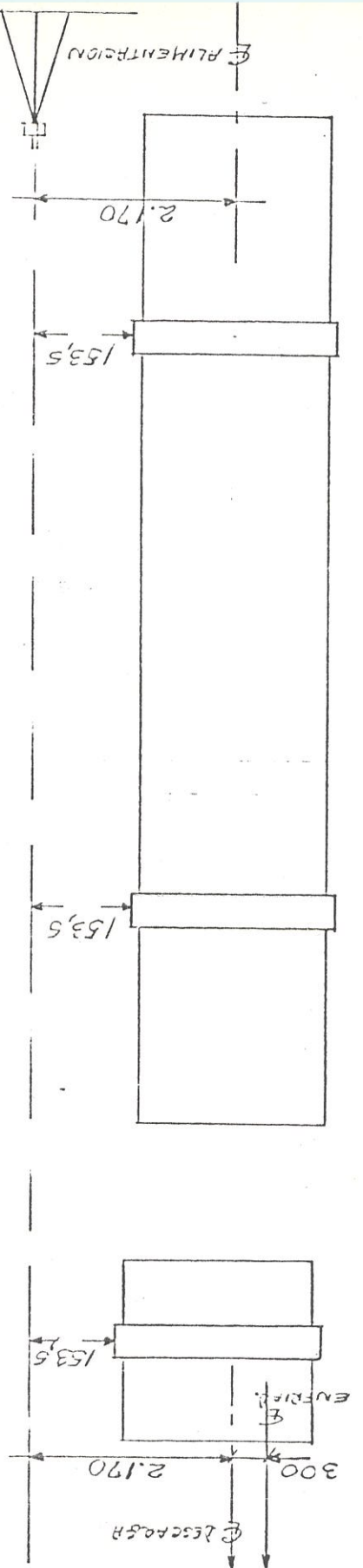


FIG. 2.2.7.- ALINEAMIENTO DEL HORNO.



ELEVACION



VISTA PLANTA

FIG. 2.2.2.7.- ALINEAMIENTO DEL HORNO (cont.)

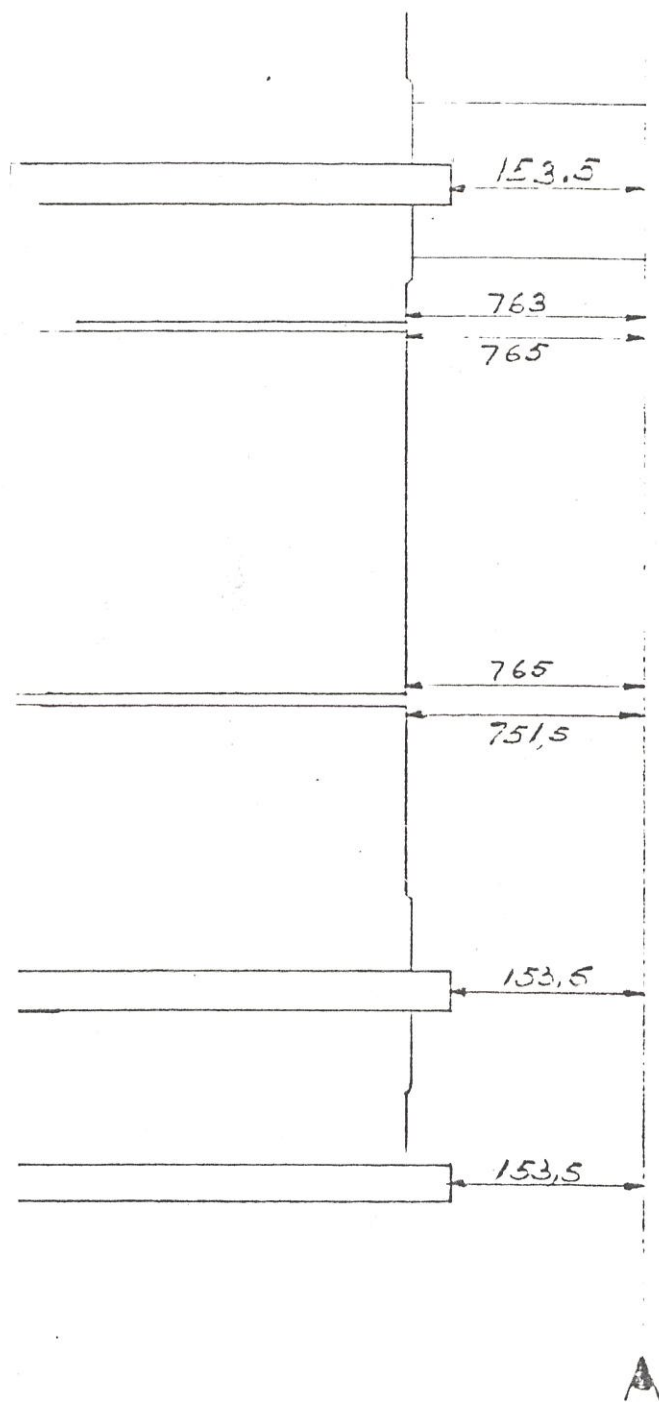
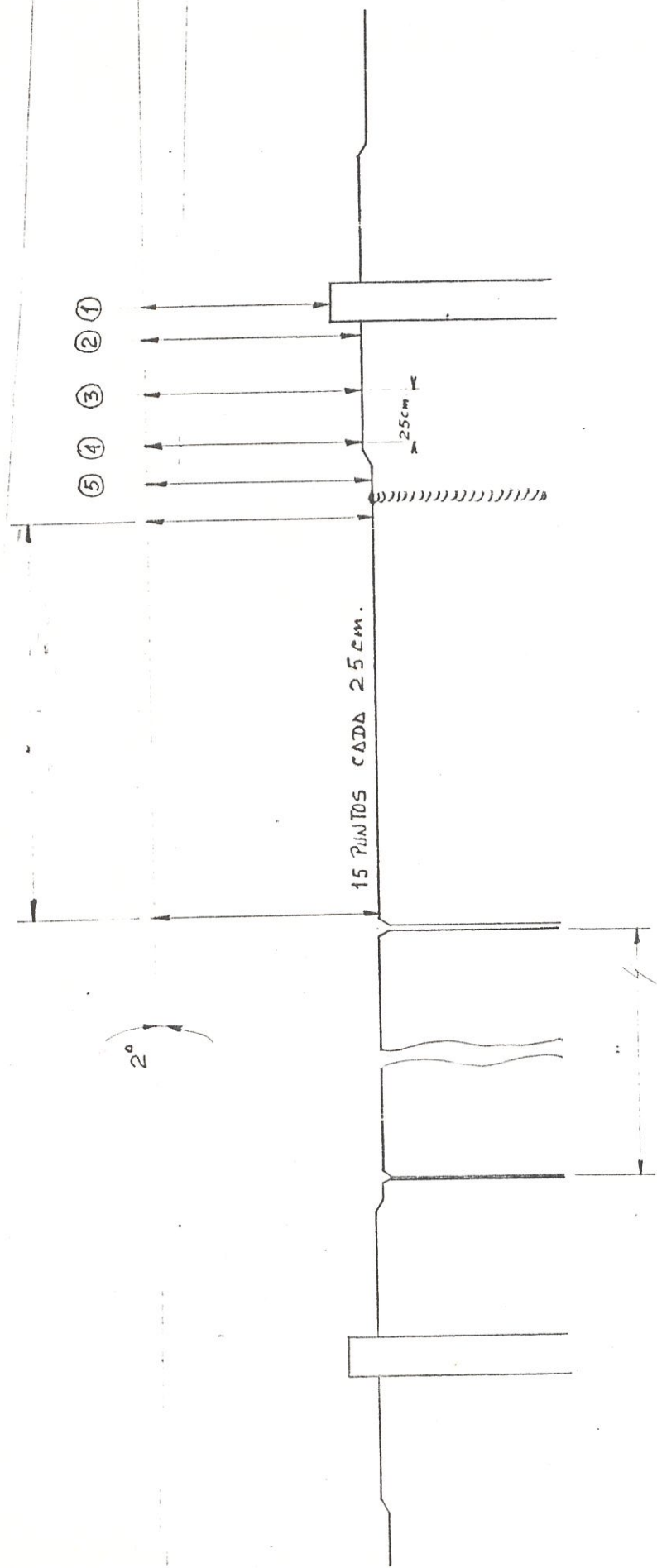


FIG. 2.2.7.- ALINEAMIENTO DEL HORNO. (cont.)



LECTURAS SOBRE EL HORNO

FIG. 2.2.7.- ALINEAMIENTO DEL HORNO. (cont.)



## CAPITULO III

### ALINEAMIENTO DEL HORNO

#### 3.1. METODOS DE ALINEAMIENTO.

Para determinar la desviación horizontal y vertical de los centros de un horno rotativo en las secciones de soporte, respecto al eje teórico de inclinación, existen diversos métodos.

- Medición con eje dentro del horno
- Medición con eje fuera del horno
- Medición cuando el horno está parado
- Medición cuando el horno está operando.

Para cada uno de estos métodos, dependiendo de las condiciones, se utilizan diferentes equipos los mismos que pueden ser:

RAYO LASER

INSTRUMENTOS FOTOGRAMETRICOS

TEODOLITO

INSTRUMENTOS SENCILLOS

#### - Medición con eje dentro del horno

- a) Para medir el eje dentro del horno, este debe estar parado y sin obstrucciones en su interior, de ser posible hasta sin ladrillos, este método es más recomendable para hornos nuevos.

El método consiste en colocar dentro del horno, diametralmente a la boca de descarga, una regla

graduada, la misma que tendrá marcado exactamente el centro con un agujero de 50 mm de diámetro; en este punto se fija una placa deslizante con un agujero de 3 mm, que nos indique el centro del horno. La misma operación se efectúa en la zona del primer soporte del horno, más cercano a la alimentación, colocando además detrás de la placa una lámpara, la misma que se la cubre adecuadamente para que solo un rayo luminoso pase por el agujero del centro.

En la zona de soportes intermedios, se coloca otra regla con placa de nivelación y, se moverá esta placa hasta que el agujero se encuentre exactamente en el centro del rayo luminoso.

De esta manera se encuentra el centro del horno, describiendo sobre la placa móvil arcos del radio del horno tomados desde la coraza.

Las distancias verticales y horizontal entre el haz de luz y el centro de los arcos descritos, representa la desviación del centro del horno, la misma que se corrige moviendo los rodillos de soporte de esa base.

De la misma forma se procede en los demás soportes y se repite la operación después de la alineación final del horno.

La ventaja de este método es que no utiliza instrumentos sofisticados, es sencillo y

adecuado para hornos de hasta 4 m. de diámetro, en los que se puede encontrar la desviación horizontal y vertical con una sola medición; los trabajos se efectúan con seguridad por efectuarse dentro del horno.

Como desventaja se tendrá: que el método solo es aplicable con horno parado; que será necesario quitar los ladrillos de la zona de medición; es aplicable solo a hornos cortos y diámetro limitado; cuando el rayo luminoso no es intenso, no es fácil detectar el centro y mientras se está nivelando no permite efectuar otros trabajos dentro del mismo.

- b) Este método es similar al anterior, se toman las lecturas en forma similar, la diferencia está en que la emisión es de un rayo laser, el mismo que forma un eje claramente visible ya que no se dispersa en grandes distancias, no obstante la complicación de las lecturas en hornos de gran diámetro.

Las desventajas serían que el trabajo debe realizarse con horno parado; se requiere de rayos laser, el mismo que es relativamente caro; tienen que quitarse los ladrillos de la zona de medición y no se pueden realizar otros trabajos dentro del mismo, mientras se ejecutan las mediciones.

- Medición con eje fuera del horno

CON HAZ LUMINOSO.

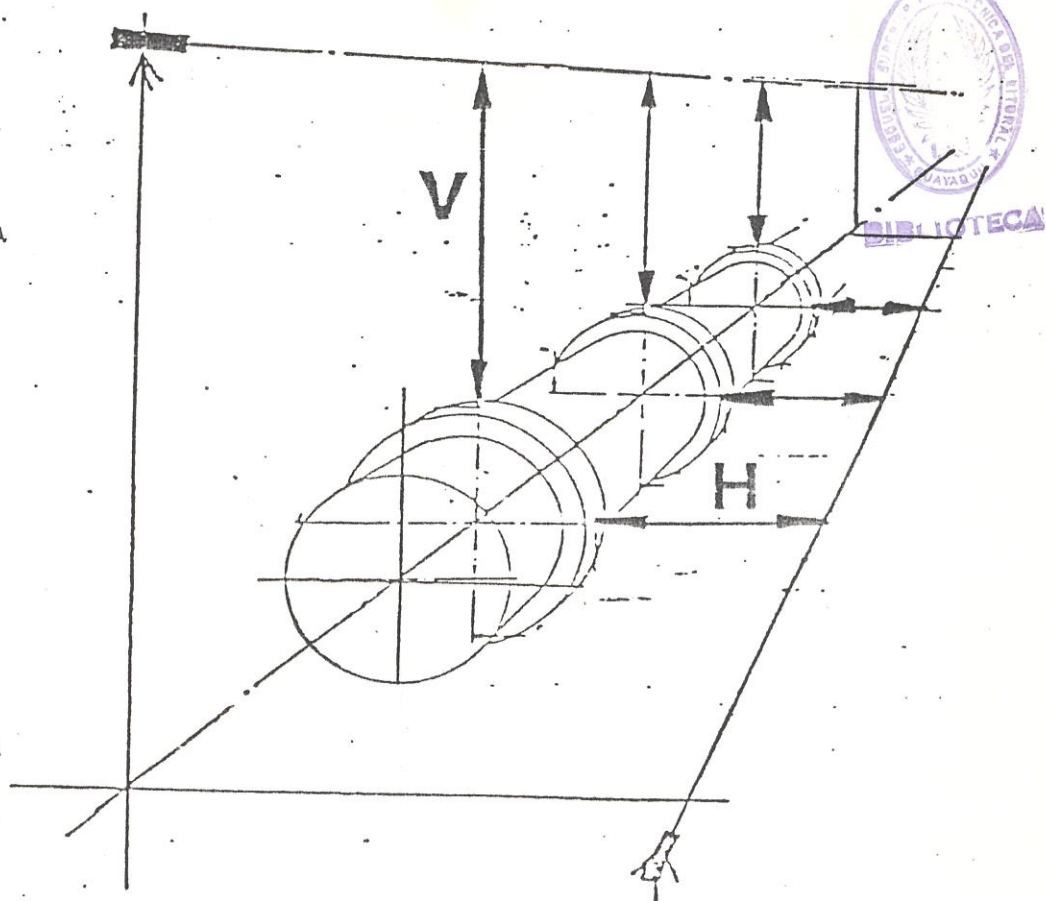
a) Este método consiste en fijar sobre la llanta más próxima a la alimentación una placa con un agujero para que pase un haz de luz, se efectúa la misma operación en la llanta más próxima a la descarga. Se colocan placas similares en forma de regletas en los soportes intermedios, de manera que al deslizarlas puedan hacer coincidir el centro del rayo luminoso que lo emite una lámpara colocada del lado de la alimentación.

Una vez efectuada esta operación pueden medirse las distancias sobre el plano vertical. Se puede girar el horno a  $90^\circ$  y con las mismas herramientas se puede medir las distancias sobre el plano horizontal.

Frecuentemente se miden las distancias sobre el plano horizontal, utilizando una cuerda de piano, la misma que se la tensa paralela al horno.

Hay que tomar en cuenta que las medidas deben tomarse cuando se ha determinado con nivel la posición máxima de las llantas para las medidas ha tomarse sobre los planos horizontal y vertical. (Figura 3.1.1.).

Este método tiene la ventaja de que no utiliza



**V :** MEDICION VERTICAL

**H :** MEDICION HORIZONTAL

FIG. 3.1.1.- PLANOS DE MEDICION PARA DETERMINAR LOS  
EJES DEL HORNO.

instrumentos sofisticados; pueden colocarse ladrillos dentro del horno mientras se efectúan las mediciones.

Como desventaja se tendrá: la dificultad para tomar lecturas durante el día; lo peligroso de la ejecución de las mediciones en la parte superior del horno; debe siempre efectuarse con el horno parado; no hay mayor precisión y las medidas sobre el plano horizontal son un tanto difíciles.

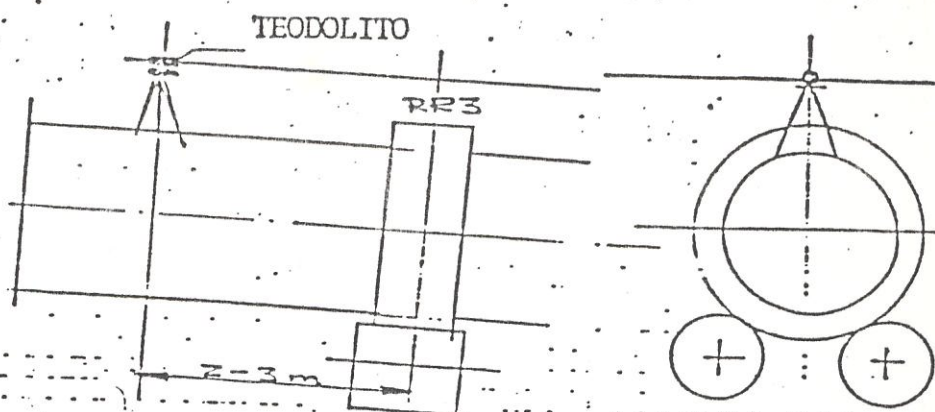
#### CON TEODOLITO.

- b) En este método la medición se la efectúa en la parte superior del horno, para lo cual se fija un teodolito sobre uno de los extremos del horno, tan cerca como sea posible un nivel óptico, se coloca en instrumento alineado con la línea de centro y en un plano paralelo al de inclinación del horno. (Figura 3.1.2).

De esta forma se toman las distancias verticales con una regla graduada, midiendo a través del telescopio del teodolito.

Luego colocando un telescopio a un lado del horno en la proximidad del soporte más cercano al extremo se fija un plano vertical y se toman las medidas desde la línea óptica hasta este plano, obteniendo directamente las distancias horizontales (Figura 3.1.3), luego se

### POSICION DEL TEODOLITO



### NIVELACION DEL TEODOLITO



### EQUIPO DE MEDICION

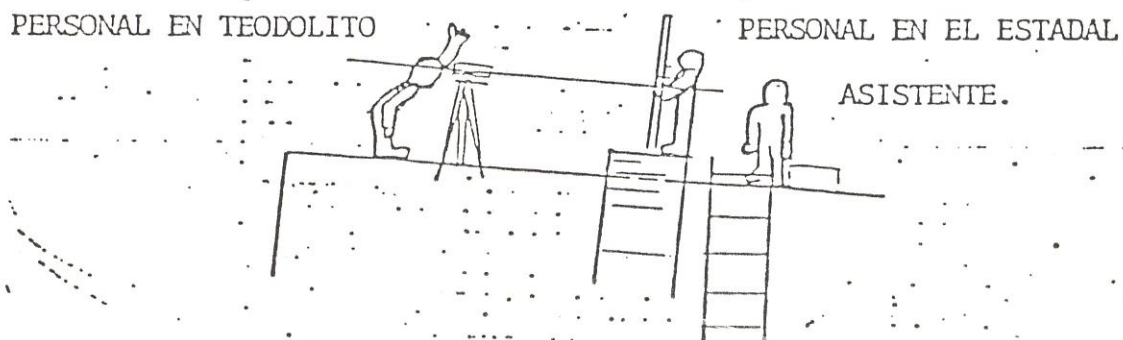


FIG. 3.1.2.- MEDICION CON TEODOLITO FUERA DEL HORNO.  
(distancias verticales).

## HORIZONTAL.

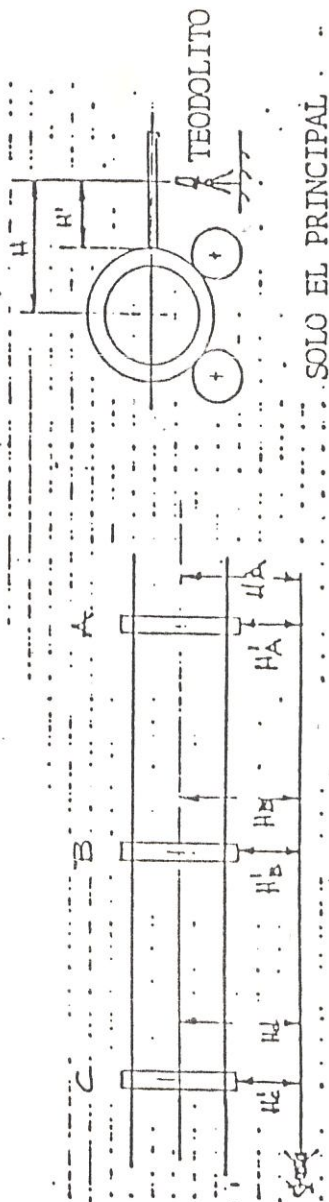


FIG. 3.1.3.- MEDICION CON TEODOLITO FUERA DEL HORNO. (distancias horizontales).

determinan las desviaciones con la medición del diámetro de las llantas.

Este método es práctico y relativamente preciso; se dispone con facilidad del instrumento; pueden efectuarse reparaciones dentro del horno; no obstante, para la ejecución del trabajo se requiere tomar las precauciones para trabajar sobre el horno.

#### - Otros métodos

Métodos más sofisticados y exactos pueden utilizarse para determinar el eje real del horno, los mismos que calculan la posición de las llantas, los rodillos de soporte y los niveles reales de las bases, además de tomar en cuenta las influencias debidas a la ovalidad y a la temperatura, utilizando equipos especiales y personal especializado; estos son:

El método estereoscópico, el mismo que se ejecuta con horno parado y consiste en tomar fotografías estereoscópicas de las llantas con equipos especiales para luego determinar el centro del horno.

Otro de ellos que resulta muy exacto se ejecuta con horno operando, y, precisa del rayo laser y un teodolito. El rayo laser se proyecta sobre las superficies de las llantas desde un punto junto al

horno y el teodolito. Se toma las direcciones de los rayos, y finalmente se calcula los centros y el eje del horno con un minicomputador.

### 3.2. PROCEDIMIENTO DE ALINEAMIENTO Y MEDICIONES

Se mide con una cinta la circunferencia exterior de los rodillos de soporte del horno; una vez que se han limpiado y revisado las superficies de los mismos, se toman medidas en tres planos diferentes y paralelos entre sí, a fin de obtener el diámetro de los mismos. (Fig. 3.2.1).

TABLA 3.2.1

#### DIAMETRO PROMEDIO ACTUAL EN MM

LLANTAS	RODILLOS (1)	RODILLOS (2)
1) 4034,0	993,0	984,0
2) 4034,0	991,0	992,0
3) 4035,0	995,0	995,0

Una vez obtenidos estos valores, con el teodolito colocado sobre el horno en el lado de alimentación, sobre el centro de la llanta #3, encontrado con el nivel, se traza con la visual un plano que tenga la inclinación recomendada para el horno: 2 grados (figura 3.2.2).

Luego se toman las medidas desde la parte superior de las llantas hasta este plano, las mismas que se

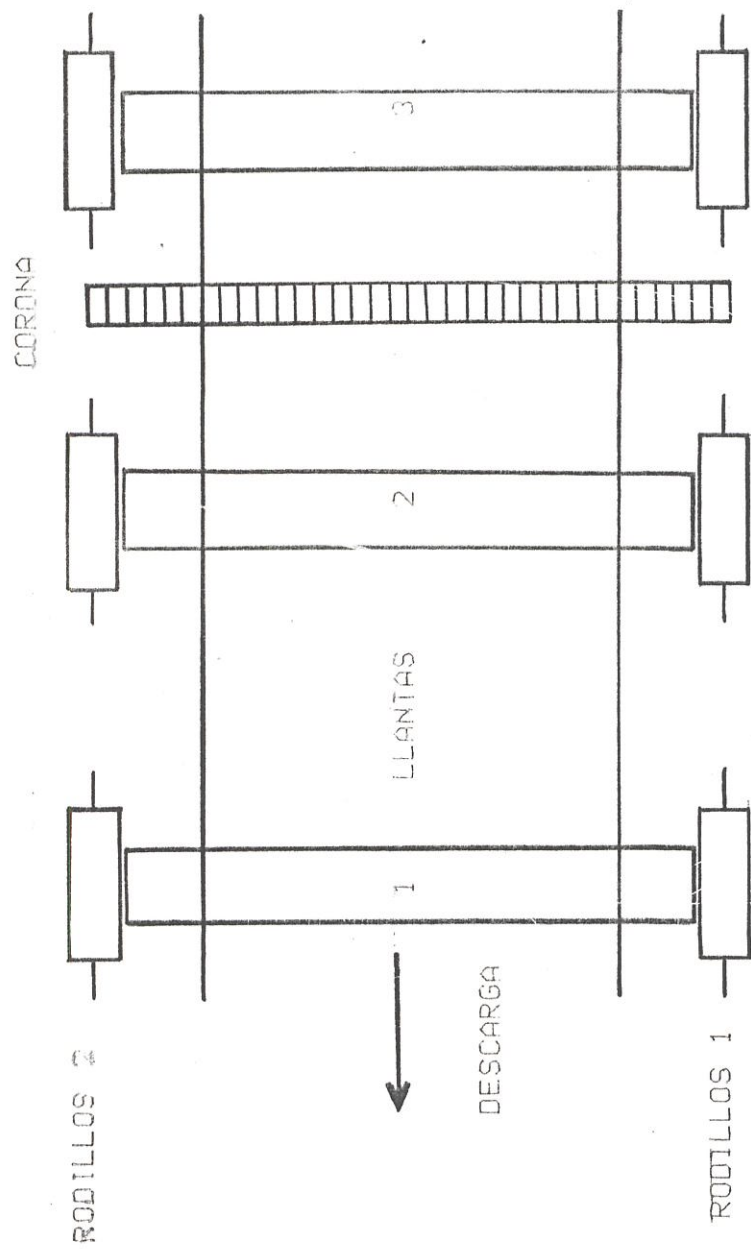
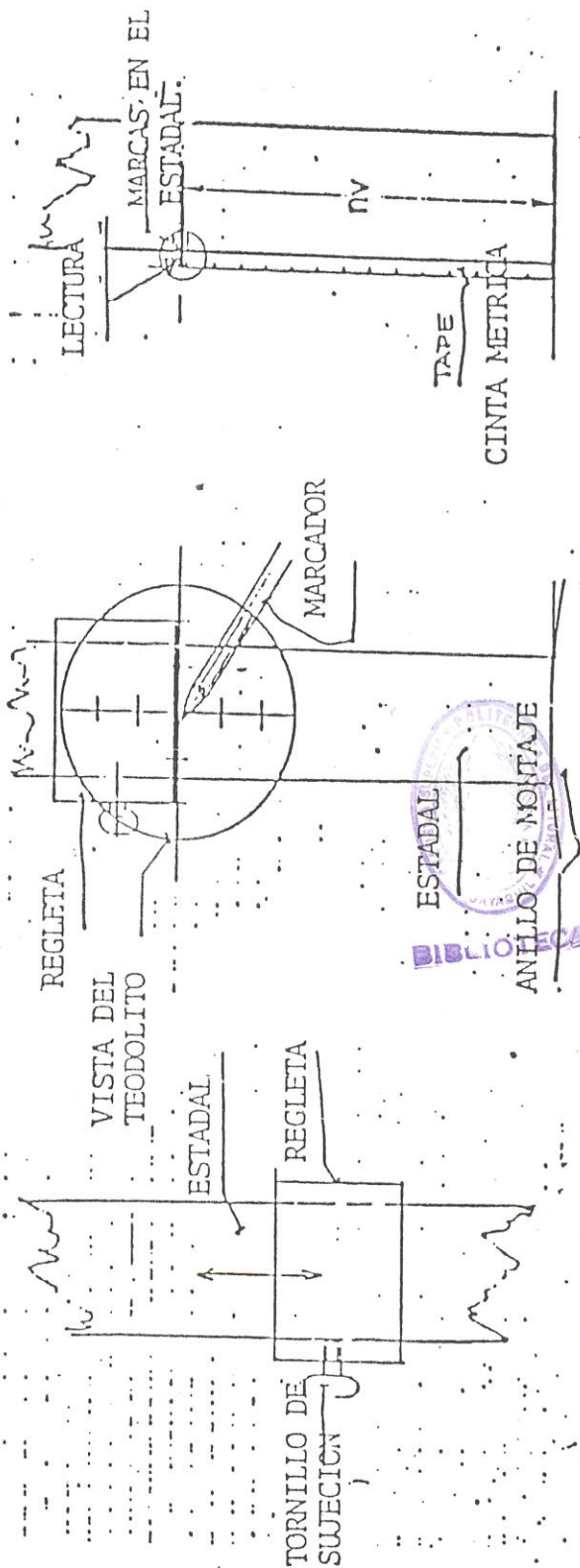
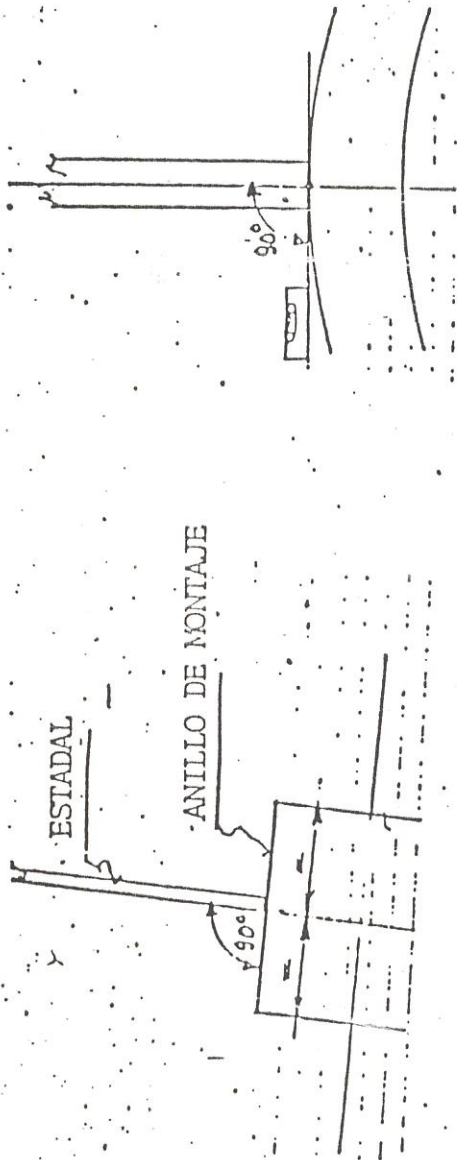


FIG. 3.2.1.- MEDICION DE DIAMETROS DE RODILLOS DE SOPORTES.

# POSICIONAMIENTO DEL ESTADAL



LECTURA VERTICAL EN EL ESTADAL.

NV

leen con el telescopio del teodolito y las llamaremos  $V'$ . (Fig. 3.2.3).

Obteniendo los resultados siguientes:

$V'$	$V'2$	$V'3$
1210.5	1210.5	1210.5

Las distancias verticales entre el centro del horno y la línea de mira del teodolito son:  $V'$  más el radio de las llantas y se llamarán  $V''$  teniendo así:

$V''1$	$V''2$	$V''3$
3227.5	3227.5	3228

Estas medidas deben ser corregidas considerando los claros entre la llanta y la carcasa del horno en el punto superior, dados por la ovalidad del horno, en estos puntos:

$Wa1$	$Wa2$	$Wa3$
13.27	6.95	6.32

Así tenemos que la distancia efectiva vertical del plano de medición al eje real del horno es igual a  $V''$  más  $Wa/2$  y será  $V'''$ .

$V'''1$	$V'''2$	$V'''3$
3234.1	3231	3231.2

Estas mediciones nos están indicando que el horno se encuentra con el centro real más abajo en la primera llanta.

Luego colocando un teodolito junto a la descarga, se traza un plano vertical paralelo al eje del horno; posteriormente se trazan plomadas por encima de las

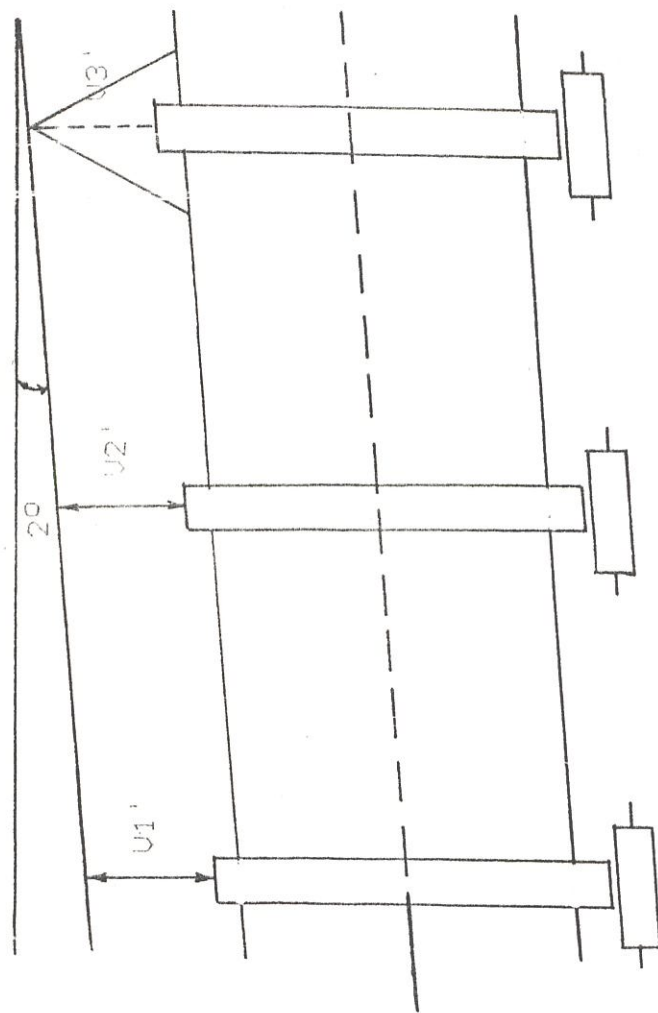


FIG. 3.2.3.- MEDICION DEL PLANO VERTICAL CON TEODOLITO SOBRE  
EL HORNO AL LADO DE ALIMENTACION.

llantas y se sumergen en aceite las plomadas para evitar oscilaciones. Figura 3.2.4.

Finalmente colocando una regla a nivel desde la plomada al plano vertical dado, se procede a medir las distancias con el teodolito, a las que se las llamará  $H'$ . (Fig. 3.2.5).

Las mismas que resultan:

$H'1$	$H'2$	$H'3$
1535.5	1535.5	1535.5

Para obtener así una distancia del plano vertical de referencia al eje del horno igual a  $H'$  mas el radio de las llantas al que llamaremos  $H''$  con los valores siguientes:

$H''1$	$H''2$	$H''3$
3552.5	3552.5	3553

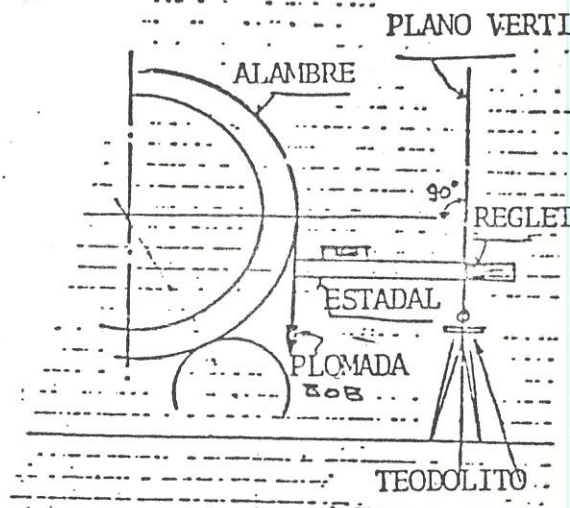
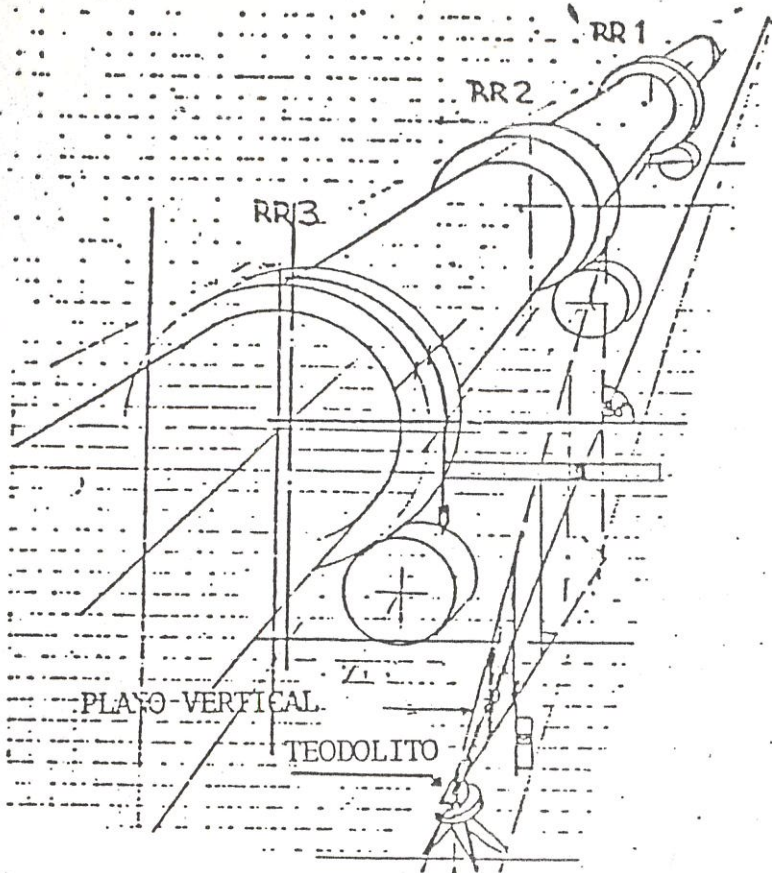
### 3.3. EVALUACION Y CALCULO DE LOS DESALINEAMIENTOS

Los resultados de los alineamientos horizontales y vertical del horno se muestra en la figura 3.3.1.

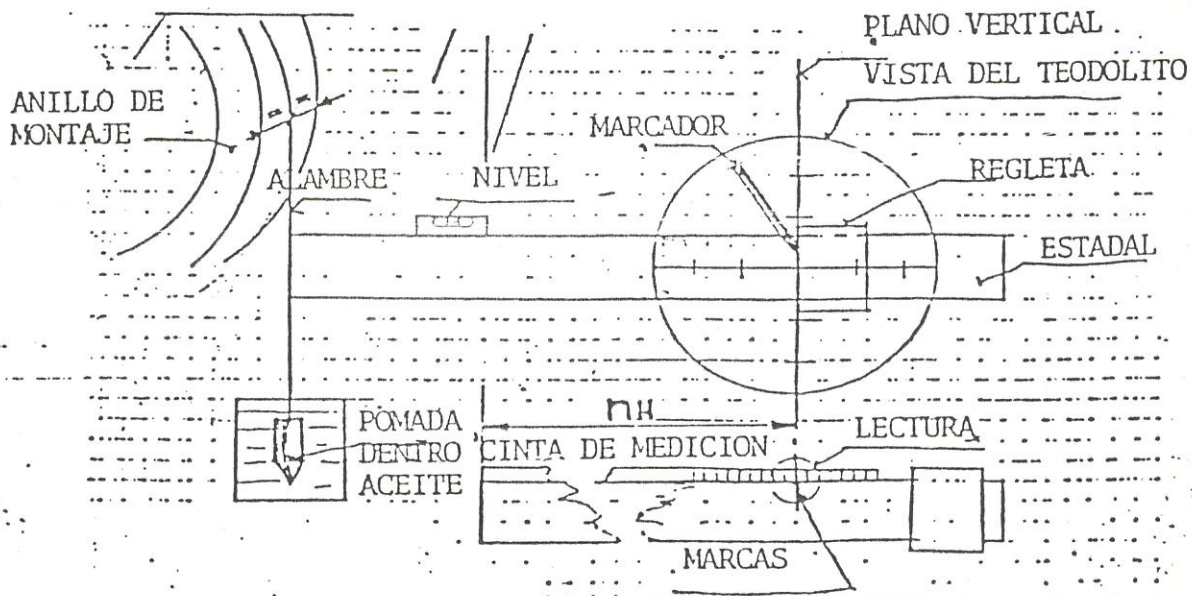
Como norma se tiene no efectuar cambios en la llanta más próxima a la corona para evitar desalineamientos del engranaje.

En caso de ser necesario se fijará un nuevo eje por el centro del existente en esta llanta.

Antes de efectuar las correcciones, se inspeccionará el juego existente entre el piñón y corona, estando este aceptable se procede a efectuar las



ARREGLO DE MEDICION



LECTURA HORIZONTAL DE  $N_H$

$N_H$

FIG. 3.2.4.- DETALLES PREVIOS A LA NIVELACION HORIZONTAL.

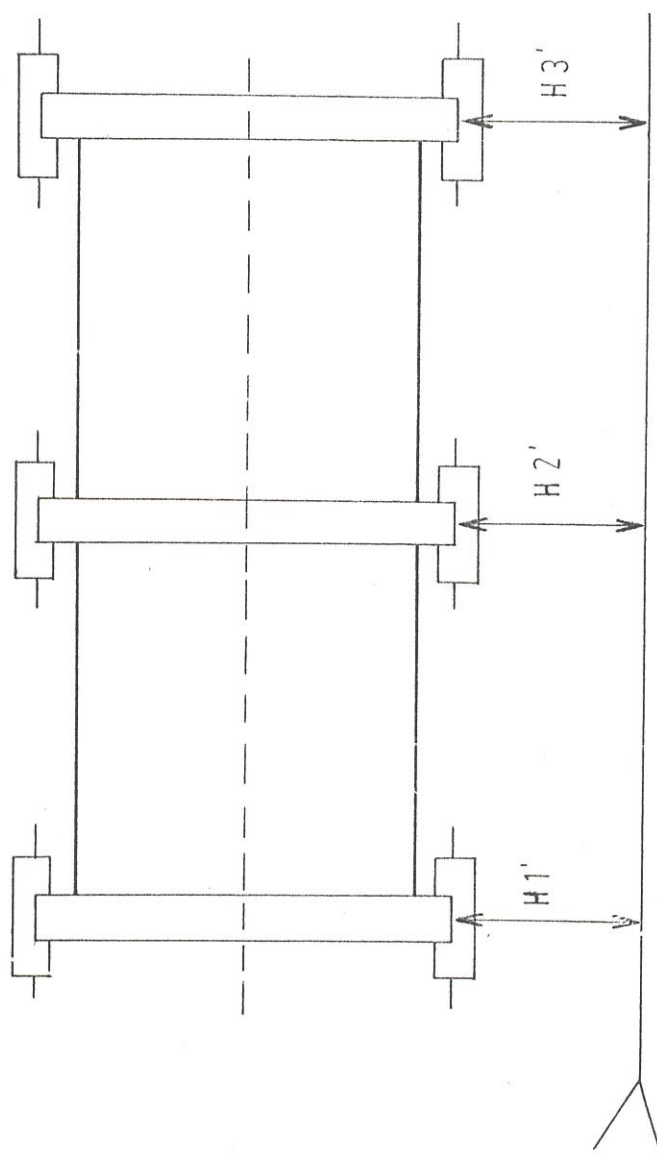


FIG. 3.2.5.- MEDICION DEL PLANO HORIZONTAL CON TEODOLITO JUNTO  
AL HORNO AL LADO DE DESCARGA.



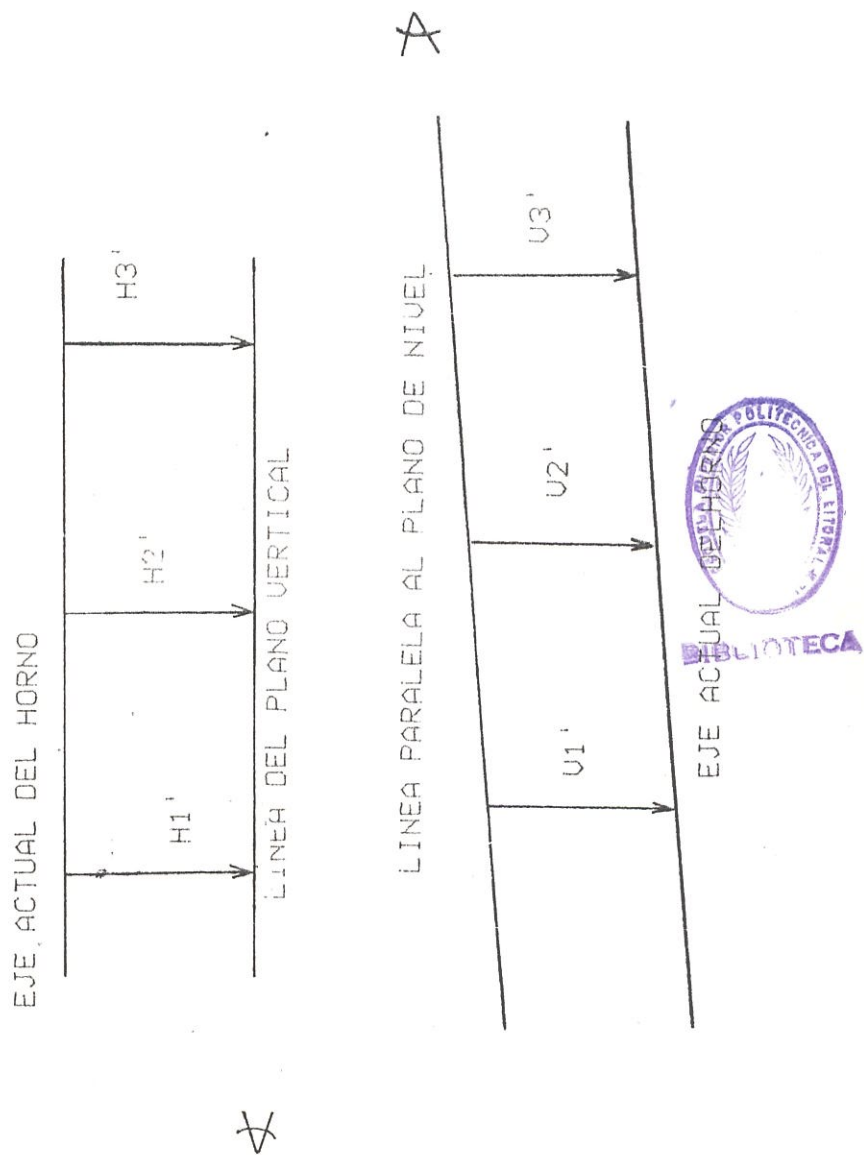


FIG. 3.3.1.- RESULTADOS DE LOS NIVELAMIENTOS HORIZONTAL Y VERTICAL.

correcciones sobre el plano vertical de la llanta 1 que es significativo.

Ver Figura 3.3.2.

Luego, hay que meter los rodillos de ambos lados de la primer llanta 1.5 mm.

Para efectuar la corrección de la llanta 3 tenemos que observar la figura 3.3.3.

Antes de proceder a efectuar los movimientos de ajuste puede ser necesario revisar nuevamente la alineación, de ser posible con dos o más mediciones, en este caso girando el horno  $120^\circ$ , y repitiendo todo el procedimiento; si los resultados de las tres mediciones son bastantes aproximados, se toma el valor promedio de los tres para la alineación.

### 3.4. AJUSTE DE RODILLOS DEL HORNO.

Para la corrección del eje del horno, el mismo que se logra moviendo los rodillos, las relaciones entre el movimiento del centro de los rodillos y el desplazamiento del centro del horno son proporcionales por lo tanto es posible usar fórmulas simplificadas que no obstante son lo suficientemente exactas para efectuar estos movimientos.

#### 1. Corrección vertical CV.

En este caso  $CH = 0$ .

Se obtiene la corrección vertical abriendo o cerrando los rodillos un espacio  $a$ .

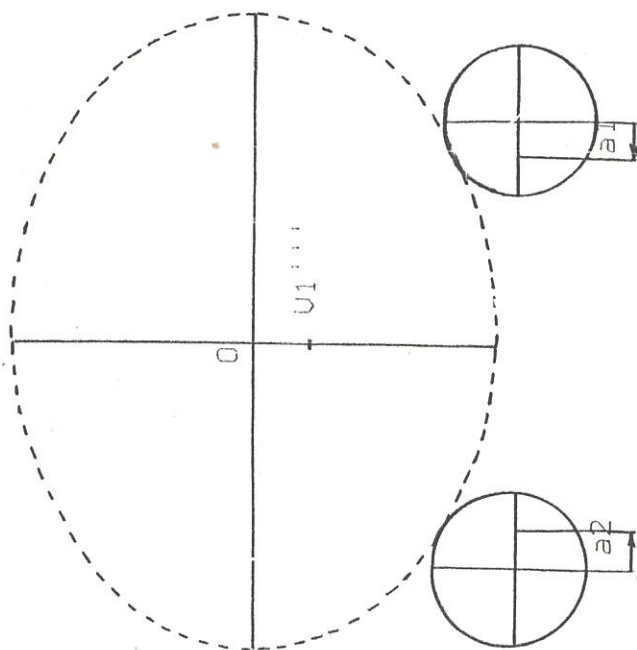
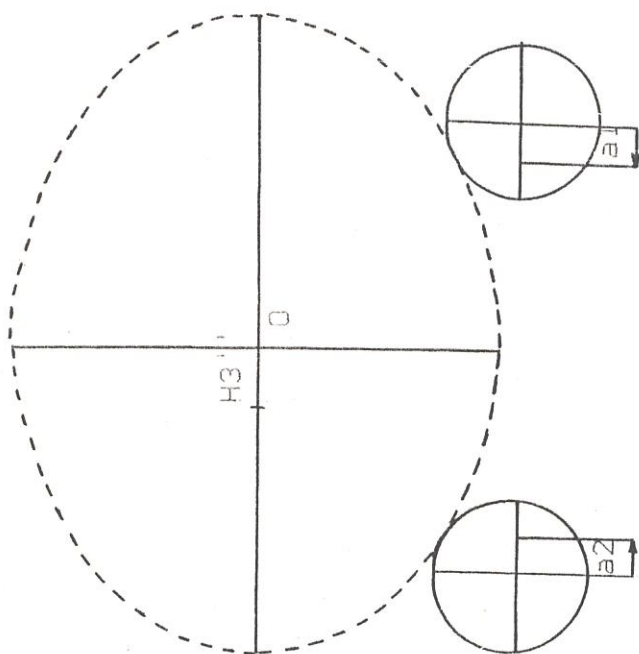


FIG. 3.3.2.- MOVIMIENTO DE RODILLOS PARA CORRECCION DE NIVEL  
SOBRE EL PLANO VERTICAL.



RECIBO

P1



MOVIMIENTO DE RODILLOS PARA CORRECCION DE NIVEL  
SOBRE EL PLANO HORIZONTAL.



En este caso  $a_1 = a_2$ , y,  $CV = a/2$ .

Se consideran positivos los movimientos de los rodillos hacia la izquierda y negativos los movimientos de estos hacia la derecha; así tenemos que para las correcciones verticales podremos tener:

Hacia arriba	- $a_2$	+ $a_1$
CORRECCION VERTICAL		
Hacia abajo	+ $a_2$	- $a_1$

## 2. Corrección horizontal: CH.

Para este caso  $CV = 0$ .

Se obtiene la corrección desplazando en el mismo sentido ambos rodillos un espacio  $a$ .

Siendo  $a_1 = a_2$ , y,  $CH = a$ :

Con las mismas consideraciones anteriores, para las correcciones horizontales tendremos:

Hacia izquierda	+ $a_2$	+ $a_1$
CORRECCION HORIZON.		
Hacia derecha	- $a_2$	- $a_1$

## 3. Ajuste resultante de rodillos.

El desplazamiento efectivo que se requiere de los rodillos  $a_1$  y  $a_2$  para las correcciones CV y CH es el resultado de la suma vectorial de los desplazamientos de ambos rodillos, una vez calculados estos valores se efectúan los movimientos en el campo.

## CAPITULO IV

### ALINEAMIENTO DEL PIÑON Y LA CORONA DE ACCIONAMIENTO DEL HORNO.

#### 4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA ALINEAMIENTOS DE SISTEMAS PIÑON-CORONA.

Antes de alinear un sistema de accionamiento piñón-corona de una maquina, deben chequearse los niveles de las bases, los que deberán ser controlados anualmente, para detectar eventuales asentamientos o movimientos que pudieran afectar a la maquinaria.

El control de la inclinación de los equipos debe cumplir con la especificación del fabricante; para el caso de este horno 3.5 % m/m.

Para alinear la corona, hay que medir el alineamiento axial y radial de la misma, el que se lo puede graficar y las medidas máximas, deben estar dentro de los estandares generales o del fabricante. Es conveniente efectuar las correcciones axiales primero, para lo cual, se moverá la corona axialmente hasta dejarla con la tolerancia permitida. Para la corrección radial se colocarán laines entre la corona y el soporte, hasta desplazar el centro de la misma a los parámetros aceptables.

Para el piñón, se recomienda revisar su alineamiento radial; el balanceo del mismo cuando se trata de un

piñón nuevo, debido a que este afectará al contacto de los dientes del engranaje. (Figura 4.1.1.).

#### 4.1.1. JUEGO O CLARO ENTRE DIENTES.

A fin de conservar una distancia correcta entre la corona y el piñón, se mide el juego entre dientes de los engranajes. Además para una referencia visual rápida del mismo, en la mayoría de los engranajes grandes, en sus caras vienen marcadas las líneas de paso, las cuales nunca deberán de cruzarse. (Figura 4.1.2.).

También se utiliza la medición del claro entre dientes para tener un ajuste preliminar del contacto de los flancos de los dientes, para lo cual se mide la separación del contacto entre los dientes en los dos extremos del diente con un calibrador de laines.

Se necesita para el efecto medir los claros en 4 a 8 puntos equidistantes alrededor de los engranajes, tomándose como referencia la nueva medida. Hay que considerar un buen contacto entre los dientes en el punto de medición. Para corregir estos ajustes, se efectúan movimientos en las chumaceras del piñón y luego de haber efectuado los movimientos deben chequearse nuevamente las

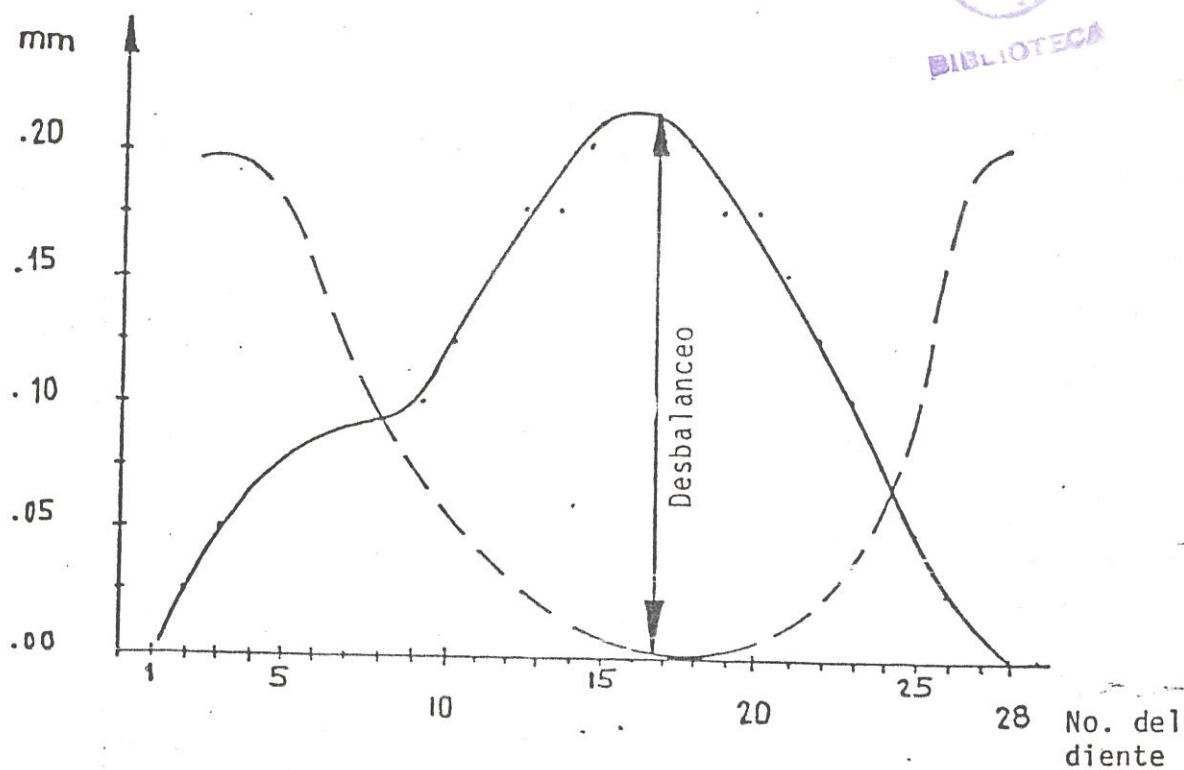
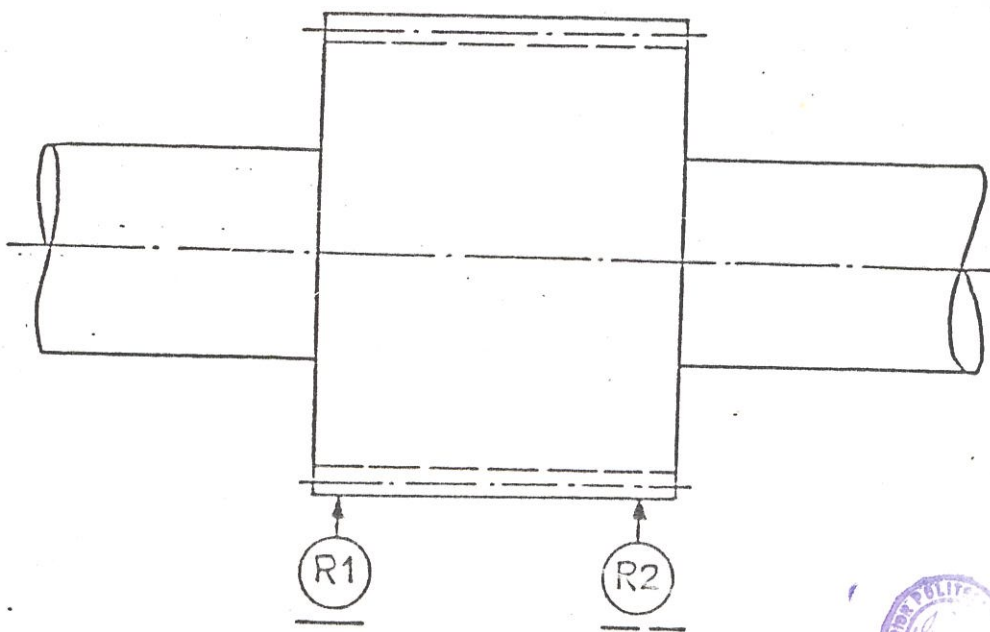


FIG. 4.1.1.- ALINEACION RADIAL Y DESBALANCEO DEL PINON.

INSPECCION VISUAL DEL JUEGO O CLARO

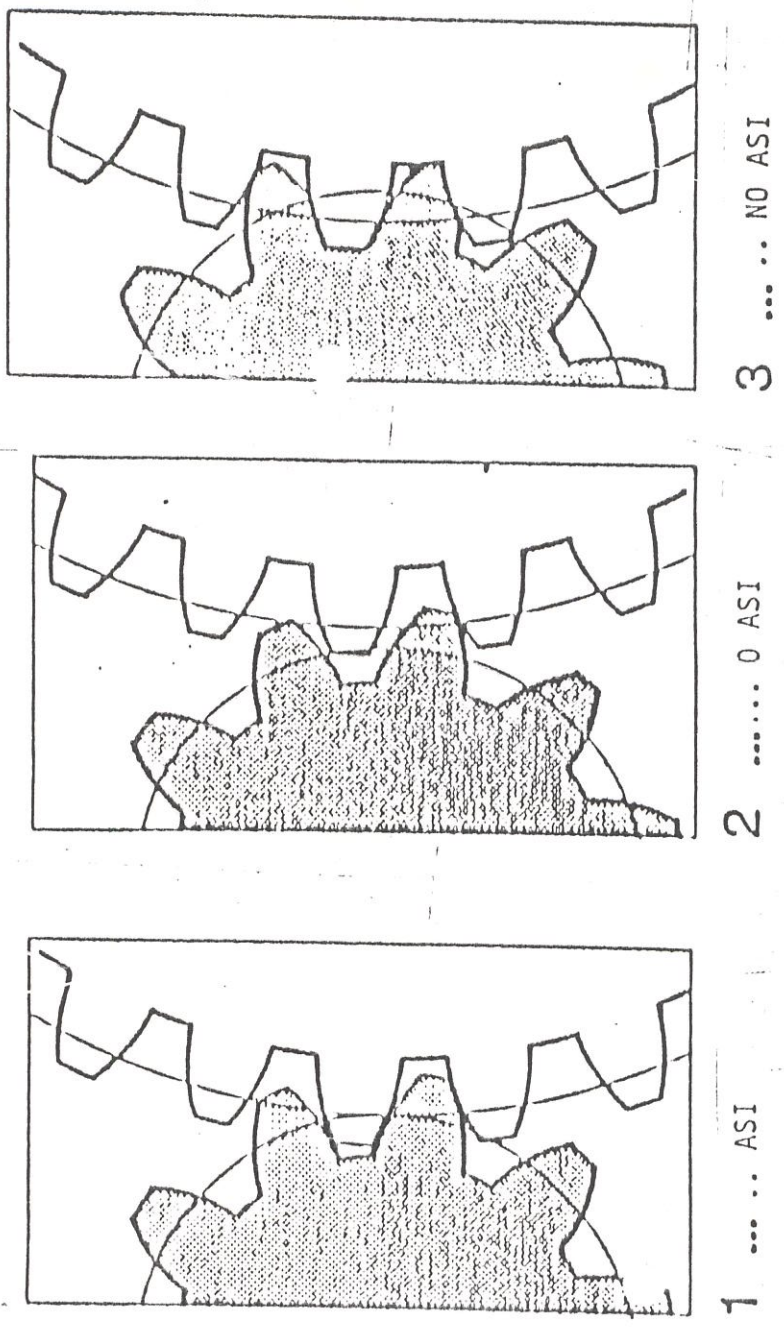


FIG. 4.1.2.- INSPECCION VISUAL DEL JUEGO O CLARO.

medidas.

#### 4.1.2. VERIFICACION DEL CONTACTO DEL DIENTE.

- a) Pueden efectuarse inspecciones de las superficies de contacto de los dientes aún cuando estos se encuentran trabajando, para lo cual por medio de una lámpara estroboscópica, ajustando la frecuencia de la luz a la de los dientes, se puede evaluar la imagen detenida de la superficie de contacto.

Observandose:

- Picaduras o daños
- Areas brillosas u opacas
- Distribución de lubricantes.

Estos elementos, con algo de practica nos permitiran una evaluación cuantitativa de irregularidades, contacto y lubricación.

- b) Inspección visual de la superficie del diente con quipo parado.

Limpiando los dientes completamente, pueden observarse rugosidades, marcas de maquinado, defectos, manchas por alta presión.

Deben efectuarse revisiones buscando manchas en los engranajes, en 4 u 8 dientes alrededor del piñón y la corona.

(Figura 4.1.3.).

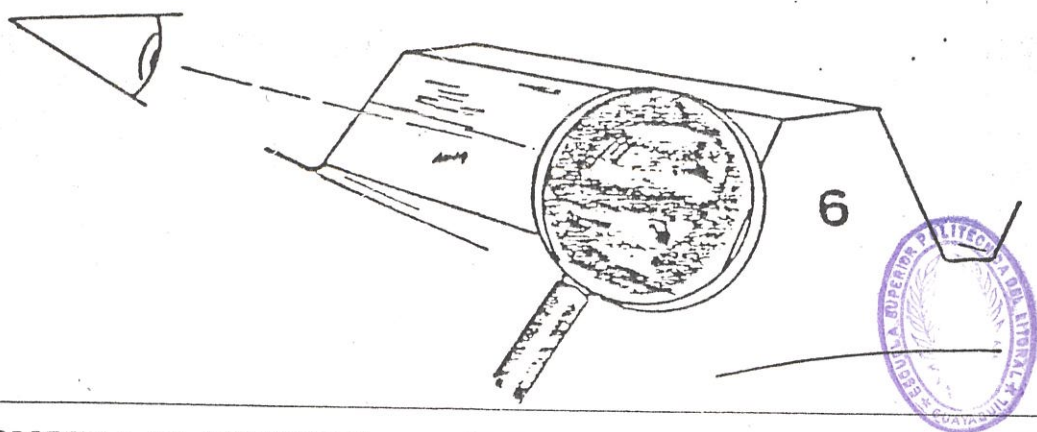
- c) Medición de la temperatura de la superficie del flanco. (Figura 4.1.4.).

Durante el trabajo de los engranajes, se incrementa la temperatura a medida que se disminuye el espesor de la película de lubricante por efectos de la presión. Por tanto se puede efectuar mediciones de la temperatura durante el trabajo del equipo, con un termómetro infrarrojo o con un pirómetro. También se podrá tomar la temperatura de los dientes con un termómetro de contacto, para lo cual habrá necesidad de parar el equipo.

Se puede evaluar el perfil de la temperatura a lo ancho del diente. 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. Habrá que tomar en cuenta las influencias debidas al ambiente.

- d) Impresiones visuales.

Se aplica una capa de "azul de prusia" a la superficie de contacto del diente (limpio) del piñón. Engranado con carga, el calor se transfiere a lo largo del



CRITERIA DE EVALUACION : . RUGOSIDAD  
 . DEFECTOS DE MATERIAL  
 . DANOS

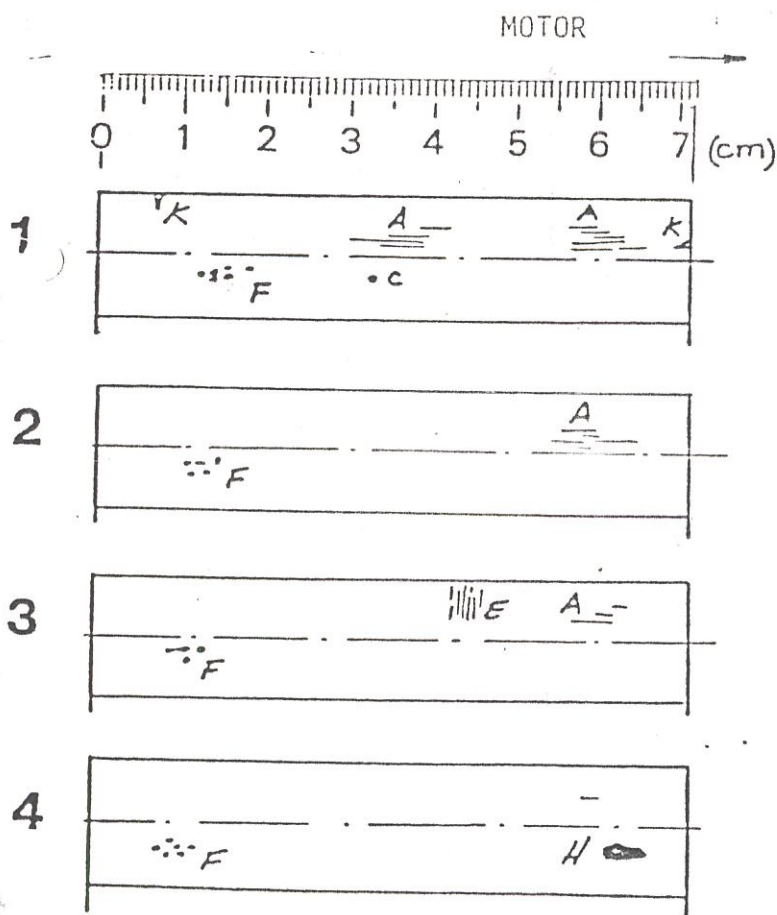
EQUIPO : LUPA, TRAJOS

DOCUMENTAR : FORMULARIO

OJO : TODOS LOS DIENTES LIMPIO Y CON NUMERO

EJEMPLO : PINION

INSPECCION 10.8.1984

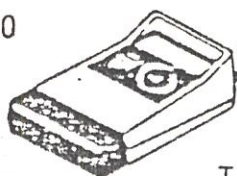


CODIGO:

- A MARCAS DE MAQUINADO
- B AREA PULIDO
- C PORES, CAVIDADES
- D ESTRIADO
- E RALLADURAS
- F PICADURAS INICIALES
- G PICADURAS DESTRUCTIVAS
- H DESPRENDIMIENTOS
- I DEFORMACION EN FRIO
- K HUELLA
- L ONDULACION
- M GRIETA
- N ROTURA

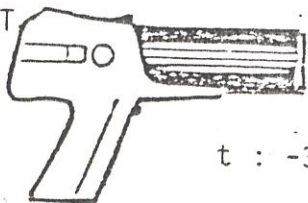
FIG. 4.1.3.- INSPECCION VISUAL DE LOS FLANCOS

PYROTERM 8500

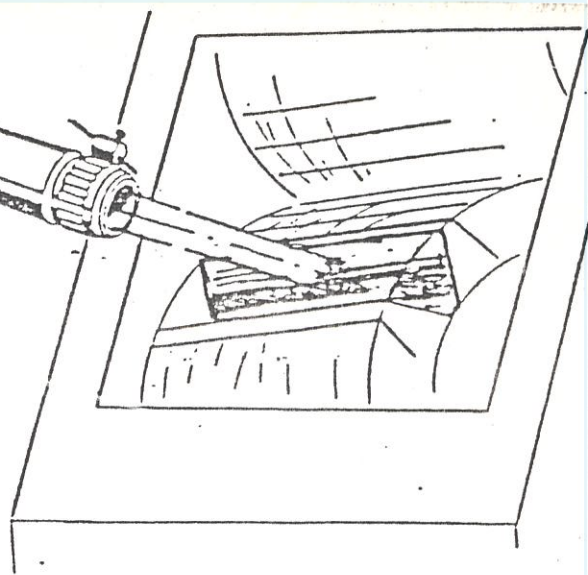


$T : 50^{\circ} - 700^{\circ}\text{C}$

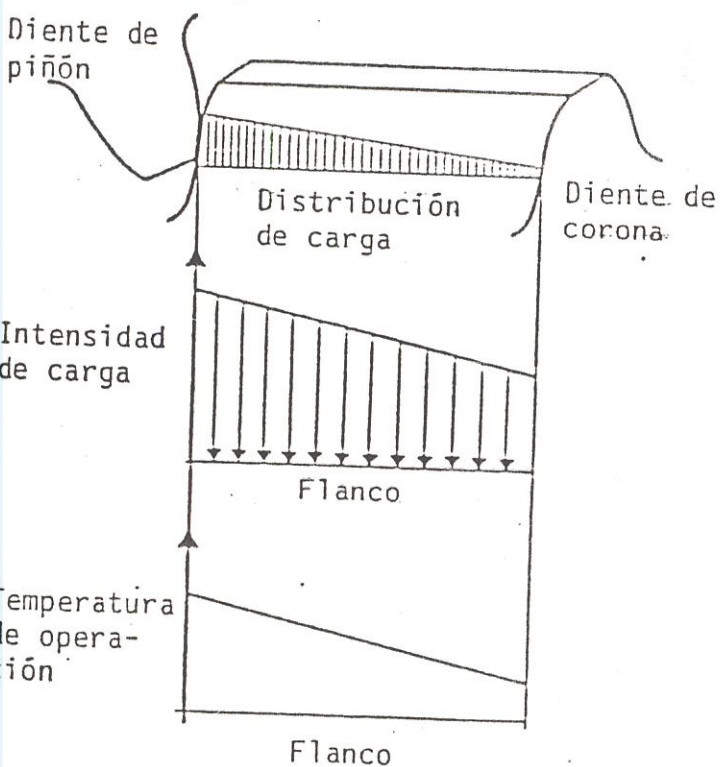
RAYNGER II LT



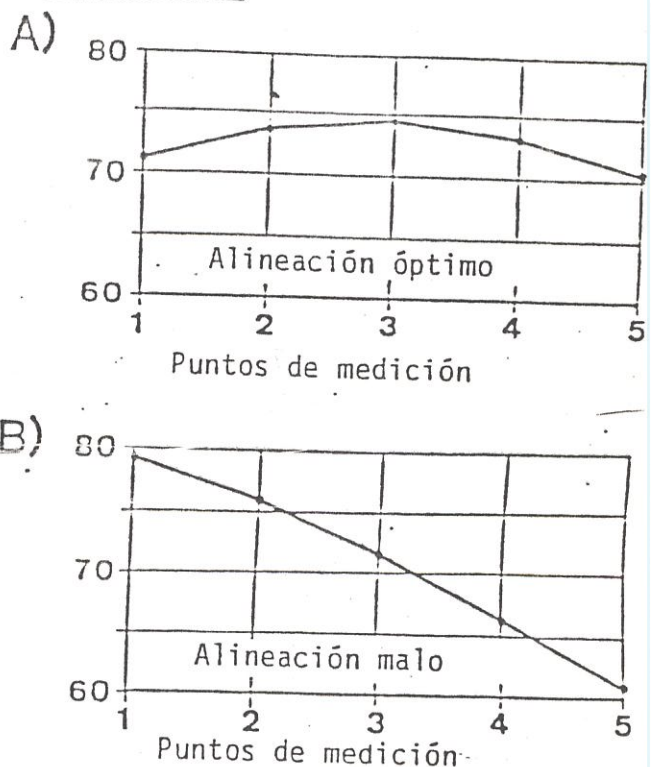
$t : -30^{\circ} - 1400^{\circ}\text{C}$



### PRINCIPIO



### EJEMPLO



- Observe : . Distancia correcta  
 . Coeficiente de emisión correcto (aprox. 0.8)

RAYNGER II LT

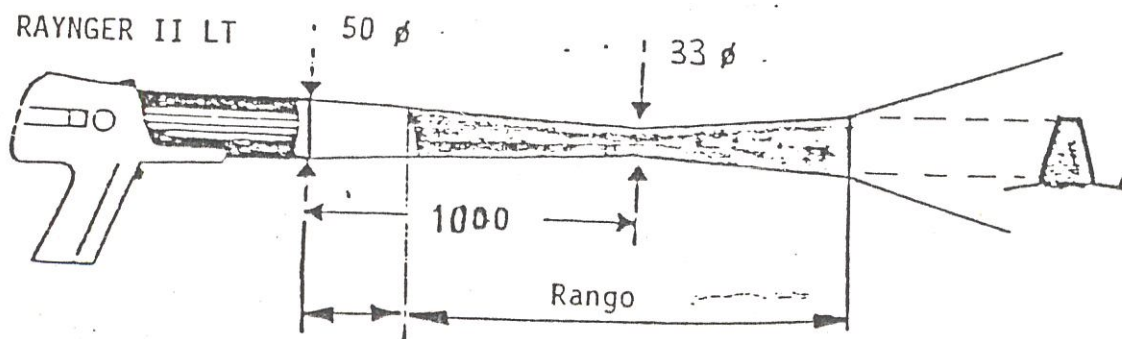


FIG. 4.1.4.- MEDICION DE LA TEMPERATURA DE LOS FLANCOS.

contacto del flanco del diente en los engranes. Con una cinta adhesiva transparente se pueden obtener los trazos del flanco. La cinta se pega sobre un papel blanco para la documentación.

Por este medio, tienen que revisarse 4 a 8 dientes distribuidos alrededor de los engranes, ya que se pueden reconocer daños mayores de la impresión, esta se puede usar también para documentar daños.

e) Laca de prueba para engranes.

Una laca de color a prueba de aceite se aplica a la superficie de contacto de los dientes limpios del piñón y la corona. Después de girar el mando por algún tiempo (con el mando principal o el auxiliar), desaparece la laca y las áreas de contacto aparecen. Se pueden documentar tomando fotografías.

f) 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 y más adelante puede medirse y registrar su espesor. Puede aplicarse este método en engranes con juego amplio entre dientes (arriba de 2 a 3 mm). También se puede

usar este método para documentar daños más grandes en superficies.

g) Impresión con silicón (figura 4.1.5).

Se cubre la superficie del diente con una capa de silicón líquido. La estructura de la superficie se reproduce en detalle. La impresión se puede usar para documentar daños así como la rugosidad de la superficie.

#### 4.2. MEDICION DE ALINEAMIENTO AXIAL Y RADIAL Y JUEGO DE ENGRANAJE PIRON Y CORONA.

a) Medición del alineamiento axial.

Para chequear el alineamiento axial de la corona, se quita la defensa de la misma, y utilizando dos indicadores de caratula colocados sobre una de las caras de la misma y a  $180^\circ$ , se toman lecturas en 12 puntos preestablecidos alrededor de la circunferencia (figura 4.2.1), haciendo girar a la corona una vuelta completa, se obtiene los resultados observados en la figura 4.2.2.

MAXIMO DESALINEAMIENTO AXIAL 0.0175".

PARA LA CORONA DEL HORNO DE DIAMETRO EXTERIOR 4644 mm EL DESALINEAMIENTO AXIAL ESTA DENTRO DE LOS LIMITES PERMITIDOS.

b) Medición del alineamiento radial.

Para medir el alineamiento radial de la corona, se

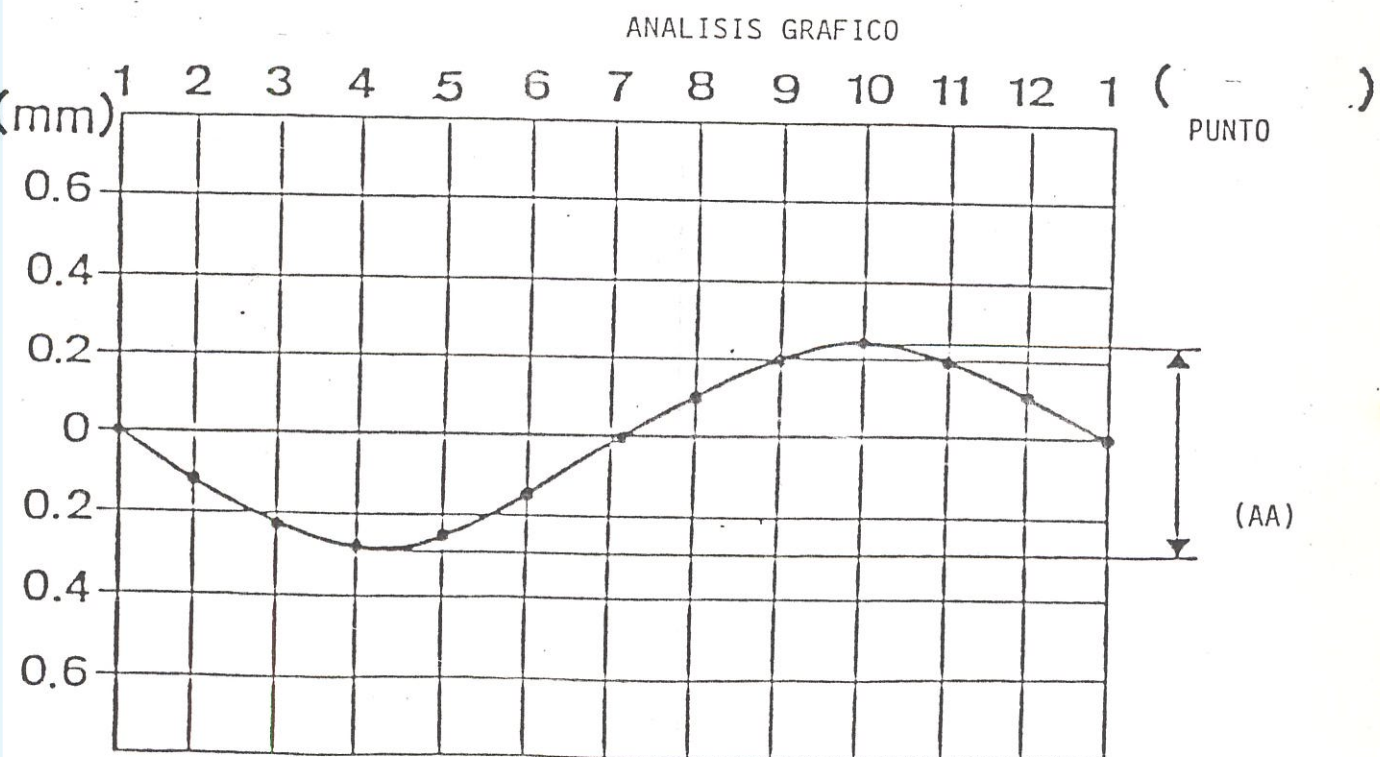
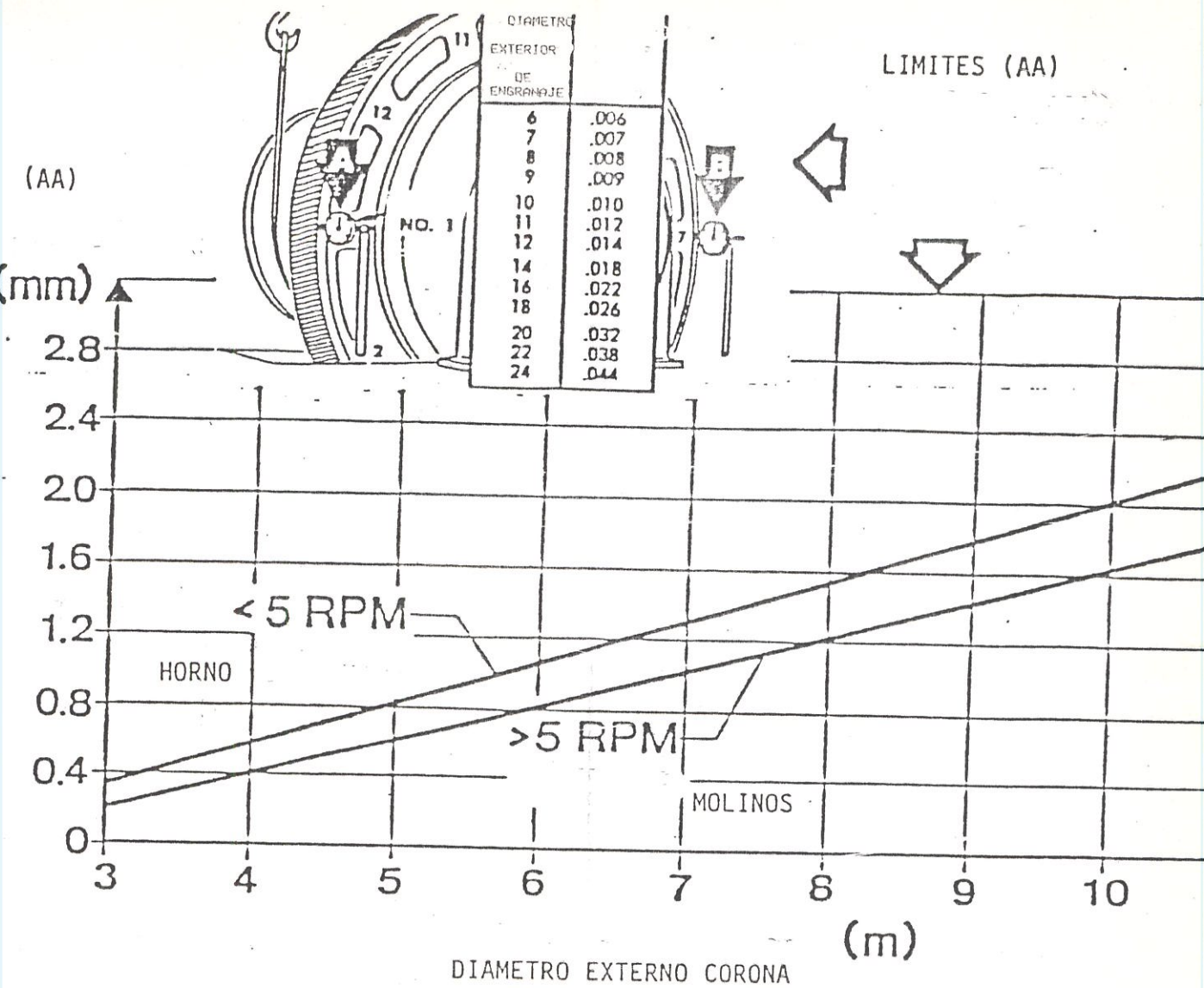


FIG. 4.2.1.- MEDICION DE LA ALINEACION AXIAL DE CORONAS.

PUNTOS	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
LECTURA A	2	0	18	25	4.5	-2.3	6.8	11.3	10.1	2.3	-9	-16.9	5.6	16.9
PUNTOS	3	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7
LECTURA B	4	0	9	6.8	-20.3	-29.3	-18	-6.8	1.1	2.3	-2.3	-7.9	12.4	16.9
LINEA 4 SIGNO INV.	5	0	-9	-6.8	20.3	29.3	18	6.8	-1.1	-2.3	2.3	7.9	-12.4	-16.9
LINEA 2 REPETIDA	6	0	18	25	4.5	-2.3	6.8	11.3	10.1	2.3	-9	-16.9	5.6	16.9
SUMA ALG. DE 5 Y 6	7	0	9	18.2	24.8	27	24.8	18.1	9	0	-6.7	-9	-6.8	0
MAXIMOS 7 / 2	8	0	4.5	9.1	12.4	13	12.4	9	4.5	0	-3.4	-4.5	-3.4	0

MAXIMO DESALINEAMIENTO AXIAL 0.0175" PARA LA CORONA DEL HORNO DE DIAMETRO EXTERIOR 4644 mm,  
LE ESTA PERMITIDO UN DESALINEAMIENTO AXIAL DE 0.020".

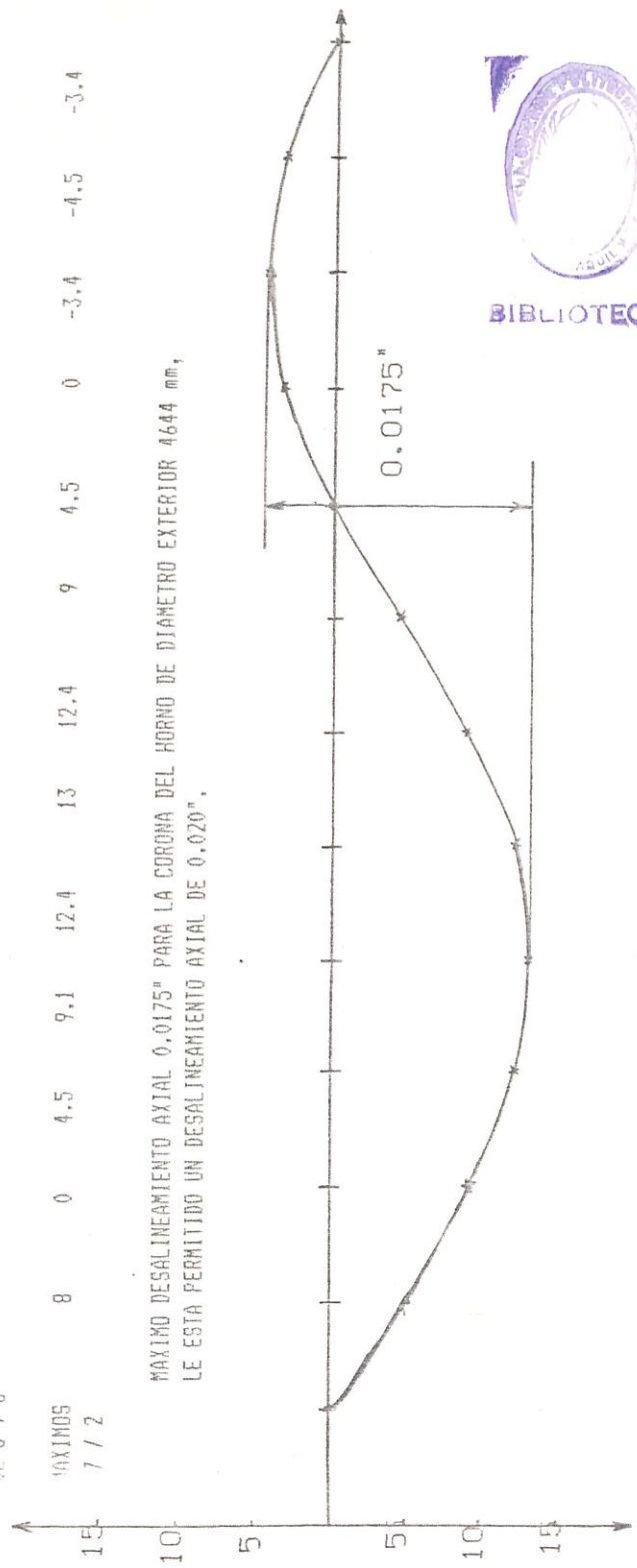


FIG. 4.2.2.- GRAFICO DEL DESALINEAMIENTO AXIAL.

instala un indicador de carátula sobre la superficie maquinada de la ceja interior de la corona dentada y se toman las medidas en los 12 puntos preestablecidos alrededor de la circunferencia (figura 4.2.3), haciendo girar a esta una vuelta completa, así se obtienen los resultados de la figura 4.2.4.

MAXIMO DESALINEAMIENTO RADIAL 0.024 ".

PARA LA CORONA DEL HORNO DE DIAMETRO EXTERIOR 4644 mm EL DESALINEAMIENTO RADIAL ESTA EN LIMITE PERMITIDO.

En caso de necesitar ajustes radiales se colocan laines entre la corona y su soporte, aflojando los pernos de sujeción; después se reajustarán los pernos al torque especificado.



BIBLIOTECA

c) Medición del juego entre dientes (figura 4.2.5).  
Juego entre dientes de piñón y corona permitido para el horno es de 3 mm (tabla 1).

Distancia entre centros de engranajes 2619 mm.

Módulo de los dientes 27.

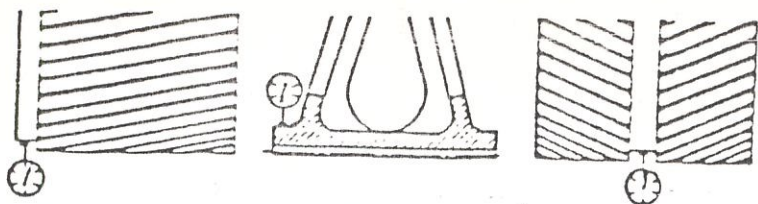
Diferencial de temperatura en operación AT 30°.

#### 4.3. AJUSTE DE ENGRANAJES.

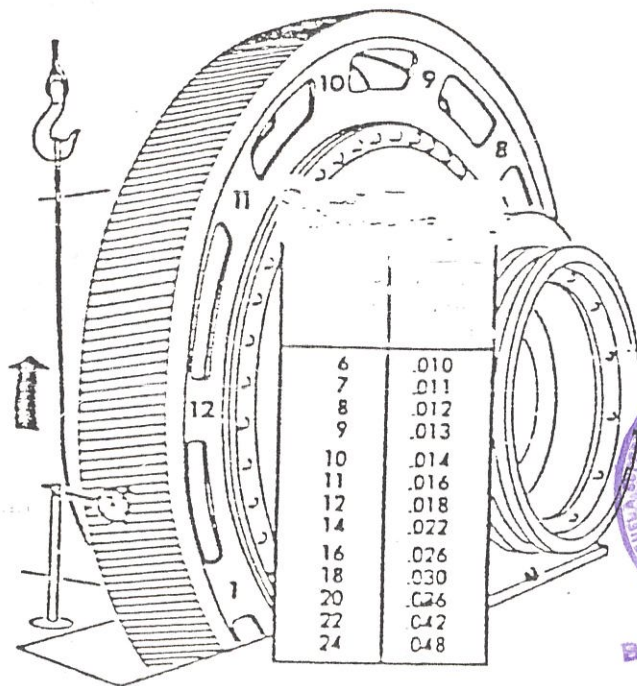
Después que se realizaron los ajustes del piñón y la corona debe alinarse hacia atrás el resto del equipo de accionamiento.

a) Acople del piñón con eje de mando

# MEDICION DE LA ALINEACION RADIAL (AR) DE CORONAS



Borde sello    Anillo interior    Entre engranes



Limites (AR)

En cresta  
del diente

(AR)

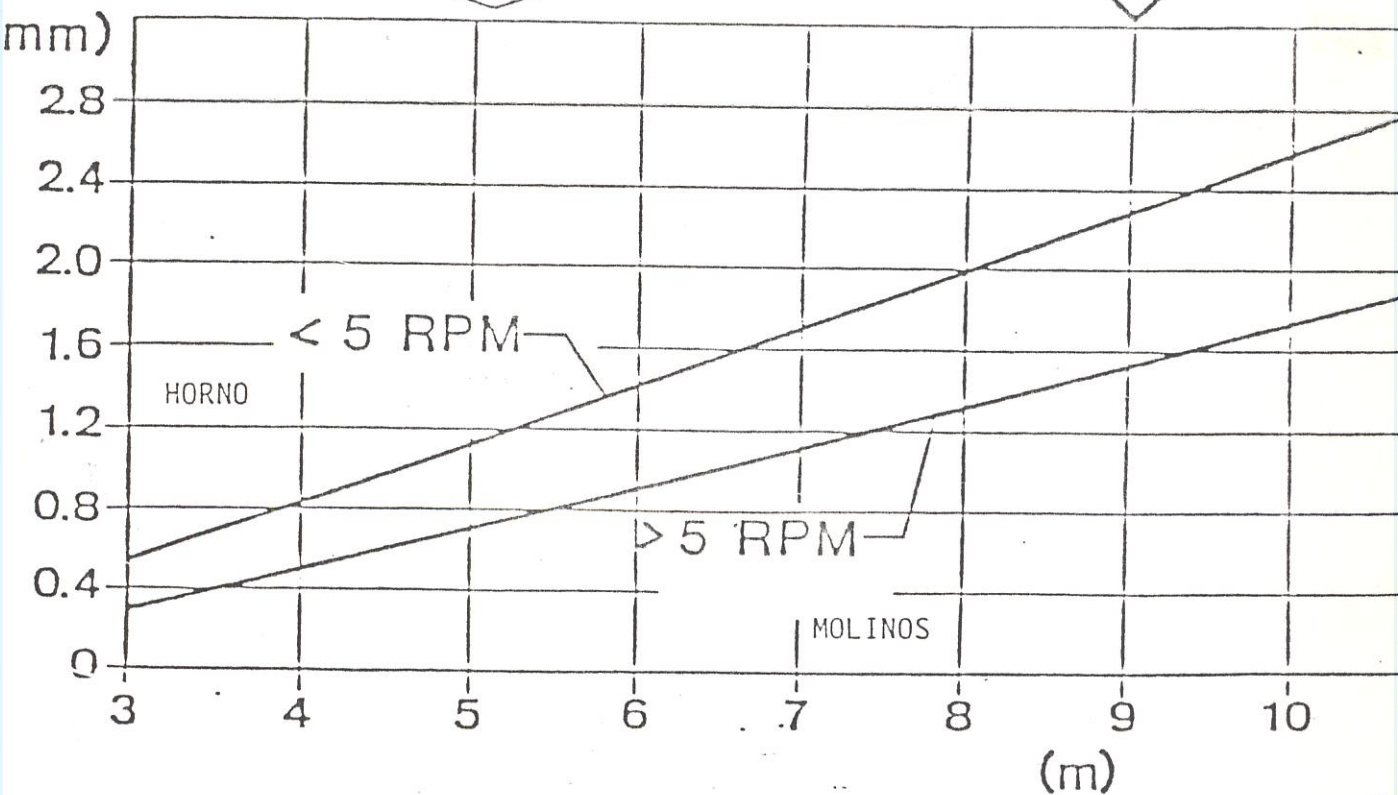


FIG. 4.2.3.- MEDICION DE LA ALINEACION RADIAL DE CORONAS.

# DESALINEAMIENTO RADIAL

PUNTOS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1
LECTURA	0	4.8	6	4.8	0	-6	-12	-16.8	-18	-16.8	-12	6	0

MAXIMO DESALINEAMIENTO RADIAL 0.024" PARA LA CORONA DEL HORNO DE DIAMETRO EXTERIOR 4644 mm,  
EL DESALINEAMIENTO RADIAL ESTA EN LIMITE PERMITIDO.

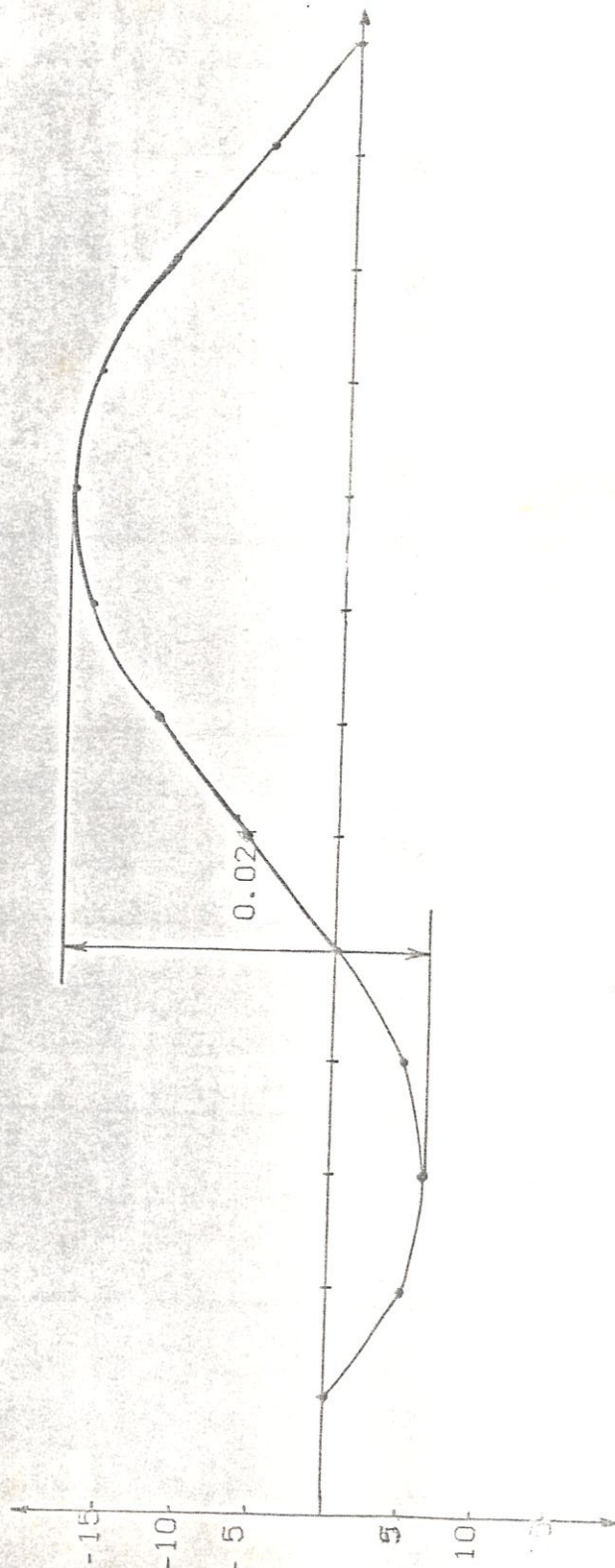
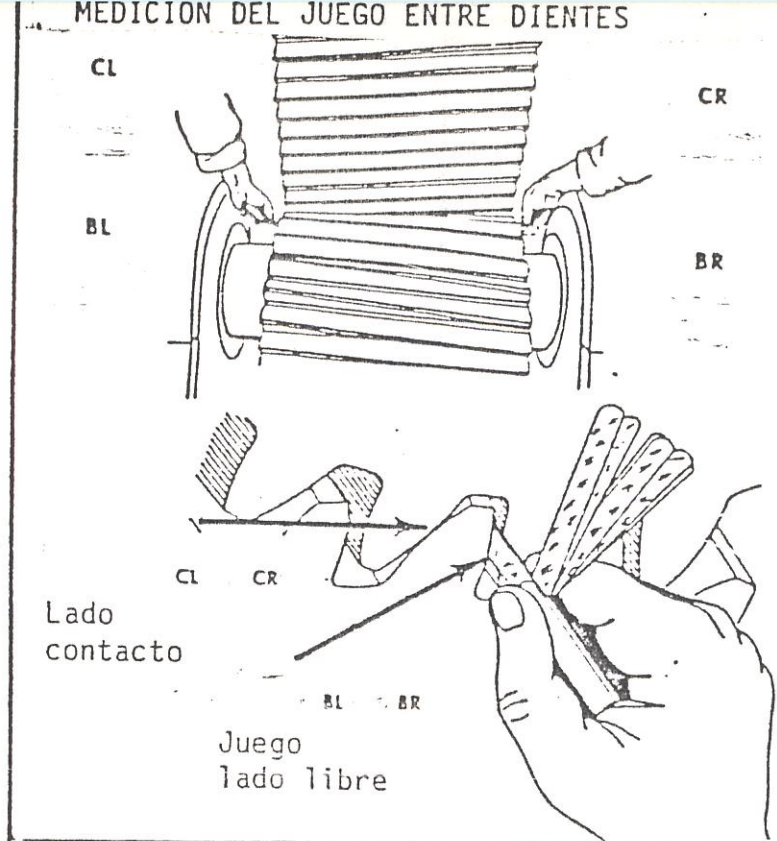


FIG. 4.2.4.- GRAFICO DEL DESALINEAMIENTO RADIAL.

Izquierda

## MEDICION DEL JUEGO ENTRE DIENTES

Derecha



CL, CR

Juegos lado  
contacto

BL, BR

Juegos lado  
libre

Juego total =

CL + BL

CR + BR

FALK

HORNOS

## RECOMENDACION

PARA JUEGO

MODULO (mm)	DISTANCIA ENTRE CENTROS 2 - 4 m
20	3.68 - 3.95 mm
25	3.56 - 3.81 mm
30	3.43 - 3.68 mm

DIFERENCIA TEMPERATURA (C)	MODULO (mm)	DISTANCIA ENTRE CENTROS 2 - 4 m
0 - 10	20 - 25	2.16 - 2.41 mm
	30 - 60	2.03 - 2.29 mm
10 - 20	20 - 25	2.54 - 2.79 mm
	30 - 60	2.41 - 2.67 mm
20 - 30	20 - 25	2.92 - 3.18 mm
	30 - 60	2.79 - 3.05 mm
30 - 40	20 - 25	3.18 - 3.43 mm
	30 - 60	3.05 - 3.30 mm
40 - 50	20 - 25	3.56 - 3.81 mm
	30 - 60	3.43 - 3.68 mm

MOLINOS

FIG. 4.2.5.- MEDICION DEL JUEGO ENTRE DIENTES.

POSICION RELATIVA DE LA CORONA	CONTACTO		JUEGO ENTRE DIENTES	
	IZQUIERDO (PULG)	DERECHO (PULG)	IZQ.	DER.
PUNTO DE PARTIDA				
90 °	0	0.002	0.112	0.116
180 °	0.001	0.001	0.117	0.116
270 °	0.003	0	0.116	0.118
			0.117	0.117

TABLA 4.2.1.1.- MEDICION DEL JUEGO ENTRE DIENTES

- b) Acople eje de mando con reductor
- c) Acople reductor con motor principal
- d) Acople de reductor con reductor auxiliar
- e) Acople del reductor auxiliar con el motor auxiliar.

Para el alineamiento de cada una de estas unidades se tomarán las especificaciones del manual del proveedor de los equipos.



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. VERIFICACION DE RESULTADOS Y CHEQUEOS

Una vez realizados los trabajos de cambio de tramo del horno, se ha podido obtener resultados comparables a los que se hubieran conseguido con una asistencia técnica internacional contratada para este fin, es más se ha podido realizar campañas de producción más largas, llegando a sobrepasar los tiempos estimados de vida útil del ladrillo refractario en dos ocasiones y, en términos generales el consumo de los mismos ha disminuido considerablemente.

Otros logros alcanzados por esta gestión son:

- 1.- Se disminuyó el consumo de energía del motor principal, dado que en los actuales momentos, el amperaje tomado a plena carga es de 45 amp., mientras que, antes de efectuarse la reparación no se podía bajar de los 60 amp. con el mismo motor.
- 2.- Por otro lado la capacidad actual del horno también mejoró, teniéndose actualmente una producción de 440 toneladas de clinker/día.
- 3.- Existe en el país la capacidad suficiente para ejecutar trabajos de esta envergadura con los equipos y maquinarias existentes en la actualidad.

- 4.- Las técnicas usadas para la conformación del tubo del horno por anillos segmentados, permiten conseguir el dimensionamiento del horno sin problemas mayores.
- 5.- El material seleccionado para la ejecución del trabajo, cumple a cabalidad con las exigencias requeridas, no siendo imprescindible seguir las recomendaciones estrictas de los fabricantes.

#### RECOMENDACIONES:

- 1.- Se recomienda realizar un programa de control a las zonas críticas, con frecuencia semanal a las partes exteriores y por el lado interior del horno, cuando sea posible durante las paradas del equipo para reparación de refractarios.
- 2.- Se recomienda usar los métodos de control aquí usados, tanto para las inspecciones como para el montaje, ya que son de alta confiabilidad.
- 3.- Los resultados positivos de esta experiencia, han permitido programar nuevas reparaciones en unidades similares, ya que resultaron técnica y económicamente ventajosas para la empresa.
- 4.- Considerando los puntos anteriormente señalados, es posible efectuar los trabajos en el momento que la necesidad lo amerite, sin tener que tomar decisiones tardías que en fin de cuentas resultan más costosas.



BIBLIOTECA



## 5.2. DOCUMENTACION Y GRAFICOS.

### BIBLIOGRAFIA

1. KHD HUmboldt, Instrucciones de Ajuste para Hornos Rotativos, Tambores de Secado y de Enfriamiento (Colonia , RFA:HUmboldt Wedag).
2. KHD HUmboldt, Rotary Kiln Plants (Colonia, RFA: Humboldt Wedag)
3. R. Chapman, Recomended Procedures for Mechanicals Analysis of Rotary Kilns, (Bethlehem, USA: Fuller Company, 1985).
4. L. Kaminsky, Prontuario del Cemento, (IV edición; Barcelona, España: Editores Técnicos Asociados S.A., 1970).
5. B. Saker, Dispositivo Para Medir La Deformación De La Carcasa Del Horno Siatem Holderbank (Holderbank, Suiza: Centro Técnico Holderbank Proceso y Tecnología).
6. F. Roseblad, Detecting and Measuring Radial Deformations of Rotary Kilns, (Slockholm, Sweden: AB. Inter-Cemex, 1954).
7. H. Herchenbach y A. Wolter, Criterio que Determina el Empleo de Horno Rotativo Corto para la Producción de Cemento, (Koln, RFA: ZKG Internacional).
8. J. Fourneau, A New Method for Lining Rotary Cement Kilns, (Obourg, RFA: Ciments d' Obourg, 1968).

9. Ajuste de Rodillos del Horno, Volumen 3  
(Holderbank, Suiza: Holderbank Mangement Services  
S.A., 1986).
10. D. Giencke, A Guide to Rotary Kiln Aliqment and  
Maintenance (Arizona, USA: Internacional Lime).
11. R Bliemeister, On the maintenance Of Rotary Kilns  
(Wisconsin, USA, 1965).
12. The Falk Corporation, Falk Instructions for  
Installing and Alligning Gears (Wisconsin, USA:  
Falk Ring).

