



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

**DISEÑO DE PASES PARA LAMINAR UN  
REDONDO UTILIZANDO UN TREN CONTINUO**

**T E S I S  
MANCOMUNADA**

**Alejandro López Vargas  
Manuel Enrique Cázares Alarcón**

**INGENIERO QUIMICO METALURGICO**



**1985**



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE    PROFR. ANDRES HERRERA VAZQUEZ  
VOCAL                "        CANDIDO ATLATENCO TLAPANCO  
SECRETARIO        "        GUILLERMO ANTUNEZ CABEL  
1er. SUPLENTE    "        TERESITA ROBERT NUÑEZ  
2do. SUPLENTE    "        BERNARDO FABIAN CAMPILLO    ILLANES

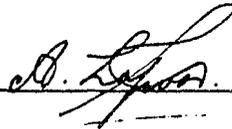
Sitio donde se desarrolló el Tema: FACULTAD DE QUIMICA Y ACEROS  
ECATEPEC, S.A.,

ASESOR DEL TEMA:    I.Q.M. GUILLERMO ANTUNEZ CABEL

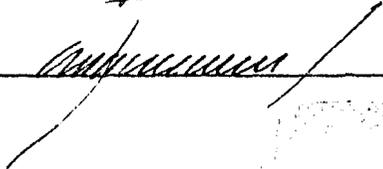


SUSTENTANTES:

ALEJANDRO LOPEZ VARGAS



MANUEL ENRIQUEZ CAZARES ALARCON



- UNIDAD I.-        Introducción
- UNIDAD II.-       Antecedentes Históricos
- UNIDAD III.-     Panorama Económico de los Productos Laminados
  - III.1.    Antecedentes
  - III.2.    Producción siderúrgica nacional
  - III.3.    Consumo nacional aparente
- UNIDAD IV.-     Descripción del Area de Laminación
  - IV.1.    Nave de laminación
  - IV.2.    Horno de calentamiento
  - IV.3.    Tren desbastador frío
  - IV.4.    Sistema intermedio
  - IV.5.    Sistema en tándem
  - IV.6.    Dispositivos para el guiado de la barra
    - IV.6.1.- guías de entrada y salida
    - IV.6.2.- guías de torsión y volvedores de onda
- UNIDAD V.-     Principios Básicos de Laminación
  - V.1.    Conceptos generales
  - V.2.    Mecanismos de agarre
    - V.2.1.- ángulo de contacto
    - V.2.2.- fuerzas de fricción y compresión
  - V.3.    Características del coeficiente de fricción en laminación
    - V.3.1.- fricción deslizante
    - V.3.2.- fricción adherente
  - V.4.    Velocidad de laminación
  - V.5.    Parámetros geométricos en la laminación.
- UNIDAD VI.-    Calibrado para la Laminación de un Redondo menor de una pulgada
  - VI.1.    Características de la secuencia cuadrado-óvalo

- VI.2. Características de la secuencia óvalo-redondo
  - VI.3. Calibración de un redondo liso de 15 mm.
  - VI.4. Reducción en altura y ensanchamiento
  - VI.5. Comparación de 3 métodos distintos de laminación
- UNIDAD VII.- Medidas que deben Considerarse en la Laminación de Redondos.
- VII.1. Calentamiento de la palanquilla
  - VII.2. Calibrado correcto de los canales
  - VII.3. Ajustes del molino
    - VII.3.1. desplazamiento de los cilindros con relación a la línea de laminación.
    - VII.3.2. colocación inadecuada de guías de entrada y salida y desgaste de las mimas
    - VII.3.3. deficiencias del calibrado
- UNIDAD VIII.- Conclusiones
- UNIDAD IX.- Bibliografía

## INTRODUCCION

El proceso de laminación y particularmente la laminación en caliente está asociado con el desarrollo tecnológico de la industria metalúrgica, la cual ha avanzado a grandes pasos durante la última década. El conformado de productos metálicos de características muy variadas puede llevarse a cabo bajo este proceso, dada la adaptabilidad que presenta para trabajar con distintos diseños.

En el transcurso de la historia, la laminación ha sido siempre un tema de interés que ha mantenido bajo estudio un sinnúmero de personas en busca de nuevas técnicas para mejorar el proceso. Sin embargo, ésto no es una tarea fácil; la búsqueda de nuevos métodos de optimización para la producción requiere de tiempo, dedicación y mucha observación, para poder obtener buenos resultados; sin mencionar toda una serie de obstáculos que pudieran presentarse. Particularmente en el proceso de laminación, la manera de como diseñar pasadas es aún una técnica muy obscura, debido a que no puede seguirse un patrón único para poder llegar a tener resultados favorables dada la versatilidad que presentan los diferentes molinos de laminación.

Estando conscientes de los problemas que representa es difícil tarea, fuimos motivados a realizar el presente trabajo que va encaminado de una manera sencilla e numerar algunos de los factores que influyen directamente en la laminación, sin llegar a profundizar demasiado en cada uno de ellos.

De esta manera, el capítulo V comprende una formulación práctica para obtener una secuencia de pasadas para laminar una barra redonda de pequeñas dimensiones, teniendo como herramienta un tren mixto. Los capítulos anteriores y posteriores a éste (excepto los capítulos I y II que tratan de antecedentes históricos económicos) se dedican a la descripción total del área de laminación con los problemas comunes que ésta presenta.

La idea de este trabajo es presentar de manera sencilla los principios básicos de un calibrado, utilizando los parámetros que comprenden la laminación de redondos de pequeña dimensión.

Para la realización de este trabajo se usó una secuencia mixta cuadrada —Óvalo— redonda, considerando que es la manera más usual de laminar un redondo, la cual se apega sin grandes dificultades a un equipo de molino continuo, permitiéndole las reducciones necesarias para poder llevar a cabo la laminación de este tipo de productos.

Además, se desea difundir una de las muchas formas que existen para calcular las pasadas para laminar redondos lisos, ya que no hay la suficiente información para realizar este tipo de trabajo a causa de que la laminación siempre ha sido una cuestión práctica y la gente que la ha llegado a dominar nunca ha tenido la inquietud de escribir sus experiencias; de tal modo que la poca información que pudiera existir no se transmite.

## UNIDAD II

### ANTECEDENTES HISTORICOS

No hay información precisa sobre los primeros intentos del hombre por aplicar trabajo mecánico a los metales; tal información se perdió por no haberse registrado.

Es posible que los molinos de laminación hayan tenido su origen en los antiguos molinos de moler caña; en la India por ejemplo, al igual que en Egipto, se hizo esto usando dos rodillos. Pietro Speciale de Sicilia hizo un molino de azúcar trío, en 1449, con los tres rodillos impulsados a través del mismo engranaje que el rodillo central, los rodillos usados para este tipo de aplicación fueron originalmente de madera, aunque posteriormente en Inglaterra se comenzaron a hacer de hierro vaciado, en la región de Derby, hacia el año de 1650.

Leonardo Da Vinci hizo los primeros dibujos para trabajar metal en 1486. Incluía rodillos de apoyo de corta longitud de tabla; se cree que el molino de Leonardo Da Vinci nunca se construyó. Posteriormente hacia el año de 1553 se utilizaron rodillos planos para la laminación en frío de oro y plata utilizados para la acuñación de monedas; pero sólo hasta 1590 se aplicó un molino por primera vez, para el trabajo en caliente del hierro. Este molino lo usó en Dartford Kent, Godefroi de Bochs. Poco tiempo después, hicieron su aparición los rodillos de hierro templado, utilizados por John Hanbuy en Pontypool Inglaterra, en un molino para laminar hojalata de 120

mm.x 60 mm.. Hasta esta fecha Alemania había monopolizado el mercado inglés de hojalata, produciendo lámina por el método de laminación, en lugar del método de forja.

En 1728 se llevaron a cabo dos avances significativos. Primero se suministro un molino de Inglaterra a Francia, destinado principalmente para la laminación en frío de láminas de plomo, utilizando rodillos lisos de 360 milímetros de diámetro por 1500 mm. de longitud. Este era un molino reversible que utilizaba un embrague y engranajes, que contaba además con dos metros y medio de mesa de rodillos, adelante y atrás de los rodillos de trabajo. Era movido por un toro impulsado por caballos. Poco después John Payne obtuvo una patente que mostraba cómo las barras forjadas se hacían pasar entre dos grandes rodillos que tenían ranuras o pases apropiados sobre su superficie, para darle al material la forma deseada.

Este en principio se aplicó por primera vez en 1747 en un molino de Essone, Francia, que usaba un rodillo liso en la parte inferior, y un rodillo superior con pases a fin de obtener la forma requerida. Este molino era movido por una rueda de agua. En 1746 Christopher Polhem publicó su "Patro-tiska Testamente" en el cual hablaba acerca de un molino de laminación para hierro en barras y material para aros y decía que se podían producir rodillos para barras de hierro y acero de sección cuadrada, redonda, o medio redonda. A Polhem se le conoce como el padre del Molino "Lauth" (en el que se utilizan tres rodillos) debido a su visión de que para una reducción dada resulte un par menor y una menor carga de rodillos, si se uti-

lizan rodillos pequeños de trabajo.

Tiempo después, John Purnells, da un avance más con el uso de rodillos maquinados y la introducción de la caja de piñones, que redujo considerablemente el desgaste que hasta este momento había sido muy alto, debido a que los rodillos se movían a diferentes velocidades.

En este mismo año Thomas, George Granage y Henry Cort, desarrollaron el horno de reverbero por aire, para producir hierro maleable de mucha mejor calidad por un proceso y en 1783 H.Cort hizo uno de los avances más grandes en el laminado de secciones, introduciendo rodillos de desbaste para trabajar directamente con el hierro y eliminar todo el forjado en esta etapa; la barra así tratada se apilaba y después se relaminaba a una sección correcta, a través de más rodillos ranurados, según su sideño. La producción por este método tuvo un aumento ascendente, además que se podían producir barras cuadradas, redondas y medio planos.

A partir de estos acontecimientos, el desarrollo de laminación empezó a tener un gran auge, permitiéndo crear productos cada vez más complicados, aun que tuvo que pasar un tiempo antes de que se laminarán secciones más sofisticadas.

El primer ángulo que se laminó en América se hizo en Pittsburgh en 1819, aunque en Inglaterra ya se venían laminando con anterioridad. En 1820 John Birkinshaw diseñó pases cerrados por collares para la producción de ángulos, como es la práctica actual. Laminó los primeros rieles de hierro forjado en longitudes de 3 a 6 metros.

Antes de finalizar el siglo pasado se produjeron secciones cada vez más complicadas, ya que en 1856 Henry Bessemer le dió el primer golpe a la industria del hierro forjado con su método de convertir arrabio en acero. El golpe final lo dieron Siemens y Martín, con su proceso de hogar abierto que comenzó a producir acero aun más barato a partir de 1864, introduciéndose así el desbaste de los primeros lingotes por primera vez en Dowlais en 1866.

A partir de este momento, los diseñadores de pases tenían que modificar sus procedimientos a fin de adaptarse al comportamiento diferente del acero. Por otro lado, en el campo de la laminación de barras se gestaron varios cambios. Así, en 1825, dos hombres de Staffordshire introdujeron el proceso de laminación con guías redondas. El primer redondo verdadero fue producido por laminación a partir de un óvalo en una pasada, de manera opuesta al método tradicional de pasar varias veces la barra por el mismo acabador.

Este cambio se tradujo en un aumento en la productividad. El molino tipo Bélgica de ondas manuales destinado a laminar alambres de hierro hasta un cuarto de pulgada de diámetro, hizo su aparición en 1833, y también en este año la formación de ondas al laminar se utilizó en un estante trío en Inglaterra. La laminación con guías se convirtió en una práctica general en los molinos de barras; los molinos destinados a secciones empezaron a usarse en 1847 en Inglaterra y se perfeccionaron en America en 1857. Fritz patentó las guías separadoras, incluyendo las guías suspendidas rozando el rodillo superior.

En 1862 Bedson desarrolló el molino continuo, con estantes verticales y horizontales alternados, con capacidad de producir hasta 20 toneladas de alambrión en 10 horas, a partir de Billet de 30 mm. y utilizando 16 estantes. Aquí el diseñador de pases tuvo que desarrollar técnicas para balancear las reducciones y los diámetros de los rodillos, con el fin de prevenir demasiada tensión entre las cajas. Este tipo de molino fue modificado unos cuantos años después por Morgan en América, poniendo todos los estantes horizontales y colocando guías torcedoras entre cada una de las cajas.

En 1822 el primer molino de Garret para alambrión entró en funciones tomando billets desde el lingote sin recalentamiento, lo cual fue un paso en la búsqueda de mayor productividad.

El presente siglo ha sido testigo de la introducción de secciones más complicadas, y el diseñador aparte de tener que diseñar las pasadas tiene que trabajar con tolerancias más estrechas y con una gran variedad de aceros. Los grandes avances en el campo de la Ingeniería nos han dado motores más potentes, reversibilidad, más alta velocidad, así como otras muchas características que ayudan a una mayor producción y exactitud. Así, en la actualidad se tienen lingotes hasta de veinte toneladas, que alimentan algunos molinos primarios, y con tales cambios es evidente que el papel del diseñador de pases haya cambiado en gran medida.

Con el uso de equipo de alto costo, el deseo de un alto rendimiento y un bajo precio por tonelada sobre un producto; hace importante que un diseño de pasadas deba requerir un mínimo de alteracio-

nes una vez que se ha instalado en los rodillos del molino, inclusive ninguna variación debe ser necesaria, excepto los ajustes llevados a cabo por el maestro laminador. Un buen diseño de pases debe dar buena vida y buen tonelaje por pasada al mismo tiempo, además de producir el material dentro de especificaciones, antes de que los cilindros requieran de un nuevo rectificado.

## UNIDAD III

### PANORAMA ECONOMICO DE LOS PRODUCTOS LAMINADOS

#### Antecedentes

La industria siderúrgica nacional nace formalmente en 1900, con el establecimiento de la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, S. A., que fue la primera industria siderúrgica integrada del país. La capacidad inicial de esta empresa era modesta: 90,000 toneladas anuales, contando con un alto horno de 300 ton/día y tres hornos de hogar abierto tipo Siemens-Martín de 35 toneladas de capacidad. Sus laminadores producían riel y acero estructural. La operación de la empresa tuvo su inicio en el año de 1903.

No es sino hasta la quinta década cuando la industria siderúrgica mexicana, crece sustancialmente con el establecimiento de Altos Hornos de México, S. A., en la ciudad de Monclova, Coahuila y Hojalata y Lámina, S. A., en Monterrey, N. L.. A partir de la creación de estas empresas y, debido a la política de industrialización seguida por el país después de la Segunda Guerra Mundial, la industria siderúrgica nacional crece continuamente hasta alcanzar una capacidad de 4.8 millones de toneladas anuales de acero líquido, a principios de la década pasada. En 1971, las empresas del estado representaban un 43% de la capacidad instalada.

En 1972, debido al crecimiento previsto para esta industria, se iniciaron los más grandes proyectos de expansión que haya conocido la industria siderúrgica mexicana para llevarla a una capacidad de

9.5 millones de toneladas anuales aproximadamente, lo que representa en la actualidad un incremento de casi cien por ciento, en únicamente ocho años. De estos proyectos, los más importantes fueron la creación de la Siderúrgica Lázaro Cárdenas "Las Truchas", S. A., empresa completamente nueva, localizada cerca de los yacimientos ferríferos de Las Truchas, en Michoacán, la construcción de la planta No.2 de AHMSA en Monclova, y la expansión de Fundidora Monterrey S. A.. Por su parte, la empresa privada HYLSA, realizó expansiones de consideración en sus plantas de Monterrey y Puebla.

La capacidad instalada por empresas en términos de acero para 1980, alcanzó los 9.5 millones de toneladas, participando las empresas del estado con aproximadamente el 64%.

En la década de 1970-1980, la industria siderúrgica experimentó un crecimiento más rápido que el resto de la economía.

En términos de acero líquido y de producto terminado la producción aumentó a una tasa media anual de 6.8 por ciento y 8 por ciento respectivamente, observándose en este diferencial un incremento en el coeficiente de eficiencia como consecuencia de la introducción de mejoras tecnológicas, como aceración por convertidor de oxígeno (CBO) y la colada continua.

No obstante este elevado crecimiento, el consumo aparente de los productos siderúrgicos se incrementó con mayor dinamismo, siendo su tasa media de crecimiento anual de 9.1 y 8.6 por ciento en términos de acero líquido y producto terminado respectivamente. Esta disparidad produjo un importante aumento de las importaciones, que duran-

te el período de 1970-1973 crecieron a una tasa media anual de 26,1 y 41.6 por ciento en términos de volumen y valor respectivamente. Es conveniente aclarar que la tasa de crecimiento de las importaciones tanto en volumen como en valor, en los primeros años de esa década (1970-1972), fue relativamente baja, 3.4 y 5.9 por ciento respectivamente, lo que implica que la década de los 70's comenzó con un crecimiento de las importaciones relativamente pequeño, comparado al alcanzado al resto del período. Por su parte, la relación importación de producto terminado y consumo nacional aparente pasó de 5.6 por ciento en 1970 a 21.4 por ciento en 1979,

### III.2.- Producción Siderúrgica Nacional.

La producción total y principalmente la cantidad de acero destinado a laminación, seguía un curso normal ascendente durante los primeros años de esta década y a finales de la próxima pasada; por desgracia la contracción del mercado en la industria de la construcción, metal mecánica e industria automotriz, provocó que los fabricantes de insumos, tales como varilla corrugada, perfiles y barras macizas, registraran una considerable baja en la producción de materia prima y por ende de productos laminados.

A continuación se presenta en el cuadro No.1 las estadísticas que muestra la producción nacional, así como un análisis de los rubros que la forman; tomando el período comprendido entre 1978-1982, por estar completa su información.

Debido a que el presente trabajo va enfocado hacia productos laminados no planos, se considerarán sólo ciertos detalles que atañen a dichos rubros.

Como puede observarse en el cuadro No.1, la producción de acero total y productos laminados se incrementó año con año, hasta 1981, y en 1982 cada uno de estos rubros se ven disminuidos debido a la crisis económica que se acentúa más en este año.

Al considerar los tonelajes de productos laminados no planos respecto del total, notamos que éstos se hallan distribuidos en los siguientes porcentajes:

	1978	1979	1980	1981	1982
%	44.5	45.8	47.5	48.4	50.6

Total=(planos + no planos)

De la cantidad de acero destinada para la laminación se ocupa aproximadamente el 45% en la elaboración de productos laminados no planos y el resto para productos planos.

Dentro de los productos laminados no planos, se tiene una amplia variedad de productos que comprende desde varilla corrugada, barras macizas (en su mayoría redondos) y perfiles comerciales y estructurales.

### III.3.- Consumo Nacional Aparente.

Al igual que la producción, el consumo aparente de productos laminados registró un fuerte decremento en 1982, respecto al año anterior, debido a que diversos sectores industriales consumidores, se

PRODUCCION SIDERURGICA NACIONAL

1978-1982

CUADRO N° 1.

(Toneladas Métricas)

	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>	VARIACION en % 1982/1981
ACERO TOTAL	6 775 443	7 117 254	7 156 069	7 662 859	7 055 720	- 7.9
ACERO DESTINADO Para Laminación	6 710 505	7 024 254	7 046 998	7 573 077	6 994 354	- 7.6
a). AL CARBONO	6 439 980					
b). ALEADO	270 525	206 736	243 430	283 899	295 915	4.2
SEGUN EL PROCESO:						
De Hogar Abierto	1 505 694	1 466 910	1 349 902	1 317 779	1 079 531	- 18.1
De Horno Electrico	2 728 754	2 949 425	3 009 295	3 284 034	3 009 898	
De Convertidor de oxígeno	2 476 057	2 607 919	2 687 801	2 971 264	2 904 925	- 2.2
Productos Laminados						
T O T A L	5 233 974	5 814 333	6 171 848	6 362 426	5 734 848	- 9.9

Continuación...

	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>	<u>VARIACION</u> en % 1982/1981
NO PLANOS	2 327 572	2 663 001	2 932 685	3 079 778	2 902 290	- 5,8
a) Varilla Corrugada	1 134 092	1 275 676	1 509 935	1 606 016	1 475 566	- 8,1
b) Barras Macizas	177 245	250 412	202 742	209 031	184 715	- 11,6
c) Alambros	537 544	592 787	598 320	645 304	711 454	10,2
d) Perfiles Comerciales	256 269	279 602	322 563	298 890	290 689	- 2,7
c) Perfiles Estructurales	222 051	264 524	299 125	320 537	239 716	- 25,2

vieron afectados por la disminución de sus respectivos mercados a consecuencia de la crisis económica por la que atraviesa el país.

En los productos laminados no planos, se registró una baja de 24.4 por ciento en relación a la alcanzada en 1981, siendo los productos que se utilizan en la industria de la construcción los más afectados. Las barras macizas al igual sufrieron disminuciones, ya que los sectores consumidores, como la industria metalmecánica y la automotriz, también sufrieron descensos en sus mercados respectivos.

Por otro lado, el consumo de productos laminados planos sufrió una disminución de alrededor del 23.7 por ciento respecto al año de 1981, ocasionada por la contracción de la demanda en las diferentes ramas industriales consumidoras de productos planos, como la automotriz, aparatos domésticos, muebles para oficina etc..

En el cuadro No. 2, se presentan datos estadísticos que contienen las cifras del consumo nacional aparente durante el período 1978-1982, para los productos laminados planos y no planos.

La demanda de acero, en particular el acero especial grado maquinaria, ha ido aumentando año tras año, debido principalmente a la necesidad de enseres útiles para la industria metalmecánica automotriz.

La producción por tanto, de redondo liso de diferentes tamaños ha tenido que encaminarse hacia métodos de fabricación mucho más rápidos.

Hoy en día ha aumentado la demanda de barras redondas de diámetro pequeño para uso en la fabricación de tornillos, autorefacciones

CONSUMO NACIONAL APARENTE DE PRODUCTOS SIDERURGICOS

1978 - 1982

CUADRO N° 2.

( Producción + Importación = Consumo )

( T O N E L A D A S )

	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>	<u>VARIACION</u> en % 1982/1981
PRODUCTOS LAMINADOS T O T A L	5 536 474	6 435 116	7 973 681	8 596 375	6 465 671	- 24.8
NO PLANOS	2 201 670	2 754 919	3 500 114	3 890 214	2 941 779	- 24.4
Varilla Corrugada	935 345	1 177 176	1 627 722	1 892 043	1 367 478	- 27.7
Barras Macizas	1 046 635	333 433	306 105	304 296	224 904	- 26.1
Barras Huecas	7 559	8 427	10 195	11 203	15 485	38.2
Barras con otro Trabajo	4 799	6 699	12 790	13 129	11 167	- 14.9
ALAMBRO	540 458	591 911	643 730	724 201	670 661	- 7.4
Perfiles Comerciales	239 440	272 542	347 603	298 890	289 276	- 3.2
Perfiles Estructurales	200 292	265 680	367 013	444 699	265 729	- 40.2

	<u>1978</u>	<u>1979</u>	<u>1980</u>	<u>1981</u>	<u>1982</u>	<u>VARIACION</u> en % <u>1982/1981</u>
Perfiles Diversos	6 117	24 085	39 614	64 364	39 120	- 39.2
Rieles	39 025	74 966	145 312	137 389	57 959	- 57.8
PLANOS	3 048 887	3 285 960	4 084 234	4 148 054	3 165 835	- 23.7
PLANCHA	890 215	910 499	1 052 671	1 190 688	786 069	- 34.0
PLANOS DE Acero al Silicio	17 373	25 767	24 382	26 052	22 091	- 15.2
LAMINA EN FRIO	1 107 756	1 227 245	1 479 358	1 408 751	1 168 441	- 17.1
LAMINA EN CALIENTE	669 128	726 468	1 003 311	1 059 045	771 619	- 27.1
PLANOS INOXIDABLES	18 711	32 355	36 583	24 360	20 296	- 16.7
HOJALATA	298 531	308 329	373 116	307 980	288 163	- 6.4
LAMINA CROMADA	20 328	24 161	70 580	57 485	67 838	18.0
CINTAS TIRAS O FLEJES	8 694	17 399	23 614	28 793	13 038	- 54.7
PLANOS DIVERSOS	18 151	13 737	30 619	44 900	28 280	- 37.0

NOTA: La diferencia entre la suma de productos no planos y planos, respecto al total, corresponde a tubos sin costura.

y piezas pequeñas de maquinaria.

En México se ha impulsado la producción de redondos lisos hasta de 1/2 pulgada, en molinos continuos; no tocando diámetros menores, para no correr el riesgo de no poder competir ante un mercado tan fuerte como el de los países altamente industrializados y, por otro lado, por temor a no cumplir con la calidad requerida por las normas establecidas. Sin embargo, puede decirse que en su totalidad, el redondo de diámetro pequeño producido en México es consumido en el mercado nacional por industrias del tipo antes mencionado.

## UNIDAD IV

### DESCRIPCION DEL AREA DE LAMINACION

A continuación se da una explicación breve de como se halla distribuída una planta laminadora en su forma más común.

#### IV.1.- Nave de Laminación

El área de laminación es el lugar donde se lleva a cabo el maqui lado de palanquilla proveniente del colado contínuo para fabricar una variedad de productos de diferente sección. Esta nave está destinada exclusivamente para la laminación de barras redondas lisas menores de 1"pulgada en un porcentaje que no va más allá del 10% de la producción total, y el resto para producir varilla de diferentes secciones, también menores de 1"pulgada, aunque en el futuro se tiene planeado incrementar la producción de los primeros.

Esta área está compuesta en general por un patio de recepción de materiales, un horno de calentamiento de tipo contínuo, un tres desbastador trío, un sistema intermedio compuesto por cuatro cajas horizontales duos, un sistema tándem con cuatro cajas horizontales y ver ticales intercalados, y un lecho de enfriamiento, adyacente a un patio de almacenamiento de productos terminados. La figura No.1 esque matiza la distribución del área de laminación.

#### IV.2.- Horno de Calentamiento

Es uno de los componentes principales con que debe contar una área de laminación en caliente, para llevar el material a la tempe-

# DESCRIPCION DEL AREA DE LAMINACION

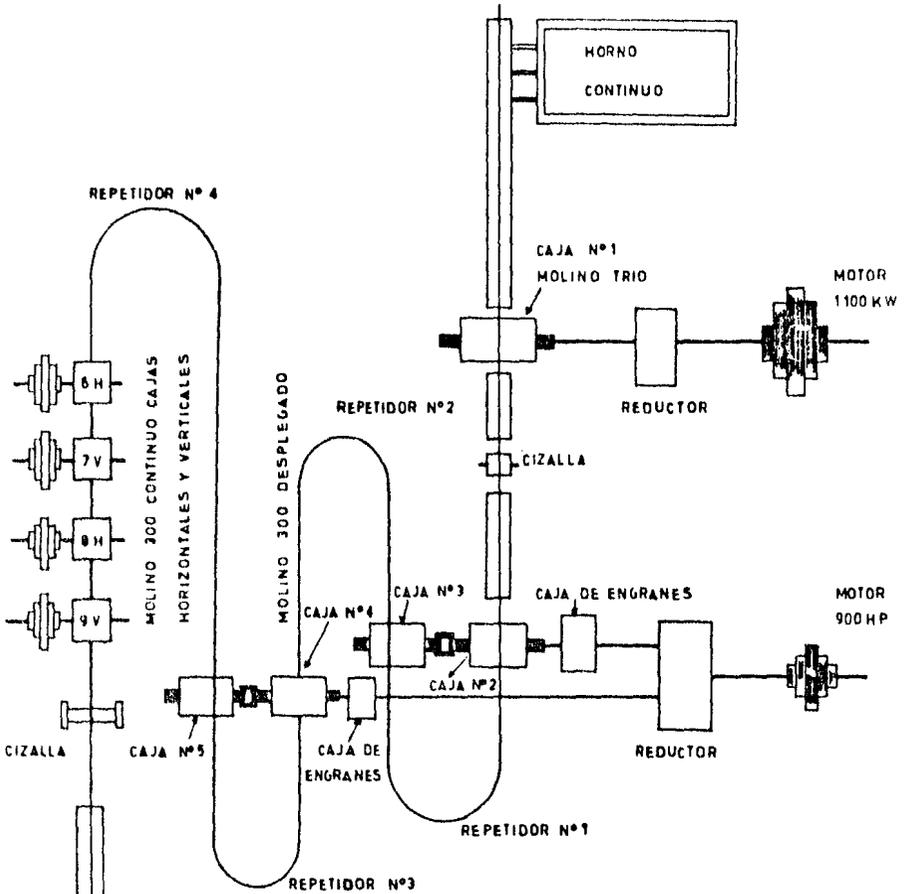


FIG 1

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

ratura adecuada de trabajo.

Para alimentar este horno, se cuenta con una mesa de recepción, donde tiende la cama de palanquillas, las cuales son empujadas hacia el interior del horno, mediante un sistema hidráulico, el cual puede ser accionado en forma manual.

La cámara del horno está constituida por tres zonas para ir acondicionando la palanquilla a la temperatura de trabajo.

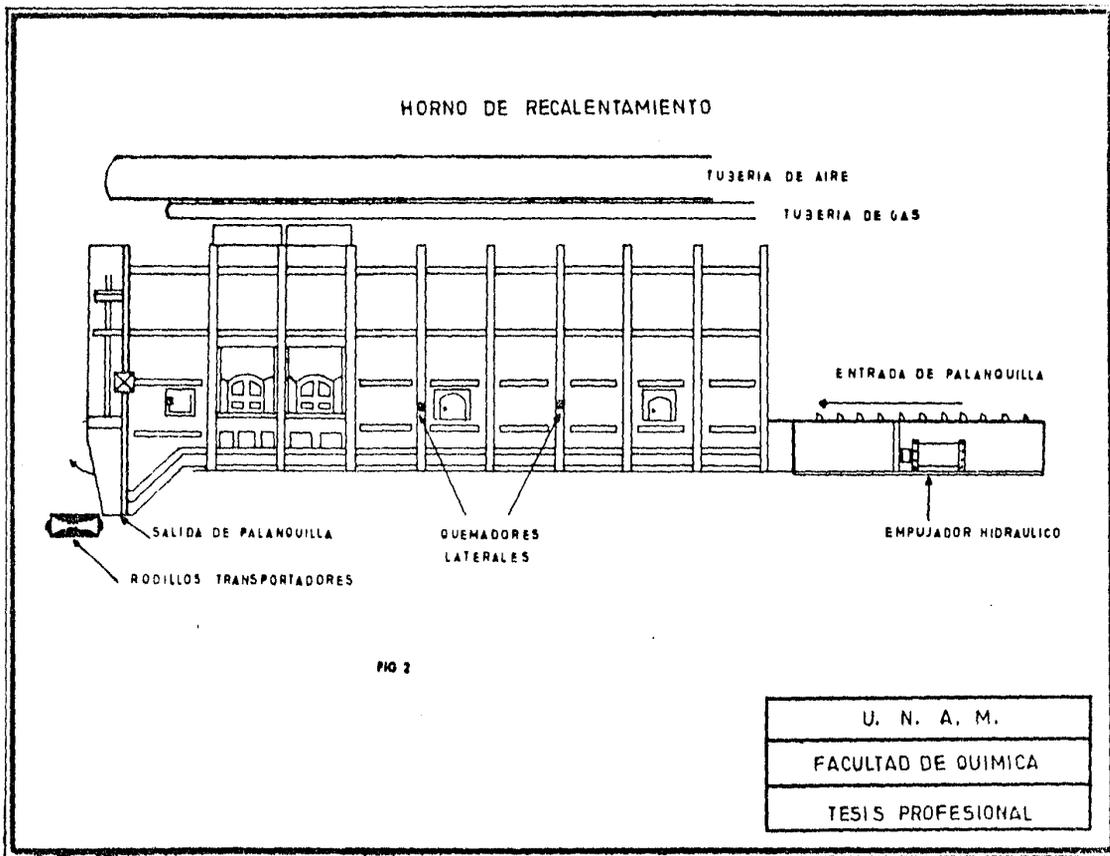
- a) Zona de precalentamiento, en donde el material alcanza una temperatura de 850°C.
- b) Zona de calentamiento, aquí se lleva el material hasta una temperatura aproximada de 1000°C.
- c) Zona de igualación ó zona de trabajo, en donde el material alcanza la temperatura de trabajo.

La figura No.2 nos muestra la localización de los diferentes componentes del horno.

Este horno de tipo industrial, es un horno de calentamiento de palanquillas del tipo empuje sin partes enfriadas por agua, cuyas dimensiones son 26 m. de largo por 4.40 m. de ancho; con 4 quemadores frontales (zona de igualación) y 8 quemadores laterales, 4 en la zona de calentamiento y 4 en la de precalentamiento.

La combustión llevada a cabo en este horno por los 12 quemadores, es originada por una mezcla de gas y aire.

La capacidad de producción máxima de este tipo de horno es de 25 ton/hr, para palanquilla de 4" x 4" por 4 m. de longitud, pudiendo variar para palanquillas de diferente dimensión.



El descargue es de tipo frontal, y el material es transportado hacia el tres desbastador trío mediante una mesa de rodillos giratorios.

#### IV.3.- Tren Desbastador Trío

Como su nombre lo indica, se compone de tres cilindros laminadores: un rodillo inferior, y un rodillo superior de ajuste variable y un rodillo central de ajuste fijo usado como referencia para el ajuste de los canales; además de contar con el utillaje necesario para su ajuste manual. La figura No,3 muestra detalladamente cada uno de los componentes del desbastador trío.

En este tren, que es en donde comienza la primera etapa de la laminación, se llevan a cabo las mayores reducciones de todo el proceso, aprovechando las propiedades plásticas con que cuenta el material, ya que aquí la palanquilla se encuentra con la mayor temperatura de trabajo.

En este tren se desbasta la palanquilla en cinco pasadas, de las cuales los últimos cuatro pasos tienen una secuencia óvalo cuadrado, en el que el óvalo es de los conocidos como óvalos planos o zeppelínes. El primer paso es un pase de caja, que se obtiene a partir de la palanquilla de 4" x 4" x 4 m., y el quinto y último es un cuadrado.

La barra es girada entre pasada y pasada 90° y 45°, siendo la primera para la secuencia óvalo-cuadrado y la última para la secuencia óvalo. Este giro del material puede llevarse a cabo en forma

MOLINO TRIO

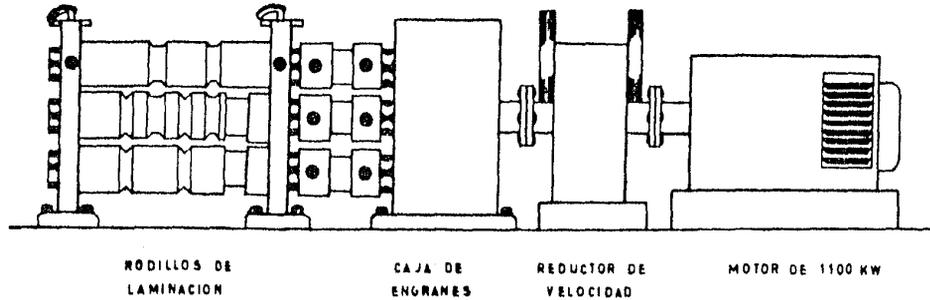


FIG 3

U. N. A. M.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

manual o por medio de placas deslizadoras que producen un mismo efecto de giro en la barra.

El último paso de este tren es enviado a una tijera despuntadora de corte automático, en donde se elimina la parte defectuosa de la barra ocasionada por el choque con los cilindros en los pasos anteriores.

La figura No. 3a esquematiza el despunte de la barra antes de entrar al sistema intermedio.

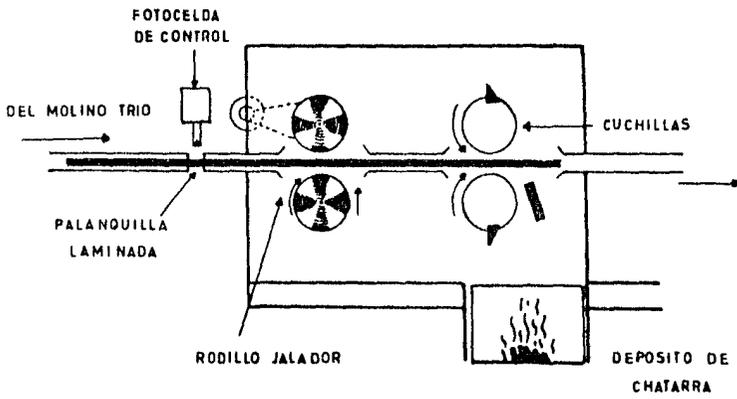
#### IV.4.- Sistema Intermedio

Este sistema está compuesto de cuatro cajas dúos, en donde el material es pasado una sola vez y enviado al siguiente par de cilindros.

Las cajas están dispuestas en forma adyacente y unidas por un sistema de repetidores automáticos; ayudados a la vez por guías de torsión que dan el giro necesario a la barra, lo que hace de este sistema un sistema continuo de laminación.

La secuencia usada en este sistema intermedio es de la forma cuadrado-óvalo-cuadrado, en el cual el material es girado también 90° y 45° entre una caja y otra. La figura No.4 esquematiza la colocación del tren intermedio.

El último paso, que es un cuadrado, es enviado al siguiente sistema de cajas horizontales y verticales para su siguiente proceso de acabado.



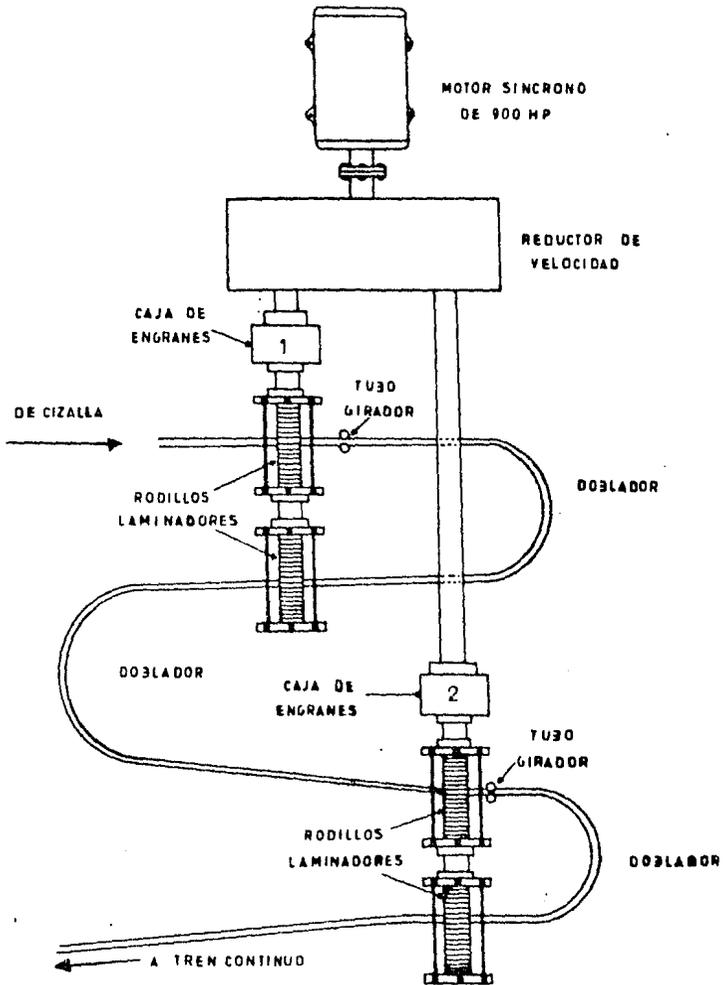
### CIZALLA AUTOMÁTICA

FIG 3A

U. N. A. M.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL



ESQUEMA REPRESENTATIVO  
DE UN MOLINO EN DESPLIEGADO  
DE LAMINACION

Figura No. 4

U. N. A. M.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

#### IV.5.- Sistema en Tándem

Este sistema está compuesto por cuatro cajas horizontales y verticales, dispuestas una a continuación de la otra. La ventaja de este sistema es que la barra evita guías de torsión, ya que la barra entra libremente de una caja a otra tal como sale del paso anterior.

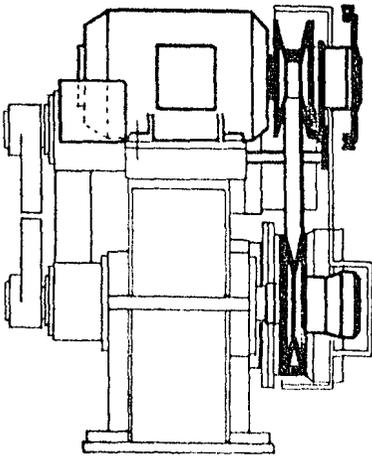
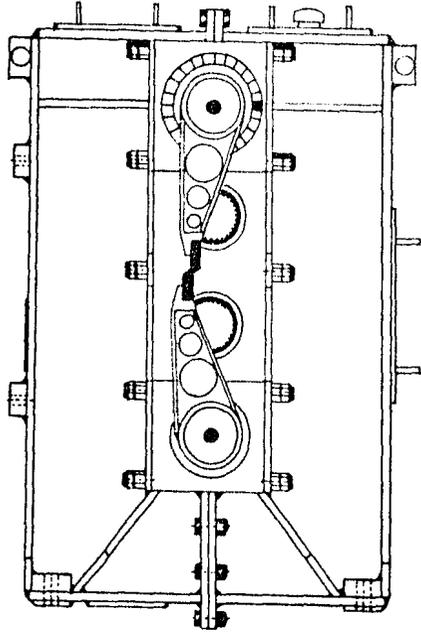
Para evitar la tensión entre cajas, que provocaría defectos en cada uno de los pasos; este molino cuenta con un sistema de formadores de onda controlados automáticamente. Esto es posible ya que cada caja posee un motor que puede ser manejado de manera independiente y sencilla por el operador, a control distante.

La figura No.5 muestra la disposición del sistema tándem de cuatro cajas.

La calibración de este sistema tándem, es del tipo de secuencia cuadrado-óvalo-redondo, en donde la última caja se ocupa como acabadora.

El producto terminado proveniente de esta última caja, puede disponerse de dos maneras; en rollo o en barras; si la primera se lleva a cabo, el redondo es enviado a una embobinadora, si se opta por la segunda, la barra es conducida hacia el lecho de enfriamiento mediante una mesa de rodillos transportadores, pasando antes por un sistema de corte automático que le dé la longitud requerida, de acuerdo a las necesidades del mercado. La figura 3b, ilustra el tipo de cizalla utilizada para el despunte a alta velocidad del producto terminado, cuando se requiere mandarlo hacia el lecho de enfriamiento.

VISTA FRONTAL DEL CUERPO  
DE UNA CIZALLA CV



GRUPO DE MANDO A VELOCIDAD  
VARIABLE DE UNA CIZALLA CV

FIG 30

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

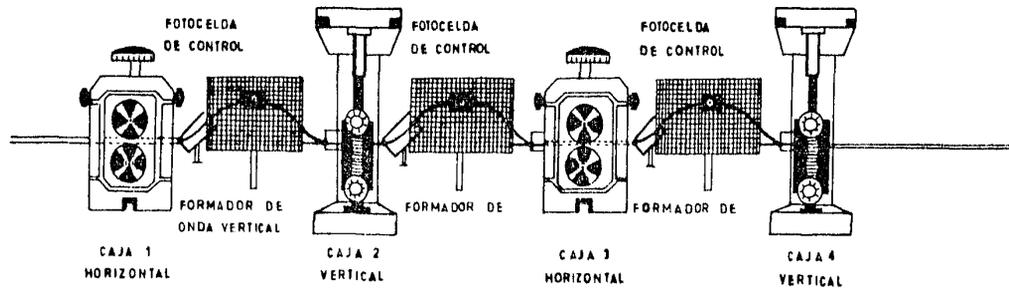


FIG 3

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

El producto terminado es transportado a un patio de almacenamiento y acabados, en donde es acondicionado el material para su envío.

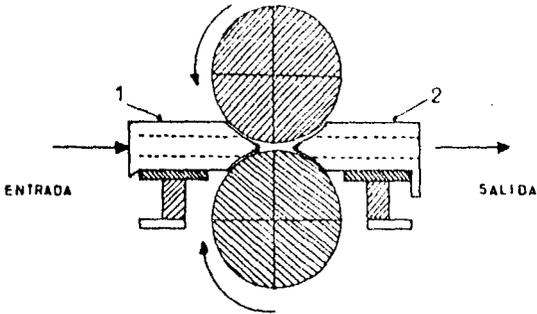
#### IV.6.- Dispositivos para el Guiado de la Barra

Para el guiado de la barra entre un pase y otro o entre una caja y otra, son necesarios dispositivos que faciliten la dirección de la barra tanto a la entrada como a la salida de cada una de éstas. Estos dispositivos se conocen como: guías de entrada y salida, guías de torsión y volvedores de onda o repetidores.

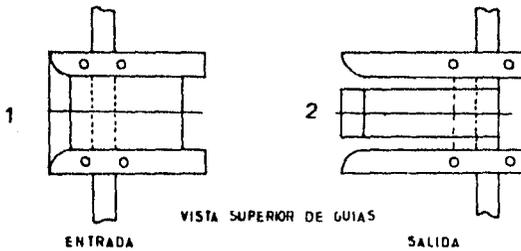
##### a) Guías de entrada y salida

Son dispositivos para dirigir el metal a la entrada y salida de los cilindros.

- 1) Las guías de entrada están calibradas de acuerdo al material que se está introduciendo en el canal y tienen aproximadamente un margen de tolerancia del 5% sobre las medidas de la barra que se mete. Estas se colocan fijamente sobre barrones que van fijados en los castillos. Las puntas de las guías no deben tocar la superficie del cilindro, ya que pueden dañar a éste.
- 2) Las guías de salida tienen una doble función, darle dirección a la barra y evitar que la barra se doble y forme anillos. Estas guías de salida sí deben ir montadas sobre la canal del cilindro, despegando de esta forma el material. La figura No.6 ilustra la disposición de estas guías.



DISPOSICION DE GUIAS



VISTA SUPERIOR DE GUIAS

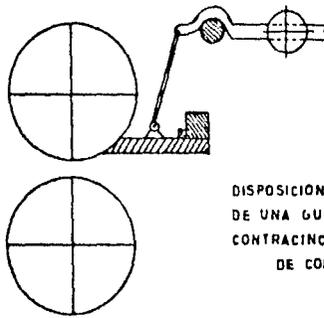
DISPOSICION Y EQUILIBRADO  
DE UNA GUIA SUPERIOR O  
CONTRACINCEL POR MEDIO  
DE CONTRAPESO

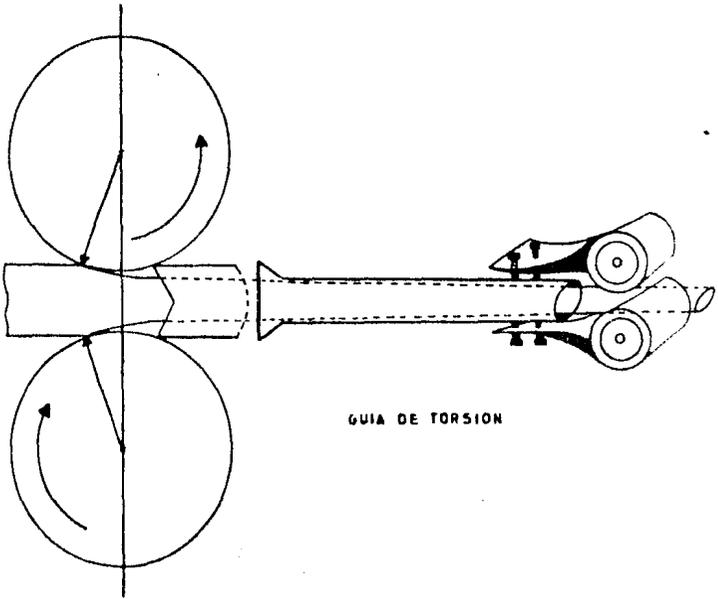
FIG 4

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

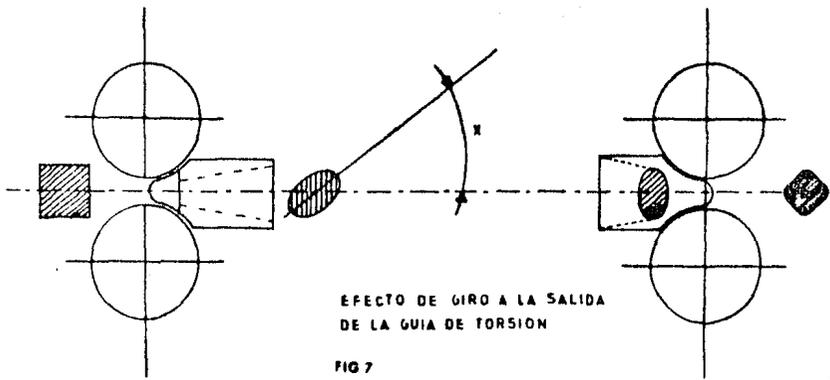
b) Guías de Torsión y Volvedores de Onda

- II) Las guías de torsión doblan automáticamente el metal, girándolo generalmente un ángulo de  $90^\circ$  a  $45^\circ$ , entre las cajas. Estas se colocan a continuación de las guías de salida del cilindro y anteceden generalmente a los volvedores de onda.
- III) Volvedores de onda.- Estos giran el extremo frontal de la barra generalmente  $180^\circ$ , cuando sale de una canal y se introduce en la siguiente. Se utilizan en su mayor parte para perfiles ligeros y donde se disponen las cajas entren; cuando se realiza la laminación con formación de bucles. Estos volvedores se ocupan conjuntamente con guías de torsión para guiar formas sencillas como: cuadrados, bandas y óvalos grandes.

Las figuras No. 7 y 8, muestran esta disposición. De la disposición correcta de cajas y dispositivos depende el buen funcionamiento del equipo, lo que hace que el proceso tenga continuidad y eficiencia, aunque en la realidad depende de una coordinación entre personal y equipo, no pudiéndose prescindir de ninguno de los dos.



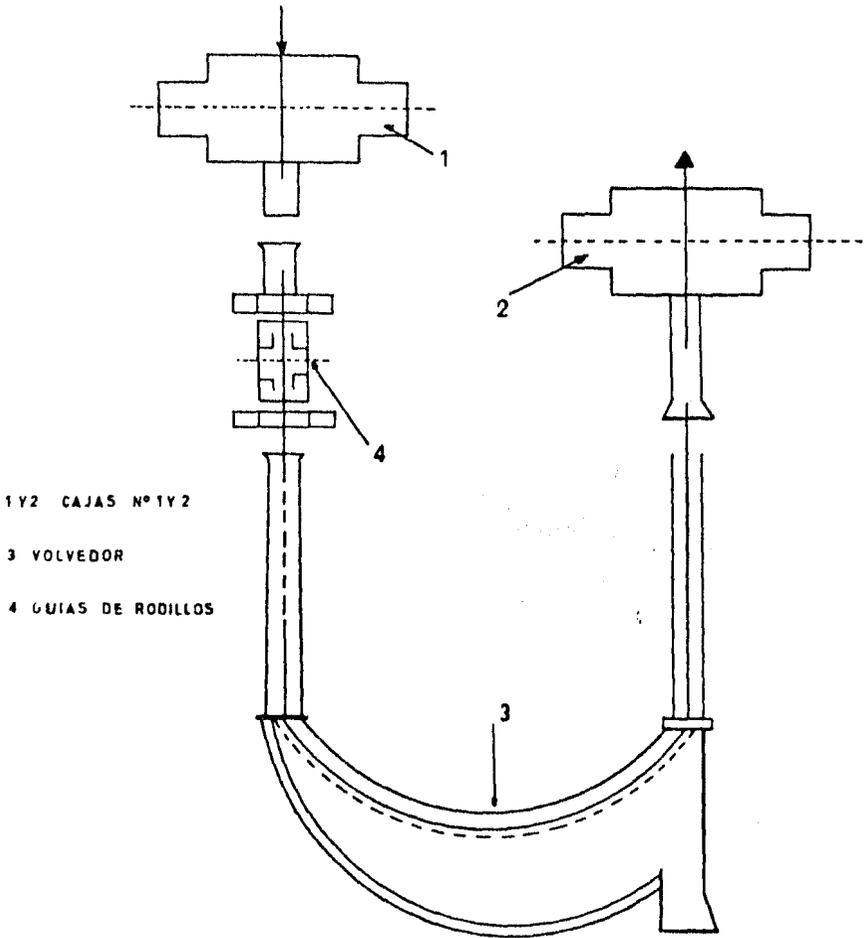
GUIA DE TORSION



EFECTO DE GIRO A LA SALIDA DE LA GUIA DE TORSION

FIG 7

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL



VOLVEDOR CON CAJAS DE FORMACION  
DE BUCLES ABIERTO

Figura No. 8

U. N. A. M.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

## UNIDAD V

### PRINCIPIOS BASICOS DE LAMINACION

#### V.1.- Conceptos Generales

Para comprender el proceso de laminación, consideremos que inicialmente se parte de una barra cuyas dimensiones originales son:  $h_0$ ,  $b_0$  y  $l_0$ , donde " $h_0$ " es la altura del material a laminar, " $b_0$ " es el ancho tomado paralelamente al eje del cilindro, y " $l_0$ " la longitud del metal en la dirección de laminación.

Para fines prácticos, suponemos que se mantiene una relación de volumen constante, durante todo el proceso de laminado de tal forma que:

$$V_0 = V_1 = V_2 = \dots V_n \quad (\text{Fig. No.9})$$

Donde los subíndices indican el volumen inicial de la barra antes de ser laminada, y después de haber pasado por los cilindros, una, dos hasta " $n$ " veces. Cada una de las dimensiones " $h$ ", " $b$ " y " $l$ ", se modifican en diferente magnitud. Así el aumento en longitud después de un pase en laminación es generalmente más grande que el aumento en el ancho.

Con lo dicho anteriormente, podemos dar ahora una definición de laminación como: el tratamiento mecánico de un metal, donde todas sus dimensiones originales son modificadas a través del pasado sucesivo entre los cilindros giratorios de un laminador, en donde se mantiene una relación de volumen constante alrededor de todo el proceso. (Se considera constante debido a que en la práctica, la pér-

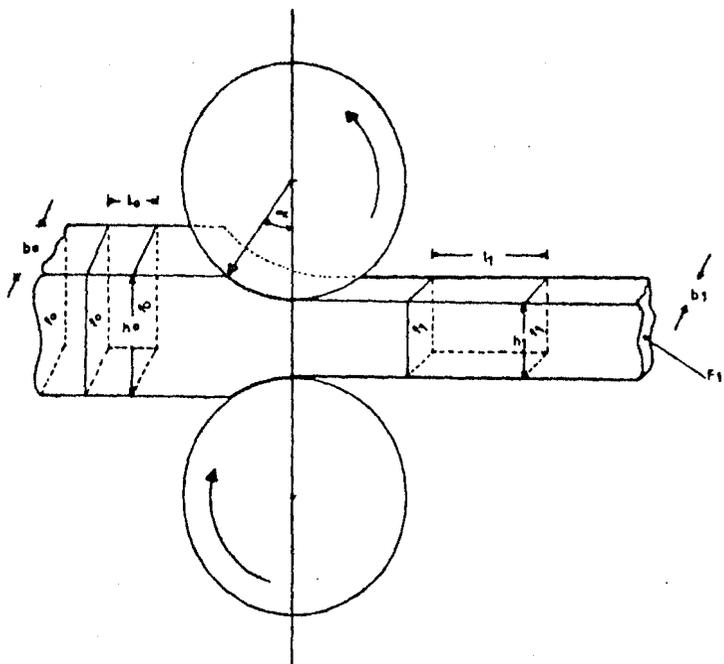


FIG 9 CAMBIOS DE DIMENSIONES DE LA BARRA DESPUES DE PASAR POR LOS CILINDROS POR PRIMERA VEZ

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

dida de material por oxidación u otro factor no va más allá de 5%).

De acuerdo a lo escrito anteriormente, la variación de dimensiones y el mecanismo de introducción del material en los rodillos, se deben a una serie de fuerzas y factores que se conjuntan desde el momento en que se hace contacto entre metal y cilindros, y hasta que la barra deformada sale libremente de ellos. En los párrafos siguientes se analizará la interacción de dichas fuerzas y factores para dar así una idea aun más completa.

#### V.2.- Mecanismos de Agarre

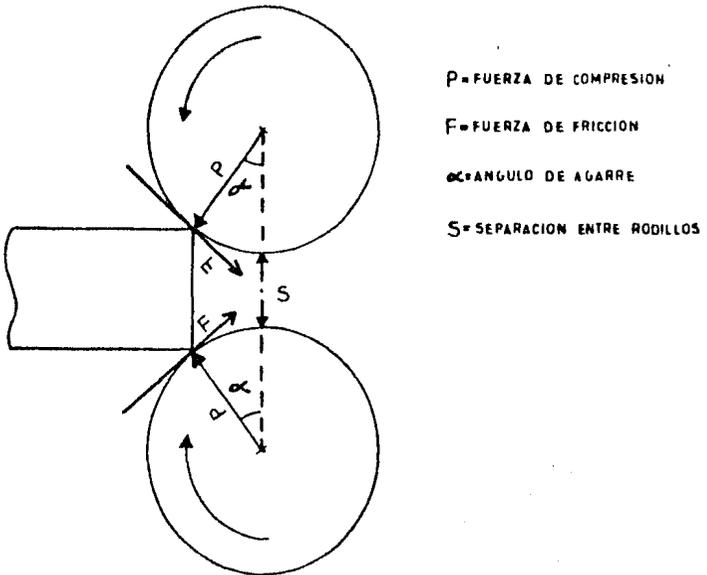
a) Angulo de contacto.- En el momento del encuentro de la barra con los cilindros, se origina un ángulo que está íntimamente relacionado con la entrada o rechazo de ésta; dicho ángulo se mide desde el punto de contacto del metal y los rodillos, hasta la línea vertical normal a éstos. A este ángulo, se le define en laminación como ángulo de contacto, ángulo de agarre o "angulo de mordida"

La entrada o rechazo de la barra por los rodillos está pues relacionada con el ángulo de contacto y con el valor del coeficiente de fricción, como se verá más adelante.

La figura No. 10 muestra este instante:

b) Fuerza de fricción y compresión.- Cuando la barra es conducida y empujada hacia los cilindros, se produce en el momento del contacto, un sistema de fuerzas originada por las fuerzas de fricción y compresión entre el metal y los rodillos.

Partiendo de la figura No. 10, podemos separar cada una de estas



P = FUERZA DE COMPRESION

F = FUERZA DE FRICION

$\alpha$  = ANGULO DE AGARRE

S = SEPARACION ENTRE RODILLOS

FIG 10 INTERACCION ENTRE BARRA X RODILLOS EN EL MOMENTO DE ENTRADA

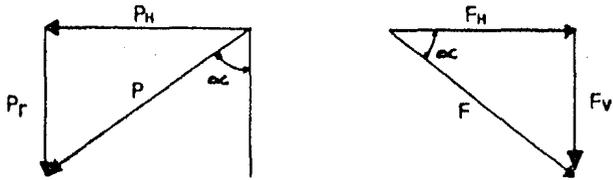


FIG 10-A DESCOMPOSICION DE LAS FUERZAS DE FRICION Y COMPRESION EN SUS COMPONENTES VERTICAL Y HORIZONTAL

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

fuerzas, en sus componentes verticales y horizontales,

Debido a que la velocidad de rotación de los cilindros es mayor que la velocidad de la barra, se crea una fuerza de fricción  $F$ ; asimismo en el momento de contacto entre la barra y rodillos, éstos ejercen una presión  $P$  sobre el metal a laminar.

Basados en la figura No. 10a, podemos hacer un balance de las fuerzas horizontales, ya que éstas son las únicas que influyen de manera directa para que la barra entre o sea rechazada por los cilindros. De ésta manera tenemos que:

$$\sum F_H = F_H - P_H \quad \text{o sea} \quad \sum F_H = F \cos \alpha - P \sin \alpha$$

Si  $\sum F$  es positiva, entonces  $F \cos \alpha > P \sin \alpha$ , lo que origina que la barra sea atraída por los rodillos; al caso contrario sería que la suma de fuerzas horizontales fuera negativa. Esto nos daría lo siguiente:

$$F \cos \alpha < P \sin \alpha$$

lo cual originaría que la barra fuera rechazada por los cilindros; ya que la fuerza resultante  $P$  empujaría a la barra hacia afuera. La condición de equilibrio se establece para:

$$F_H = P_H$$

$$\text{o bien} \quad F \cos \alpha = P \sin \alpha$$

$$\text{y por lo tanto} \quad \frac{F}{P} = \tan \alpha$$

Puesto que la fuerza de fricción está dada por:  $F = \mu p$  donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre la barra y los rodillos.

$$\text{Por lo tanto: } \mu = \frac{F}{P} = \tan \alpha$$

Si el ángulo  $\alpha$  es tal que su tangente trigonométrica es mayor que el valor del coeficiente de fricción  $\mu$ , la barra no entra en los rodillos, llegando a la conclusión, que para que agarren los cilindros a la barra el valor del coeficiente de fricción debe ser como mínimo, igual a la tangente del ángulo  $\alpha$ , denominado ángulo de contacto. Este coeficiente de fricción es variable y depende de la aspereza de los cilindros y de la velocidad de laminación.

La figura No. 11 muestra la variación del coeficiente de fricción en función de la temperatura y aspereza de los cilindros, según Ekelund y Siebel; y en la tabla I se da una serie de ecuaciones encontradas por los investigadores antes mencionados, para la determinación del coeficiente de fricción como una función de la temperatura y velocidad de laminación para diferentes tipos de rodillos.

#### Características del Coeficiente de Fricción en la Laminación

La fuerza de fricción al actuar en la superficie de contacto entre los rodillos y la barra presenta dos casos diferentes:

a) Fricción deslizante.- Tiene lugar cuando la componente de la fuerza de fricción (en unidades de fuerza) es:

$$F < K \quad \text{y} \quad \mu P < K$$

donde K es el valor de esfuerzo cortante de cedencia y P es la presión en los rodillos a lo largo del arco de contacto.

b) Fricción adherente.- Bajo esta condición se presenta un límite máximo al valor de la fuerza de fricción, ya que cuando el esfuerzo

# CURVAS DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO

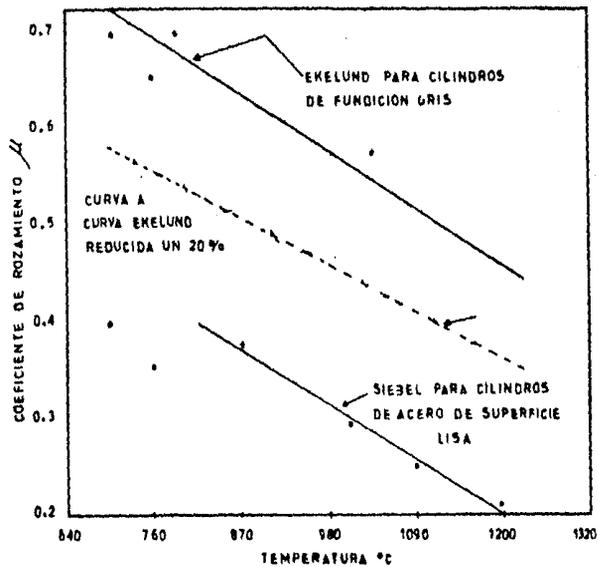


FIG 11

U. N. A. M.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

T A B L A 1

A)  $\mu$  para cilindros de acero torneado:

$$\mu = 1.05 - 0.0005T - 0.056$$

B)  $\mu$  para cilindros de hierro torneado:

$$\mu = 0.04 - 0.0005T - 0.056$$

C)  $\mu$  para cilindros rectificadas de acero o hierro:

$$\mu = 0.82 - 0.0005T - 0.056$$

donde: T=temperatura de la barra en °C.

V =velocidad periférica del cilindro en

cortante  $\mu P$  excede el valor del esfuerzo cortante de cedencia, el material se deforma y deja una capa delgada de metal pegado a la superficie del rodillo.

La condición (a) existe generalmente en laminación en frío, La condición (b) se presenta en laminación en caliente; aunque en la mayoría de los casos ninguna de estas condiciones se da separada, sino más bien prevalece una condición mixta.

#### Velocidad de Laminación

Como ya se mencionó en los párrafos anteriores, cuando el material se está laminando, la barra entra con una velocidad menor que la velocidad periférica de los cilindros. La velocidad de la laminación se entiende como la velocidad del metal a la salida de los cilindros siendo aquí la velocidad de la barra mayor que la de éstos. Debido a que existe esta diferencia de velocidades en los planos de entrada y de salida de la barra respecto a la velocidad periférica de los cilindros, debe existir un punto en donde la velocidad del metal se iguale a la velocidad periférica de los rodillos. A este punto se le conoce como punto neutro.

Si denotamos como  $V_1$ , la velocidad de la barra a la entrada y  $V_2$  como la velocidad de la barra a la salida de los cilindros, y ya que la velocidad de la barra y el componente horizontal de la velocidad periférica de los rodillos son iguales solamente en el punto neutro, quiere decir que ocurre patinamiento entre el material y

los cilindros en cualquier otro punto. En el plano de salida, la velocidad de la barra es mayor que la velocidad periférica de los rodillos, siendo esta diferencia de velocidad conocida como deslizamiento hacia adelante. Dicho deslizamiento se puede expresar matemáticamente como:

$$S_f = \frac{V_2 - V_r}{V_r} = \frac{V_2}{V_r} - 1$$

$$\text{Donde } V_r = \frac{\pi \times D_w \times n}{60} \text{ m/seg.}$$

Este deslizamiento hacia adelante se determina en la práctica mediante un método muy sencillo, colocando marcas en los cilindros; lo cual no se tratará en detalle aquí. El valor calculado del deslizamiento hacia adelante, nos sirve para determinar la velocidad real de laminación a la salida de los rodillos; en función de la velocidad periférica de éstos.

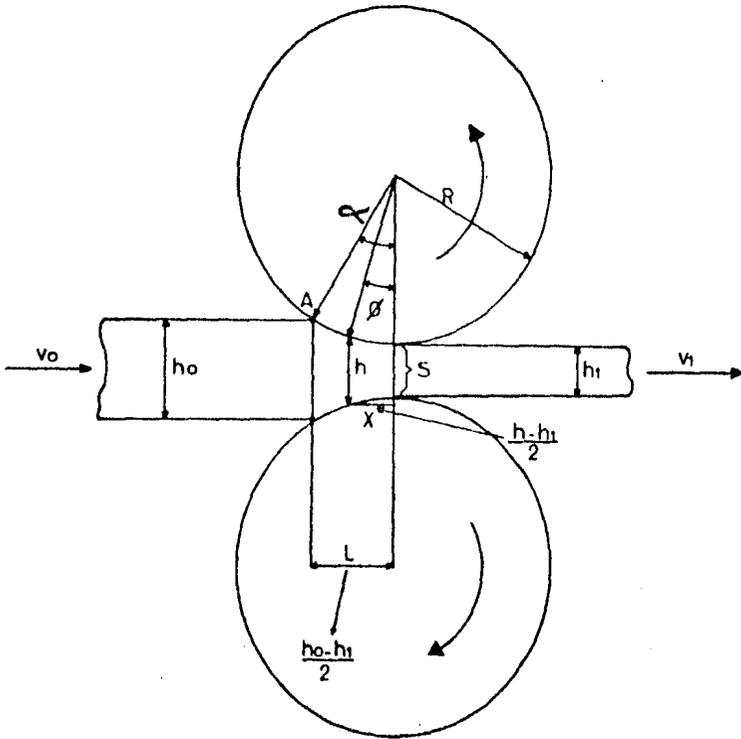
La velocidad de laminación afecta directamente al coeficiente de fricción. Un aumento de la velocidad nos provoca una disminución del valor del coeficiente de fricción y, viceversa.

### V.3.- Parámetros Geométricos en la Laminación

La figura No. 12 ilustra un número importante de relaciones entre la geometría de los rodillos y la barra, durante la deformación del metal.

$$h = \text{altura instantánea de la barra donde: } h_0 > h > h_1$$

El espesor instantáneo de la barra al pasar por los rodillos se puede encontrar a partir de:



PARAMETROS GEOMETRICOS  
EN LA LAMINACION

FIG 12

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

$$\cos \phi = \frac{R - (h-h_1) / 2}{R}$$

$$R \cos \phi = R - \frac{(h - h_1)}{2}$$

o sea:  $h = h_1 + 2R (1 - \cos \phi)$

de igual manera para el ángulo de contacto tenemos:

$$h_0 = h_1 + 2R (1 - \cos \alpha)$$

Si  $\alpha$  es muy pequeño se puede hacer la siguiente aproximación:

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\alpha^2}{2} \quad \text{y por lo tanto } h_0 = h_1 + R\alpha^2$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{h_0 - h_1}{R}}$$

$$\alpha = \left( \frac{\Delta h}{R} \right)^{1/2}$$

donde  $\Delta h$  es la reducción en altura en el paso de laminado.

La longitud del arco de contacto "L" de acuerdo a la figura es:

$$L^2 = R^2 - \left[ R - \frac{(h_0 - h_1)}{2} \right]^2$$

$$L = \sqrt{R^2 - R^2 + 2R \frac{(h_0 - h_1)}{2} - \left( \frac{(h_0 - h_1)}{2} \right)^2}$$

$$L = \left[ R\Delta h - \left( \frac{\Delta h}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Generalmente se desprecia el término  $\frac{\Delta h^2}{2}$ , debido a que el error en que se incurre es pequeño, dando errores menores al 5% y por lo tanto:

$$L = \left( R\Delta h \right)^{1/2}$$

Este parámetro determinado es de suma importancia en la laminación, ya que con él podemos calcular a su vez otros fenómenos inte-

resantes que suceden en este proceso, como son la presión de laminación, la cual es una de los objetivos principales del diseñador de molinos para poder calcular la potencia necesaria para deformar un metal con ciertas características.

## UNIDAD VI

### CALIBRADO PARA LA LAMINACION DE UN REDONDO MENOR DE UNA PULGADA

La finalidad de un buen calibrado para redondos pequeños es obtener un producto dentro de dimensiones correctas, con un buen acabado superficial libre de defectos.

Debido a que el costo de las pasadas es elevado, debe aprovecharse al máximo cada una de ellas, procurando que el diseño emplee el menor número de éstas a fin de disponer de una rápida reducción, laminando la palanquilla en el menor tiempo posible, ya que el material se enfría muy rápidamente. Para este propósito la serie óvalo-cuadrado se adapta mejor, por tener un rápido avance en reducción, pero por razones de calidad, son más deseables otras series que dan menores reducciones, como la secuencia óvalo-redondo.

La palanquilla de partida, el tipo de tren y el número de pasadas necesarias determinarán la secuencia que debe utilizarse.

En la realización de este trabajo se dispuso de una secuencia combinada de cuadro-óvalo-redondo, de la cuál se hablará en los párrafos subsecuentes.

En las pasadas iniciales e intermedias la secuencia cuadrado-óvalo da muy buenos resultados, ya que se tiene la ventaja de obtener grandes reducciones. En los pasos finales sin embargo, es más conveniente utilizar una secuencia óvalo-redondo, que aunque permite menor reducción, produce mejores condiciones de calidad.

### VI.1.- Características de la Secuencia Cuadrado-Ovalo

La serie de canales cuadrado-óvalo permite un efecto de alargamiento particularmente grande, producido por el alto porcentaje de reducción. En términos generales, en ésta serie de canales el ensanchamiento es escaso y el alargamiento grande. En el paso de óvalo a cuadrado, aparecen en el centro del óvalo tensiones de tracción y en los bordes tensiones de compresión. En el caso contrario en que entra un cuadrado en un óvalo, en los bordes y centro del cuadrado aparecen tensiones de tracción y en los puntos intermedios se presentan tensiones de compresión, dando así poca cabida para que el material ensanche. Es decir, se limita el flujo de material en dirección normal a la línea de laminación, originando por consiguiente que el material se extienda en dirección longitudinal a la línea de laminación.

La serie óvalo-cuadrado se utiliza bastante como un método mediante el cual se pueden producir cuadrados intermedios que se pueden usar como secciones iniciales para laminar redondos, precediendo generalmente la serie óvalo-redondo.

Esta serie requiere que la barra se voltee 90 grados al pasar de óvalo a cuadrado, y 45 grados al pasar de cuadrado a óvalo.

La reducción máxima que se obtiene entre cuadrado y cuadrado en esta secuencia, es alrededor del cincuenta por ciento.

### VI.2.- Características de la Serie Ovalo-Redondo

La posible reducción con esta serie es mucho menor que con la serie óvalo-cuadrado.

El desgaste de los pasos es considerablemente menor y como resultado las canales del rodillo permanecen en buenas condiciones por un largo período de operación. Esto no sólo elimina tiempo caídos en el molino, sino que es útil en lo particular para la eliminación de defectos superficiales.

### VI.3.- Calibración para un redondo liso de 15 mm.

El objetivo es dar una secuencia práctica de cómo llevar a cabo una calibración para un redondo menor de una pulgada de diámetro; ya que las condiciones para redondos mayores varían, no se expondrá nada acerca de éstos últimos. Por otro lado, no se pretende llegar a una calibración estricta, debido a que ésta puede cambiar de una persona a otra en la forma de cómo calcularla y de las condiciones y características del molino en que se vaya a laminar el producto.

Para el cálculo de esta calibración, no se consideran los pasos iniciales de desbaste, excepto el último de éstos, el cual es una palanquilla de 44 mm. por lado que se toma como punto de partida.

El cálculo de este redondode 15 mm. se realizó a partir del pro ducto terminado hacia atrás, de la siguiente manera:

#### Material

Acero al carbón tipo SAE 1018

Producto terminado,- Redondo liso de 15 mm,

Factor contracción,- 0.013—0.020

Producto terminado en caliente,- Redondo liso de  
15.225 mm.

Para el número de pasadas, se utilizó la tabla elaborada por:  
Trinks, donde relaciona el coeficiente de elongación total con el  
número de pases a diferentes reducciones.

Se define al coeficiente de elongación total,  $\lambda_r$ , como:

$$\lambda_r = \frac{A_0}{A_1} \quad \begin{array}{l} A_0 = \text{área inicial} \\ A_1 = \text{área final} \end{array}$$

$$\lambda_r = \frac{1936}{176.625} = 10.96$$

Con una reducción promedio del veinticinco por ciento se obtie  
ne un número de pasadas igual a 8, de acuerdo a la tabla No. 2.

$$\text{Reducción promedio} = \frac{a - 1}{a} \times 100$$

$$\text{donde } a = \left( \frac{\text{Sección de entrada}}{\text{Sección de salida}} \right)^{1/n} \text{ y}$$

n = número de pasadas

Paso # 8

Redondo liso:

d=15 mm.

$d_c = 1.015 \times 15 = 15.225$

Paso # 7

Ovalo líder:

Relación  $h/d = 0.815$  Reducción en área 5-17%,

$$H = 0.815d \quad h = 12.4 \text{ mm.}$$

$$\%A = 12 \quad w = \frac{\text{Área del redondo}}{0.785 (1 - \%A) h}$$

$$W = 21.24 \text{ mm.}$$

Radio del óvalo:

$$R = \frac{w^2 + h^2}{4h} \quad R = \frac{451 + 153.76/4 \times 12.4}{4 \times 12.4} = 12.19$$

$$R = \frac{451 + 153.76}{4 \times 12.4} = 12.19$$

Paso # 6

Redondo preparador:

Reducción en área 15-25%

$$\%A = 20\%$$

$$\text{Área del óvalo} = 0.8 (\text{área del redondo})$$

$$\text{Área del redondo} = 206.36/0.8 = 258$$

$$\text{Área del redondo} = 0.785 \times d^2$$

$$d = (258/0.785)^{1/2}$$

$$d = 18.12 \text{ mm.}$$

Paso # 5

Ovalo:

$$W/h = 2.5 \quad \text{Reducción en área} = 20-25\%$$

$$\%A = 25\% \quad w = 2.5 h.$$

$$258.00 = 0.75 \times \text{Área del óvalo}$$

$$258 = 0.75 \times 0.785 \times w \times h$$

$$438.2 = 2.5 h^2; \quad h = 13.24 \text{ mm. } w = 33.1 \text{ mm.}$$

$$R = 24$$

Paso # 4

Cuadrado:

Reducción en área = 30-35%

%A= 30%

$$A = \frac{344}{0.7} = 491.46 \text{ mm}^2$$

$$A = 22.17 \text{ mm.}$$

Paso # 3

Ovalo:

%A=22%    w/h=2.5

Reducción en área = 20-25%

$$\frac{491.46}{0.78} = 630 \quad 630 = 0.785 (2.5 \cdot h^2) \quad h=17.9 \text{ mm.} \quad w= 44.75 \text{ mm.}$$

$$R= 32$$

Paso # 2

Cuadrado:

Reducción en área = 35-38%

%A=35%

$$A = \frac{630}{0.65} = 969.23$$

$$a = 31.13$$

Paso # 1

Ovalo:

Reducción en área = 20-25%

%A=22%

w/h= 2.5

$$A = \frac{969.23}{0.78} = 1242.6 \text{ mm}^2 = 0.785 (2.5 h^2) \quad h = 25.16 \text{ mm,} \quad w=62.9 \text{ mm.}$$

$$R=45.6$$

Paso # 0

Reducción en área = 35-38%

$$\%A=36\% \quad A = \frac{1242.6}{0.64} = 1941.56 \quad a=44.06$$

FIG 13 PROGRAMA DE PASADAS

TREN	CAJA Nº	PASADA Nº	SECCION(mm)	AREA mm <sup>2</sup>	REDUCCION POR PASADA
MOLINO 500 DESASTADOR TRIC REDUCCION PROMEDIO 28.2 %		0	 100	9887	
	1	1	 114 x 78	7987	19.2 %
	1	2	 122 x 60	5864	26.6 %
	1	3	 64	4074	30.5 %
	1	4	 68 x 38	2774	31.9 %
	1	5	 44	1881	32.2 %
MOLINO 300 INTEMEDIO REDUCCION PROMEDIO 29.6 %	2	6	 42 x 25	1236	34.3 %
	3	7	 31	961	22.2 %
	4	8	 44 x 18	618	35.7 %
	5	9	 22	463	25 %
MOLINO 300 CONTINUO REDUCCION PROMEDIO 21.3 %	6	10	 13 x 33	344	25.7 %
	7	11	 18	258	24.1 %
	8	12	 21 x 12	206	19.53 %
	9	13	 15	177	10.6 %

REDUCCION PROMEDIO

TOTAL 26.6%

FIG 13

U. N. A. M.

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS PROFESIONAL

En la figura No. 13, se dan a conocer las dimensiones de cada una de las secciones obtenidas en cada pasad, aún los desbastes que no se tomaron en cuenta para la calibración,

La calibración aquí calculada, no puede decirse que está lista para usarse, porque para ello necesita someterse a prueba, no sin antes realizar algunas modificaciones en los óvalos calculados. La anchura de los óvalos se puso tal cual como se obtuvo del cálculo para evitar sobrellenados.

El que aquí se haya optado por escoger la secuencia cuadrado—óvalo—redondo para obtener redondo liso no quiere decir que ésta sea la única forma para conseguir el mismo propósito, sino que hay varias maneras de llegar a ello.

#### VI.-4 Reducción en Altura y Ensanchamiento

a) La reducción del acero no sigue un patrón ascendente o descendente; al observar gráficas de reducción de la práctica para varias secciones, parece que la reducción es la excepción en lugar de la regla.

Las reducciones aumentadas en forma gradual en pulgadas desde el pase acabador hasta la sección de comienzo, son la regla para la mayoría de los casos, pero los porcentajes de reducción siguen rara vez un patrón definido. Las razones para que se apliquen reducciones que aumenten en forma gradual son varias. La ligera reducción en el paso acabador da correspondientemente un gasto ligero de los rodillos, lo cual permite que se laminen mayores tonela-

TABLA No 2

Magnitud de alargamiento para diferentes reducciones relativas en función del número de pasadas (seg. Trinks).

Núm. de pasa das	Reducción relativa por pasada							
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%
1.	1,053	1,111	1,177	1,250	1,333	1,429	1,538	1,667
2.	1,108	1,235	1,384	1,563	1,777	2,041	2,367	2,779
3.	1,167	1,372	1,628	1,953	2,369	2,916	3,642	4,63
4.	1,228	1,524	1,915	2,441	3,160	4,165	5,610	7,72
5.	1,293	1,694	2,254	3,052	4,215	5,95	8,625	12,87
6.	1,361	1,882	2,65	3,815	5,620	8,50	13,27	21,4
7.	1,432	2,090	3,12	7,49	7,49	12,15	20,40	35,7
8.	1,508	2,323	3,67	5,96	9,98	17,35	31,0	59,5
9.	1,587	2,581	4,32	7,45	13,32	24,8	48,3	99,2
10.	1,670	2,868	5,08	9,31	17,75	35,4	74,2	166
11.	1,758	3,188	4,98	11,64	23,65	50,5	114	276
12.	1,851	3,540	7,03	14,55	31,5	72,2	176	460
13.	1,948	3,93	8,27	18,20	42,0	103	271	765
14.	2,051	4,37	9,72	22,75	56,1	147	407	1,280
15.	2,159	4,86	11,43	28,40	74,8	211	640	2,120
16.	2,273	5,40	13,47	35,50	301	985	3,530	—
17.	2,392	6,00	15,82	44,40	133	430	1,515	5,900
18.	2,518	6,66	18,62	55,50	177	615	2,320	9,800
19.	2,651	7,40	21,9	69,30	236	880	3,580	—
20.	2,791	8,23	25,8	86,70	315	1,260	5,500	—
21.	2,938	9,14	30,4	108,0	420	1,790	8,500	—
22.	3,092	10,15	35,7	135,5	560	2,560	—	—
23.	3,255	11,29	42,0	169,0	745	3,650	—	—
24.	3,427	12,53	49,4	211,0	990	5,210	—	—
25.	3,607	13,92	58,1	264,0	1,325	7,420	—	—

jes antes de que el calibre se desgaste y tenga que ser cambiado. El paso principal, en consecuencia, también reducido en forma ligera, puesto que de lo contrario las barras que salieran de este paso serían toscas debido a la reducción elevada, lo que también provocaría el pronto desgaste de los rodillos acabadores.

Del líder hacia atrás se dan reducciones mayores en forma gradual. Conforme las barras se vuelven más largas, se enfrían más y se necesitan reducciones ligeras en los pasos preparadores para prevenir alguna ruptura de rodillos.

Las reducciones mayores deben ser reservadas para los primeros pasos donde los rodillos están hechos de material más resistente y la temperatura es mayor que en las últimas pasadas.

b) La magnitud del desplazamiento del material en el sentido transversal, es decir, la cantidad de ensanchamiento tiene gran importancia en el diseño y trazado de canales.

Por lo mismo los fenómenos de ensanchamiento han sido objeto de numerosas investigaciones. Según los resultados obtenidos la magnitud del ensanchamiento depende de algunos factores tales como:

- a) Reducción en altura
- b) Radio del cilindro
- c) Relación de espesores
- d) Ancho inicial
- e) Arco de contacto

- f) Temperatura de la pieza y del cilindro
- g) Composición química de la pieza y del cilindro
- h) Condición superficial de la pieza y del cilindro
- i) Velocidad de laminación
- j) Coeficiente de fricción

Las fórmulas de ensanchamiento son variadas, pero para las condiciones que predominan en la laminación en caliente del acero, las expresiones dadas por Sedlacek y Siebel arrojan resultados útiles.

$$\text{Sedlacek } \Delta b = \frac{\Delta h \cdot b_o \cdot \sqrt{\frac{b_o R}{h_o h_1}}}{2.3 (b_o^2 + h_o h_1)}$$

$$\text{Siebel } \Delta b = K \frac{\Delta h}{h_o} \times \sqrt{R h}$$

La rectificación del cálculo de cada una de las pasadas en lo que respecta al ensanchamiento, se hizo según la fórmula de Sedlacek. Existe otra expresión para esta fórmula de ensanchamiento donde aparece en el denominador 3.0 en lugar de 2.3. La expresión que nosotros empleamos aquí es la forma expuesta, con el fin de obtener el máximo ensanchamiento.

A continuación se presenta en la tabla No. 3 los datos para verificar el ensanchamiento en cada una de las pasadas calculadas para el redondo de 15 mm, utilizando la ecuación de Sedlacek.

TABLA No. 3

PASADA NUMERO	$h_0$	$h_1$	$\Delta h$	$b_0$	$b_0^2$	$\sqrt{b_0 R^*}$	$h_0 x h_1$	$\Delta b$
1	44.06	25.16	18.9	44.06	1941.28	85.79	1108.55	10.18
2	62.9	43.582	19.32	25.16	633.026	64.82	2741.30	4.06
3	31.13	17.9	13.23	31.13	959.077	72.10	557.22	8.46
4	44.75	31.038	13.71	17.9	320.41	54.67	1388.95	3.41
5	22.17	13.24	8.93	22.17	491.50	60.48	293.53	6.63
6	33.1	18.12	14.98	13.24	175.29	46.74	599.77	5.20
7	18.12	12.4	5.72	18.12	328.33	54.68	224.69	4.45
8	21.24	15.0	6.24	12.4	153.76	45.23	321.00	3.20

\* Ver la tabla No. 4, donde se reúnen los datos de los diámetros de los rodillos, además de otros cálculos adicionales para cada pasada.

VERIFICACION DEL ANCHO DE LOS OVALOS

- a) Ovalo del paso No. 1 (62,9 X 25,16)  
 $b + 10,18 \quad b_1 = b_0 + 10,18 = 44,06 + 10,18 + 54,24$

Con la cuál la pasada queda protegida de sobrellenado, teniendo margen a variar el ancho unicamente por algún ajuste del laminador.

Del mismo modo haremos para los óvalos siguientes:

- b) Ovalo del paso No. 3 ( 44,75 X 17,9)  
 $b_1 = 31,13 + 8,46 = 39,59$
- c) Ovalo del paso No. 5 ( 33,1. X 13,24 )  
 $b_1 = 22,17 + 6,63 = 28,8$
- d) Ovalo del paso No. 7 ( 21,24 X 12,4 )  
 $b_1 = 18,12 + 4,45 = 22,57^{**}$

Nota: \*\* Por lo tanto debe hacerse la corrección del ancho y alto del óvalo en este paso.

Corrección para el óvalo líder.- Puesto que el ancho debe corregirse, es lógico pensar que no puede hacerse esto sin que se altere las dimensiones de altura; por lo tanto al variar la altura automáticamente tendremos una variación del ancho.

Con una relación ocupada en la práctica de  $h/d=0,7$  y la misma reducción del área tenemos:

$$\begin{aligned} h/d &= 0,7 & h &= 0,7d & h &= 0,7 \times 15,225 + 10,65 \\ y \quad w &= \frac{d^2}{h(1-\%A)} = \frac{231,8}{10,65 (0,88)} \\ w &= 24,73 & y \quad R &= \frac{w^2 + h^2}{4h} = 17 \end{aligned}$$

\*\*\* Esta relación se sacó de la tabla dada por W Trinks:

dmm.	50	38	25	12	6
h/d	0,87	0,86	0,85	0,8	0,65

TABLA No. 4

PASADA NUMERO	%A	%h	Coefficiente Elongación.	Diámetro de Cilindro mm.	Angulo de Contacto ( grados )	Arco de Contacto ( mm )
0					$T_g^{-1} \left( \frac{Ld}{R - \frac{\Delta h}{2}} \right)$	$\sqrt{R \Delta h}$
1	36%	42.5%	1.56	334	19.49	55.82
2	22%	30%	1.28	334	19.46	55.72
3	35%	42.44%	1.53	334	16.07	46.28
4	22%	30%	1.28	334	16.35	47.05
5	30%	40.32%	1.43	330	13.28	38.38
6	25%	42.23%	1.33	330	17.38	49.34
7	20%	31.58%	1.25	330	10.65	30.51
8	12%	28.26%	1.13	330	10.9	31.22

## VI. 5.- Comparación de tres métodos distintos de laminación.

A manera de ilustración se presentan tres métodos de laminación, por considerar que son los más comunes que se utilizan en cualquier planta laminadora, ya sea en la forma aquí presentada o como en el caso nuestro en forma mixta.

La figura No. 14 esquematiza la secuencia llevada a cabo en cada método, además en forma separada se tabulan los datos de las di mensiones y reducciones de área por pasada.

Como puede verse cada método produce una reducción promedio to tal diferente, de tal manera que si se desea producir un redondo de un determinado tamaño utilizando cada una de estas metas, éstos - tendrían diferente número de pasos, según el avance que da cada uno de los métodos. Así por ejemplo, para laminar un redondo de 1/2 pulgada, los métodos de rombo cuadrado y plan conteo utilizarán un número mayor de pasadas que el método de cuadrado óvalo.

Los tres métodos utilizan como material de partida palanquilla de 3" X 3", con una área en caliente de  $5\ 996.8\ \text{mm}^2$ .

ROMBO-CUADRADO



REDUCCION PROMEDIO 21.3 %

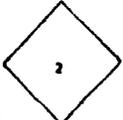
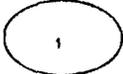


REDONDO 13/16

CUADRADO-OVALO



REDUCCION PROMEDIO 27.38 %

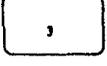


REDONDO 1/2

PLANO-CANIEO



REDUCCION PROMEDIO 19.35 %



REDONDO 15/16

Figura No. 14

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

## METODO I ROMBO-CUADRADO

PASADA NUMERO	SECCION (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	REDUCCION
1 ROMBO	109.22 X 76.2	4 161.3	30 %
2 CUADRADO	57.17	3 043.22	26 %
3 ROMBO	78 X 57.9	2 258.57	25.8 %
4 CUADRADO	39.24	1 540	31.7 %
5 ROMBO	55.5 X 43	1 193.546	22.5 %
6 CUADRADO	31.44	988.47	17.1 %
7 ROMBO	44.46 X 37.73	838.7	15.1 %
8 CUADRADO	25.13	631.6	24.6 %
9 ROMBO	35.54 X 31.95	567.75	10.11 %
10 CUADRADO	20.32	412.9	27.2 %
11 OVALO	33.5 X 13.96	367.7	10.9 %
12 REDONDO	20.83	340.6	7.36 %

PRODUCTO FINAL REDONDO DE  $\frac{13}{16}$  PULGADAS  
REDUCCION PROMEDIO 21.3 %.

METODO II  
OVALO CUADRADO

PASO N°	SECCION (mm)	AREA (mm <sup>2</sup> )	REDUCCION
1 OVALO	120 X 48	4 516,12	24,6%
2 CUADRADO	59,78	3 574,2	20,85%
3 OVALO	85 X 35	2 303,2	35,5%
4 CUADRADO	39,5	1 561,2	32,2 %
5 OVALO	55,4 X 23	1 999	35,5 %
6 CUADRADO	26,9	722,6	27,7 %
7 OVALO	37,1 X 15,5	451,6	37,5 %
8 CUADRADO	18,14	329,03	27, %
9 OVALO	26,8 X 11,18	235,48	28,4 %
10 CUADRADO	13,44	180,64	23,3 %
11 OVALO	20 X 9,5	148,37	17,8 %
12 REDONDO	12,82	129,03	13, %

PRODUCTO FINAL REDONDO DE 1/2 PULGADA

REDUCCION PROMEDIO, 27,38%

$$R.Prom. = \frac{a-1}{a} \cdot 100 \quad a = \sqrt[n]{\frac{\text{Sección de entrada}}{\text{Sección de salida}}}$$

n =# de pasadas.

## METODO III

## PLANO — CANTEO

Paso N°	Seccion (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Reducción
1 PLANO	82.76 X 56.7	4 709,67	20 %
2 CANTO	57.64	3 322,57	30,1 %
3 PLANO	62.4 X 42,5	2 658,06	20 %
4 CANTO	43.25	1 870,96	29,6 %
5 PLOMO	48.04 X 32,76	1 574,2	15,8 %
6 CANTO	35.01	1 225,8	22,1 %
7 PLANO	37.91 X 25,86	980,64	20 %
8 CANTO	28.4	806,45	17,7 %
9 PLANO	32.97 X 22,5	741,93	8,0 %
10 CANTO	25.4	645,16	13 %
11 OVALO	35.4 X 17,7	483,87	25 %
12 REDONDO	24.05	454,05	6,1 %

PRODUCTO FINAL REDONDO DE  $\frac{15}{16}$  PULGADAS.

REDUCCION PROMEDIO 19.35

## UNIDAD VII

### MEDIDAS DE PRECAUCION QUE DEBEN TOMARSE EN CONSIDERACION EN LA LAMINACION DE REDONDOS.

#### VII.- 1. Calentamiento en la Palanquilla

La laminación de metales en caliente se lleva a cabo a una temperatura que rebasa a la temperatura de recristalización; para el acero la temperatura de calentamiento es de  $0,8 T_f$  (siendo  $T_f$  la temperatura de fusión en la escala termométrica absoluta).

Cuanto más elevada sea la temperatura de calentamiento del metal, tanto menor es el esfuerzo a la deformación, debido a que existe una mayor plasticidad del material, pero no es recomendable elevar excesivamente la temperatura porque se originan problemas en el molino de laminación en las primeras pasadas, como en el horno de recalentamiento.

Como ya se mencionó en el capítulo V, una elevada temperatura ocasiona patinamiento de la barra entre los rodillos (originado por la disminución del coeficiente de fricción) y por otra parte se corre el riesgo de pegar la carga en el horno con el peligro de sobreoxidar el material, creando exceso de cascarilla.

Otro problema común que puede presentarse al exceder la temperatura, es el quemado; fenómeno observado cuando el acero es calentado a temperatura elevada en atmosfera oxidante. Son muy expuestos a este tipo de fenómenos los aceros al cromo-níquel.

Las temperaturas para los aceros de distinta composición química

mica, son diferentes. Así para los aceros al carbón puede tomarse como temperatura máxima de calentamiento de cien a ciento cincuenta grados centígrados por debajo de la línea de solidus en el diagrama hierro-carbón, de este modo cuanto mayor sea el contenido de carbono, menor será la temperatura de calentamiento del acero.

Aunque en la práctica se trabaja con temperaturas ligeramente más bajas, no deja de ser cierto lo anteriormente expuesto. De este modo las temperaturas que generalmente se utilizan son del orden de doscientos a doscientos cincuenta grados abajo de la línea de solidus.

#### VII.-2 Calibrado Correcto de Canales

Una calibración correcta nos proporciona una reducción adecuada en cada pasada evitando con esto el sobrellenado o escases de llenado en cada pasada; de lo contrario nos provocaría defectos superficiales en el producto terminado. Previa a la instalación de cilindros deben verificarse cada uno de los canales, para asegurar que se está usando la calibración adecuada, según el diseño elaborado para dicho redondo. Este chequeo se efectúa con cada una de las plantillas trazadas para cada pasada. La plantilla consta de una planta metálica, en la cual vienen trazadas las dimensiones del canal, considerando además la separación entre rodillos.

Habiendo ejecutado lo anterior, no quiere decir que en las primeras pruebas se obtengan los resultados esperados, sino que el la-

nador irá corrigiendo con los ajustes necesarios las dimensiones correctas en cada pasada, tomando muestras en cada una de ellas para eliminar los posibles defectos que se presenten en el transcurso de la laminación.

### VII.-3. Ajustes del Molino

Debido a que los molinos en general sufren desajustes a causa del desgaste de los utensilios de soporte, es necesaria la revisión periódica de todas y cada una de las pasadas. Para este efecto el maestro laminador efectúa una supervisión mediante la cual tratará de mantener en buen estado el herramental y el ajuste correcto en cada pasada. Los desajustes más comunes se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Desplazamiento de cilindros con relación a la línea de laminación.
- b) Colocación adecuada de guías de entrada y de salida y desgastes de las mismas.
- c) Deficiencias del calibrado.

#### a) Desplazamiento de cilindros con relación a la línea de laminación.

La posición correcta de los cilindros origina que la barra pueda tomar un distinto sentido de giro como consecuencia de la influencia de varias circunstancias. Si vista en el sentido de la-

minación la barra gira hacia la izquierda se dice que hay torsión a izquierda, y si gira hacia la derecha se dice entonces que existe torsión a la derecha. Para reconocer la causa de esta torsión es necesario hacer una comparación de los "hombros". Por hombros se designa el diámetro tomado aproximadamente 30 grados por debajo de la abertura del canal. (figura No. 15)

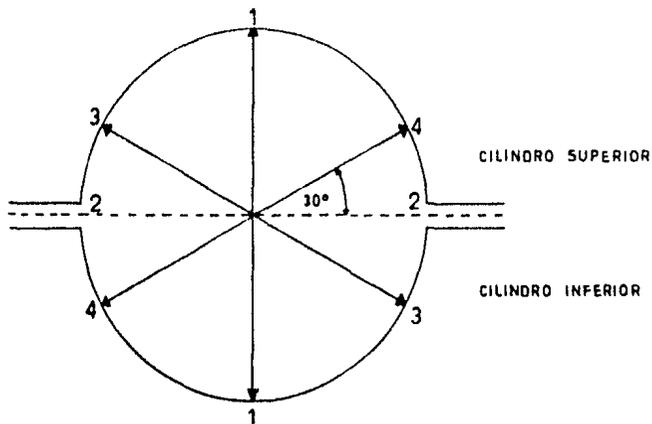
Si por ejemplo el hombro derecho fuese mayor que el izquierdo y la barra girase a la izquierda, es que los cilindros no están correctamente colocados entre sí sino tal y como lo indica la figura anterior. La mayor presión sobre el cuarto izquierdo superior y el derecho inferior provoca el giro de la barra hacia la izquierda. Para equilibrar la diferencia entre ambos hombros hay que atornillar el cilindro superior hacia la izquierda o el inferior hacia la derecha, con lo cual quedará eliminada la causa del giro de la barra, o sea la mayor presión sobre los cuadrantes superior izquierdo o inferior derecho.

b) Colocación inadecuada de guías de entrada y salida y desgastes de las mismas.

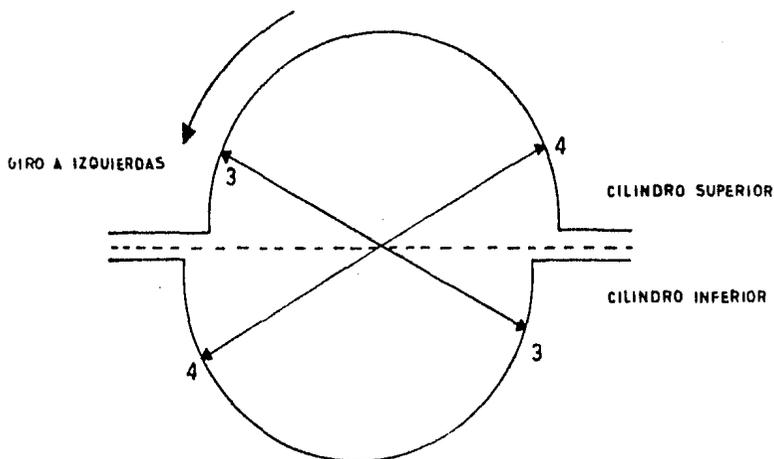
Como ya se menciona en el capítulo IV la función de las guías es dirigir el metal a la entrada y salida de los cilindros, dándole una dirección adecuada a la barra.

La mala colocación de éstos origina torsión del material y desajustes de los mismos.

La colocación inadecuada de este herramental provoca desajustes tanto en las cajas de entrada como de salida, ocasionando comúnmen-



MEDIDA DE LOS HOMBROS A  
EFECTUAR AL LAMINAR REDONDOS



EL HOMBRO DERECHO MAS FUERTE QUE EL  
IZQUIERDO POR LO QUE SE PRODUCE GIRO  
A IZQUIERDAS

Figura No. 15

U. N. A. M.
FACULTAD DE QUIMICA
TESIS PROFESIONAL

te mala dirección o puntas chuecas de la barra dando como resultado la mala operación del molino.

c) Deficiencias del Calibrado

El mal maquinado de los cilindros origina en los pasos intermedios que haya problemas en los pasos siguientes y en los pasos acabadores que haya deformaciones y mal acabado del material. Por ejemplo, puede originarse bigoteo o barras mal deformadas a causa de un sobrellenado en la pasada, descartando la posibilidad de desplazamientos de rodillos, lo que a su vez ocasiona que haya una mayor reducción de la prevista; además pueden aparecer en el producto terminado traslapes o grietas finas, al plegarse el exceso del material en cada pasada.

Las deficiencias de calibrado se pueden tolerar en los pasos iniciales o intermedios pero no en los pasos preparadores y acabadores.

## UNIDAD VIII

### CONCLUSIONES

Generalmente son muchos los problemas que se presentan al elaborar una calibración para producir un producto terminado, dado que las condiciones de trabajo pueden variar de un tipo de tren a otro. Debe apegarse en primer lugar a las situaciones que imperan en el momento, tomando en consideración la capacidad del tren de laminación, la disposición de la instalación y la clase de material que se va a laminar.

Es muy importante el número de cajas con que se cuenta para la realización de una calibración, ya que un mayor número de pasadas provoca una menor reducción de la pieza a laminar y se emplea un tiempo mayor para llevar a cabo la laminación; y por otro lado un menor número de pasadas implica una mayor reducción y en consecuencia mayor desgaste de los cilindros para una misma calibración. De esto se deduce que deben considerarse todas estas circunstancias, de tal manera que se obtenga la condición óptima, que será obtener un producto que cumpla con las exigencias de calidad requeridas y que a su vez no haya desgaste excesivo de cilindros, dado que el costo de labrado de canales es elevado y en un proceso de tipo continuo los cambios frecuentes deben evitarse al máximo.

Las primeras cajas, generalmente se encuentran lo más cerca po-

sible del horno de recalentamiento debido a que se provocarían altas caídas de temperatura si se hallaran distantes. No obstante, en la actualidad es posible aumentar el número de pasadas, incrementando el número de cajas, evitando con ello las altas reducciones por pasadas, apoyados con la modernización de trenes continuos con velocidades automáticas independientes, disminuyendo así el tiempo de laminado y la caída de temperatura.

Esta modernización ha requerido del cambio de los sistemas de soporte tradicionales por los nuevos dispositivos embalerados que ofrecen mayor precisión y poco desajuste en cada pasada, obteniéndose un mejor acabado.

El que un producto laminado sea aceptable o no, lo decide el usuario, el comprador, y en la mayoría de los casos la industria de la transformación, por lo que se deduce que las exigencias van cada día en aumento.

En México la tendencia a la modernización de plantas laminadoras va incrementándose, tratándose de crear una tecnología propia, y con ello un aumento considerable en la producción eliminando los sistemas tradicionales con bajas velocidades de laminación que imperaban en épocas anteriores.

## UNIDAD IX

### B I B L I O G R A F I A

- Beynon Ross, E.: Roll Design and Mill Layout, Publicación de "Asociación of Iron and Steel Engineers Pittsburgh; Pensilvania, Capítulo III págs. 14-20 y Capítulo V págs. 68-73.
- Díaz Gabriel y Villanueva Roberto: "Laminación de Productos No Planos. Seminario sobre selección de rodillos y su calibración. Guadalajara, México, 1979.
- Dieter E., George: Mechanical Metallurgy, segunda Edición Editorial McGraw Hill, 1972.
- Hoff H y Dahlt T.: Laminación y Calibrado de Cilindros, Editorial Dossat, Traducción en español del original en Alemán Walzen und Kalibrieren. Capítulo IV págs. 126-153, 1969.
- Trinks W.: Roll Pass Desing, Primera Edición Capítulo II y III "The Penton Publishing Co. 1973".
- Tselikov A.I. y Smirnov V.: Trenes de Laminación, Capítulos IV págs. 133-143, Séptima Edición. Editorial Urno 1970.
- Verduzco Miguel (Dr.): "Curso Panamericano de Metalurgia 1978" Laminación de Productos Planos, Instituto Tecnológico Regional de Saltillo. Apuntes.
- Wusatowsky Zigmunt: Fundamentals of Rolling, Tomo II capítulo 7.
- Canacero: "Análisis Estadísticos de Productos Siderúrgicos", folletos 1983.
- Camara Coordinadora de la Industria Siderúrgica: "Análisis Económico y Proyección de Demanda de Productos Siderúrgicos" Folletos.