

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCCION DEL ACERO CORRUGADO,
PARTIENDO DE
PALANQUILLAS LAMINADAS Y PALANQUILLAS DE COLADA CONTINUA"

Tesis de Grado
previa a la obtención del Título de
INGENIERO MECANICO

presentada por
MANUEL HAMBURGO SOLANO NUÑEZ

GUAYAQUIL-ECUADOR
1982





AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral,
y de manera especial a todos quienes conforman
el Departamento de Ingeniería Mecánica.

Al Ing. Antonio Viteri Mosquera, por su acerta-
da dirección para la culminación de este trabajo.

DEDICATORIA

A MIS PADRES, en quienes encontré en todo momento el apoyo decidido y quienes sabiamente me han guiado para alcanzar esta meta.

A MI ESPOSA, que me brindó todo su apoyo para poder culminar mi carrera profesional.

A MIS HIJOS, PATRICIA, SILVIA Y MANUEL, quienes constituyen el estímulo para seguir luchando en mi vida profesional.

A MIS HERMANOS, los cuales me brindaron la ayuda necesaria para seguir adelante en la ruta emprendida.

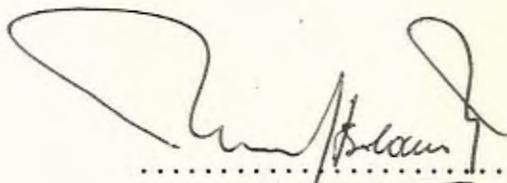


.....
Ing. Antonio Viteri Mosquera
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

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

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Manuel Hamburgo Solano Nuñez', is written over a horizontal dotted line.

MANUEL HAMBURGO SOLANO NUÑEZ

R E S U M E N

En el presente trabajo se explica el avance tecnológico que ha obtenido el lingotamiento continuo durante los últimos diez años, para obtener palanquillas de acero de 100 x 100 mm.; además se describe brevemente la máquina de colada continua. También se explica el método tradicional para obtener palanquillas de 100 x 100 mm. y luego el laminado de éstas para obtener el producto final (varillas de acero para la construcción). Posteriormente se realiza un estudio metalográfico comparativo de las dos clases de palanquillas y del producto final.

Los resultados obtenidos son analizados, y se llega a algunas conclusiones.



INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN.....	VI
INDICE GENERAL.....	VII
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XVI
SIMBOLOGIA.....	XVII
INTRODUCCION.....	18
I GENERALIDADES.....	19
1.1 Motivación.....	19
1.2 Comparación de Costos de Producción de Palanquillas median- te colada continua, con respecto a las obtenidas por lami- nado.....	20
II PRODUCCION DE PALANQUILLAS POR COLADA CONTINUA.....	22
2.1 Integración de la Colada Continua en la Tecnología Moderna de la fabricación del acero.....	22
2.2 Descripción de una Planta de Colada Continua.....	26
2.3 Breve Explicación de una máquina de colada continua con reducción en línea.....	33
III PRODUCCION DE PALANQUILLAS POR LAMINADO.....	37
3.1 Generalidades.....	37
3.2 Cilindros Preparadores de los trenes de semi-productos.....	37
3.3 Trenes y Calibres para Palanquillas.....	58

IV	METODO DE LAMINACION DE ACERO PARTIENDO DE PALANQUILLAS DE 100 x 100 mm. PARA OBTENER VARILLAS COMERCIALES.....	65
	4.1 Breve Análisis de la clasificación de los Cilindros.....	65
	4.2 Resistencia de los Cilindros.....	73
	4.3 Efectos de la temperatura de la barra sobre la resis- tencia de los cilindros.....	90
	4.4 Principios que gobiernan la entrada y deformación de la barra.....	93
	4.5 Disposición y geometría de canales para las diferentes medidas comerciales.....	105
V	ANALISIS COMPARATIVO DEL ACERO ANTES Y DESPUES DEL LAMINADO FINAL.....	106
	5.1 Análisis químico del material.....	106
	5.2 Análisis de la micro-estructura de la palanquilla de colada continua.....	112
	5.3 Análisis de la micro-estructura de la palanquilla la- minada.....	114
	5.4 Análisis de la micro-estructura del material terminado....	128
	5.5 Pruebas de Tracción, Dureza, Dobleza y Aplastamiento.....	136
	5.6 Análisis de Despunte, Cobles de las dos clases de palanquillas de experiencias efectuadas en ANDEC.....	144
	5.7 Análisis de las modificaciones de las propiedades del ace- ro debido a su deformación plástica.....	150

	<u>Pág.</u>
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	154
PLANOS Y GRAFICOS.....	158
BIBLIOGRAFIA.....	161

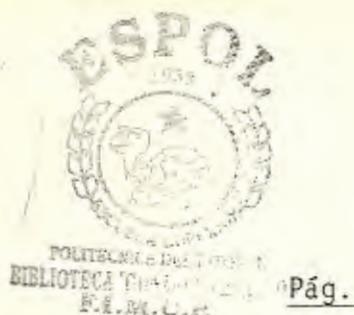


INDICE DE FIGURAS

<u>Fig.</u>		<u>Pág.</u>
2.1	Esquema del proceso que sigue el Mineral de Hierro hasta llegar a Producto Semi-Terminado.....	27
2.2	Máquina de Colada Continua.....	29
3.1	Trazado de Canales para una Caja Trío de Desbaste con cilindros de 650 mm. de diámetro.....	41
3.2	Trazado de Canales para un tren trío de 650 mm. de diámetro para laminación de lingotes de 260 x 200 mm., cada cuarta pasada es un cuadrado.....	42
3.3	Dimensiones de una Canal Rómbica.....	49
3.4	Representación Gráfica de las dimensiones de las Canales en un Trazado de Canales para palanquillas.....	57
3.5	Dimensiones de una Canal Ojival.....	59
3.6	Planta y Cilindros de un Tren Trío de Palanquillas.....	60
3.7	Planta de un Tren Cross-Country de Palanquillas.....	61
3.8	Planta de un Tren Continuo de Palanquillas.....	63
3.9	Tres Series de Canales para Palanquillas.....	64
4.1	Cilindro de Laminación.....	67
4.2	Cilindros de Simple Colada.....	70
4.3	Cilindros de Doble Colada.....	71

	<u>Pág.</u>
4.4 a) Angulo de Contacto en Laminación; b) Distribución de las Fuerzas y el Area de Control.....	75
4.5 Resistencia a la Deformación Plana Homogénea de aceros aleados y ordinarios a diferentes temperaturas y velocidades de deformación, para barras laminadas sin impedimento lateral y grandes espesores comparados con la longitud de contacto... 77	77
4.6 Resistencia a la deformación plana homogénea al acero medio y duro a diferentes temperaturas y velocidades de deformación para barras laminadas sin impedimento lateral y espesores grandes comparados con la longitud de contacto.....	78
4.7 Velocidad relativa de la barra y los cilindros.....	79
4.8 Cilindros y Barras.....	81
4.9 Figura exagerada para mostrar la flexión de los cilindros....	83
4.10 Proyección del Area de Contacto.....	85
4.11 Momento flector en un cilindro debido a una carga no aplicada en el centro del mismo. También se indican los momentos debidos a una carga distribuida.....	87
4.12 Momento flector y flecha en un cilindro producidos por una carga aplicada en un punto cualquiera.....	89
4.13 Velocidad de Enfriamiento de algunas barras de varios tamaños.....	92
4.14 Fuerzas que se originan al entrar una barra entre los cilindros para un ángulo de contacto grande.....	95
4.15 Fuerzas que se originan al entrar una barra entre cilindros,	

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
para un ángulo pequeño.....	96
4.16 Deformación de una barra debido al choque con los cilindros..	98
4.17 Relación entre el ángulo de agarre y la velocidad de los cilindros para una superficie áspera y pulida.....	99
5.1 Palanquilla de Colada Continua de producción nacional.Corte transversal 100 x 100 mm.....	115
5.2 Fotografía de la microestructura de la palanquilla de colada continua en el punto 1 dp la Fig. 5.1.....	116
5.3 Fotografía de la microestructura de palanquilla de colada continua en el punto 2 de la Fig. 5.1.....	116
5.4 Fotografía de la microestructura de palanquilla de colada continua en el punto 3 de la Fig. 5.1.....	117
5.5 Fotografía de la microestructura de palanquilla de colada continua en el punto 4 de la Fig. 5.1.....	117
5.6 Macrofotografía de palanquilla de colada continua, sin ataque, con defecto central, tinta penetrante.....	118
5.7 Macrofotografía de palanquilla de colada continua, con ataque, con defecto central.....	119
5.8 Fotografía de la microestructura de la palanquilla de colada continua en el punto 5 de la Fig. 5.1, o sea en el centro de la palanquilla. Se nota el rechupe central.....	120
5.9 Placa de acero de palanquilla laminada en CAP, Chile.....	122
5.10 Fotografía de la microestructura de palanquilla laminada en el punto 1 de la Fig. 5.9.....	123



5.11	Fotografía de la microestructura de palanquilla laminada en el punto 2 de la Fig. 5.9.....	123
5.12	Fotografía de la microestructura de palanquilla laminada en el punto 3 de la Fig. 5.9.....	124
5.13	Fotografía de la microestructura de palanquilla laminada en el punto 4 de la Fig. 5.9.....	124
5.14	Fotografía de la microestructura de palanquilla laminada en el punto 5 de la Fig. 5.9.....	125
5.15	Macrofotografía de palanquilla laminada con ataque.....	126
5.16	Palanquilla colada continua, zona central, sin ataque.....	127
5.17	Palanquilla laminada, zona central, sin ataque.....	127
5.18	Microestructura en el corte longitudinal de barra de producto terminado, partiendo de palanquilla de colada continua en el borde de la barra.....	130
5.19	Corte longitudinal de barra de producto terminado partiendo de palanquilla de colada continua (en el centro).....	131
5.20	Corte longitudinal de barra de producto terminado partiendo de palanquilla de colada continua (en el centro).....	131
5.21	Corte transversal de barra de producto terminado partiendo de palanquilla de colada continua en el borde de la barra....	132
5.22	Corte Transversal de barra de producto terminado partiendo de palanquillas de colada continua en el centro de la barra..	132
5.23	Corte longitudinal de barra de producto terminado partiendo de palanquillas laminadas en el borde de la barra.....	133

<u>№</u>	<u>Pág.</u>
5.24 Corte longitudinal de producto terminado, partiendo de palanquilla minada (en el centro).....	134
5.25 Corte longitudinal de producto terminado, partiendo de palanquilla laminada (en el centro).....	134
5.26 Corte transversal de barra de producto terminado de palanquilla laminada.....	135
5.27 Corte longitudinal de barra de producto terminado de barra laminada.....	135
5.28 Pruebas de Doblez de Barra de producto terminado de palanquilla laminada.....	138
5.29 Pruebas de Doblez de barras de producto terminado de palanquilla de colada continua.....	139
5.30 Dureza transversal de palanquilla de 100 x 100 mm.....	141
5.31 Dureza transversal de barra de producto terminados.....	143
5.32 Probetas de pruebas de aplastamiento. Producto de palanquilla de colada continua. a) Antes del aplastamiento; b) después del aplastamiento.....	145
5.33 Probeta de prueba de aplastamiento. Producto de palanquilla laminada. a) antes del aplastamiento; b) después del aplastamiento.....	146
5.34 Ruma de palanquillas cortadas en frío, listas para entrar al proceso de laminación para obtener varillas comerciales...	147
5.35 Despunte de palanquilla de colada continua importada.....	149

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
5.36	Corte transversal de la barra en todas las fases de laminación, para obtener varillas comerciales de 16 mm.....	151

INDICE DE TABLAS

	<u>Pág.</u>
1 Plan de Pasadas para la laminación de lingotes de 305 x 305mm. de acero especial, en 17 pasadas, a cuadrados de 14.5 mm. a realizar en un tren booming trío de 650 mm. de acuerdo a la Fig. 3.1.....	40
2 Plan de pasadas para el desbaste de lingotes de 260 x 160 mm., en un tren trío según figura. Casa segunda pasada es cuadrada..	43
3 Presión superior en el trazado de cilindros. Diámetros Ideales: del cilindro central 650 mm; del cilindro superior: $650-26=624$ mm; del cilindro inferior, $650+26=676$ mm.....	44
4 Dimensiones de las Canales en Rombo en función de la Superficie de Canal y del Angulo del Vertice 2α	53
5 Medidas para el trazado de un cilindro de palanquillas para la laminación de lingotes de acero especial de cuadrado de 100 mm. hasta cuadrado de 50 mm. en 8 pasadas.....	56
6 Composición Química de los Aceros.....	107
7 Tabla Comparativa de los Resultados de los Análisis de Tracción y Doblado en las barras de las dos clases de palanquillas. Grado Extraduro.....	137

S I M B O L O G I A

- h = Altura de la pasada
 λ = Alargamiento
a = Arista del cuadrado
Q = Area del Rombo
 ω_1 = Ancho inicial
 ω_2 = Ancho Final
 θ = Angulo de Contacto
b = Base de la psada
d = Diámetro
c = Ensanchamiento
 h_1 = Espesor Inicial
 h_2 = Espesor Final
 $^{\circ}\text{C}$ = Grados Centígrados
E = Módulo de Elasticidad
I = Momento de Inercia
M = Momento Flector
 α = Semiángulo mayor del rombo
S = Superficie del cuadrado
f = Tensión

I N T R O D U C C I O N

El acero con una producción mundial de 319 millones de toneladas en 1981, símbolo de progreso y riqueza, objetivo importante en los planes de desarrollo de numerosos países del Tercer Mundo, ha despertado en nuestro país un creciente interés y ha sido considerado como un material estratégico para el desarrollo y la defensa nacional. Con este punto de vista, se formó la empresa nacional ECUASIDER, la cual cuenta actualmente con una mini-acería de colada continua, una planta de laminación de perfiles redondos para la industria de la construcción, tiene planes de expansión que harán posible la completa sustitución de importación de palanquilla y de algunos perfiles de gran uso nacional. Al momento su producto principal son las varillas de hierro corrugado que se fabrican a partir de palanquillas fabricadas por colada continua de producción nacional o palanquillas importadas fabricadas por el mismo proceso o por laminación, siendo ésta última palanquilla la de uso convencional hasta los últimos años.

Siendo la colada continua un proceso nuevo en nuestro país se vió la necesidad de estudiar sus propiedades y además realizar un estudio comparativo de los productos obtenidos a partir de los dos tipos de palanquillas, estudio que consisten en el objeto del presente trabajo.



CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 MOTIVACION

Desde hace más de una década aquí en el Ecuador se empezó a laminar palanquillas laminadas de 80 x 80 mm. para la producción de varillas para la construcción. Toda esta materia prima era traída desde Chile de la CAP; poco a poco se fue probando con palanquilla de colada continua traída de EE.UU.

Actualmente, aquí en el Ecuador hay dos plantas laminadoras: Adelca en Quito y Andec en Guayaquil. Las dos plantas ocupan como materia primera palanquilla de colada continua, que como demostraremos en este estudio es de mejor calidad y sale a menor precio. Esto motivó al Estado a montar una Acería para la producción de palanquilla por colada continua, FUNASA.

El motivo de este trabajo, es realizar un estudio comparativo entre el proceso de laminación, partiendo de palanquilla de colada continua y aquel que usa palanquilla obtenida por laminación.

1.2 COMPARACION DE COSTOS DE PRODUCCION DE PALANQUILLAS MEDIANTE COLADA CONTINUA, CON RESPECTO A LAS OBTENIDAS POR LAMINADO

La producción de palanquillas por laminado, requiere que inicialmente se obtengan lingotes de acero. Estos lingotes son de diferentes medidas, dependiendo de la capacidad de los rodillos desbastadores de las plantas. Algunas acerías integradas trabajan con lingotes de 300 x 300 x 1.650 mm. de altura.

En nuestro país inicialmente se producían lingotes de 150 x 150 mm. y 1.450 mm. de altura. Estos lingotes se los introduce en un horno para su homogeneización previa a la laminación en trenes desbastadores. Es decir, para obtener palanquillas laminadas tenemos que pasar por los siguientes puntos:

- Lingotamiento
- Desmoldeo
- Transporte
- Calentamiento
- Laminado

Todo ésto implica costos y tiempo; un costo muy sobresaliente es la energía que se necesita para este proceso. En la obtención de palanquilla por colada continua es totalmente diferente, hay un ahorro de tiempo y de energía para obtener esta palanquilla, lo

único que se necesita es la máquina de colada continua.

Las estadísticas muestran que en el año 1974, la utilización de máquinas de colada continua, produjo un ahorro de energía de --- 250.000 Kcal. por tonelada de acero, para instalaciones sin reducción en línea. Sin embargo, plantas con instalaciones completas de colada continua y reducción en línea de la palanquilla aún caliente, han logrado un ahorro adicional de 350.000 Kcal. por tonelada de acero, lo cual representa un ahorro total de 550.000 Kcal. por tonelada de acero (1).

sobre la colada convencional.

- Rendimiento metálico obtenido entre el acero líquido semi-elaborado hasta un 98%.
- Incremento de capacidades en etapas económicas sin la necesidad de grandes inversiones iniciales.
- Costos de inversión, por lo general más reducido.
- Elimina el proceso del desbaste.
- Ahorro de energía.
- Menores costos de transformación y mejor calidad de los productos obtenidos.
- Mejores condiciones de trabajo y menos contaminación ambiental.
- Adaptabilidad a todos los diferentes procesos de fabricación de acero, y posibilidad de integración a plantas de diferentes tamaños.

La planta de este tipo en el Ecuador es un ejemplo característico del impulso actual en América Latina por buscar el camino de nuevas tecnologías, principalmente por la gran falta de carbón coqueable. Esta planta tiene proyectado para dentro de cinco años, producir tanto acero en lingotamiento continuo, como la demanda del país lo requiera, evitándose así la importación del acero, la misma que en la actualidad representa un porcentaje significativo en los rubros de importación.

A todas estas plantas pequeñas se las conoce con el nombre de miniacérfas y por las ventajas anteriormente mencionadas, la colada continua es un factor indispensable para estas plantas.

Dado el enorme avance de la colada continua, las plantas equipadas con este sistema se ven obligadas a comprar cantidades enormes de chatarra. Es obvio, que la disponibilidad de hierro esponja en el mercado mejora notablemente esta situación.

Mezclando la chatarra de baja calidad con hierro esponja en la carga de los hornos eléctricos, no sólo se reemplazará una parte de ella con la consiguiente ventaja económica, sino también se mejora notablemente la colabilidad del acero en las máquinas de colada continua. Esto se debe a que el hierro esponja es una materia virgen, libre de las contaminaciones en forma de cobre, estaño y demás elementos indeseables inherentes a la chatarra.

La década del cincuenta marca el comienzo en la colada continua en su etapa industrial. En aquella época, las primeras máquinas estaban conectadas principalmente a hornos eléctricos, y en forma excepcional a hornos con solera abierta. Casi una década después, la colada continua fue adoptada por las Acerías BOP (Basic Open-Herath Process), cuyo avance en el campo siderúrgico estaba en plena vía de desarrollo.

La inyección de oxígeno por el fondo desarrollada unos 16 años después del nacimiento del convertidor BOP, facilita especialmente la incorporación de la colada continua a las acerías que trabajan con arrabio de alto contenido de fósforo. Estas acerías, que antes trabajaban con el proceso de soplado por el fondo, con aire solo o con aire enriquecido mediante oxígeno, no tenían las condiciones; sobre todo, por razones de temperatura, para incorporar en las mismas el sistema de colada continua. Es interesante destacar que en el transcurso de los últimos años la capacidad de estos convertidores con soplado por el fondo, llegó aproximadamente a los 18 millones de toneladas anuales.

Entre los aspectos más sobresalientes de esta nueva tecnología de aceración al oxígeno, se puede mencionar la adaptabilidad a los diferentes tipos de arrabio con respecto al contenido de fósforo y de silicio. Así, el proceso es apto para trabajar con arrabio con contenidos de fósforo de 0.01 hasta 2% y de silicio de 0.02 hasta 1.4% (1). Su flexibilidad metalúrgica todavía se extiende a una buena disminución de contenido de azufre, y especialmente la separación del fósforo se ve mejorada por la posibilidad de inyectar cal en forma de polvo junto con el oxígeno. La más baja oxidación del hierro corresponde a un contenido de óxido de hierro en la escoria, más bajo que en el proceso BOP. Todas estas mejoras también se reflejan en el sistema de colada continua y complementa a su vez, la técnica de colada. Además,

se debe mencionar que en comparación con el proceso BOP, el proceso de insuflado por el fondo, tiene un tiempo menor entre cada colada. Así, el ciclo de producción acelerado tiene importancia en la incorporación del proceso de la colada continua, especialmente la tan deseada colada secuencial, con su mayor rendimiento y ahorro en tiempo, mano de obra y material.

Desde su comienzo industrial, la colada continua ha logrado un buen avance y hoy es un proceso seguro y confiable, en el cual los nuevos desarrollos dependen cada día más de la precisión del tratamiento metalúrgico del acero, requisito predominante en las áreas contiguas a la colada continua.

La Figura # 2-1 (2) muestra esquemáticamente el proceso completo que sigue el mineral de hierro hasta llegar a producto semi-terminado, ya sea por el proceso convencional (ruta A), o por el método de colada continua (ruta B).

2.2 DESCRIPCION DE UNA PLANTA DE COLADA CONTINUA

En esta sección, se describe la planta de colada continua montada en el país, el objetivo principal del montaje de esta máquina, es lograr un gran volumen de producción con el menor número posible de líneas, principalmente a través de altas velocidades de colado, operación continua y alta disponibilidad de la máquina.

FIGURA N° 2.1

**ESQUEMA DEL PROCESO COMPLETO QUE SIGUE EL MINERAL DE HIERRO
HASTA LLEGAR A PRODUCTO SEMI-TERMINADO**



Figura: 2.1

La Figura # 2-2 muestra un plano general de esta instalación.

La máquina de colada continua está compuesta de las siguientes partes:

- Distribuidor
- Lingotera
- Tramo curvo
- Extractora - Endereazadora
- Camino de rodillos
- Falso lingote
- Cizalla mecánica
- Mesa de enfriamiento
- Servicios generales

DISTRIBUIDOR.- Es un recipiente revestido interiormente con material refractario y su objetivo es amortiguar el impacto del chorro de acero que cae desde la cuchara y dosifican el caudal que entra en la lingotera. El revestimiento de material refractario deberá ser de espesor suficiente para evitar pérdidas excesivas de temperatura y está compuesta de tres capas:

- a. Revestimiento aislante
- b. Revestimiento permanente o de seguridad
- c. Revestimiento de desgaste

- A = Cuchara
- B = Distribuidor
- C = Lingotera
- D = Tramo Curvo
- E = Extractora-Enderezadora
- F = Cizalla mecánica
- G = Mesa de enfriamiento

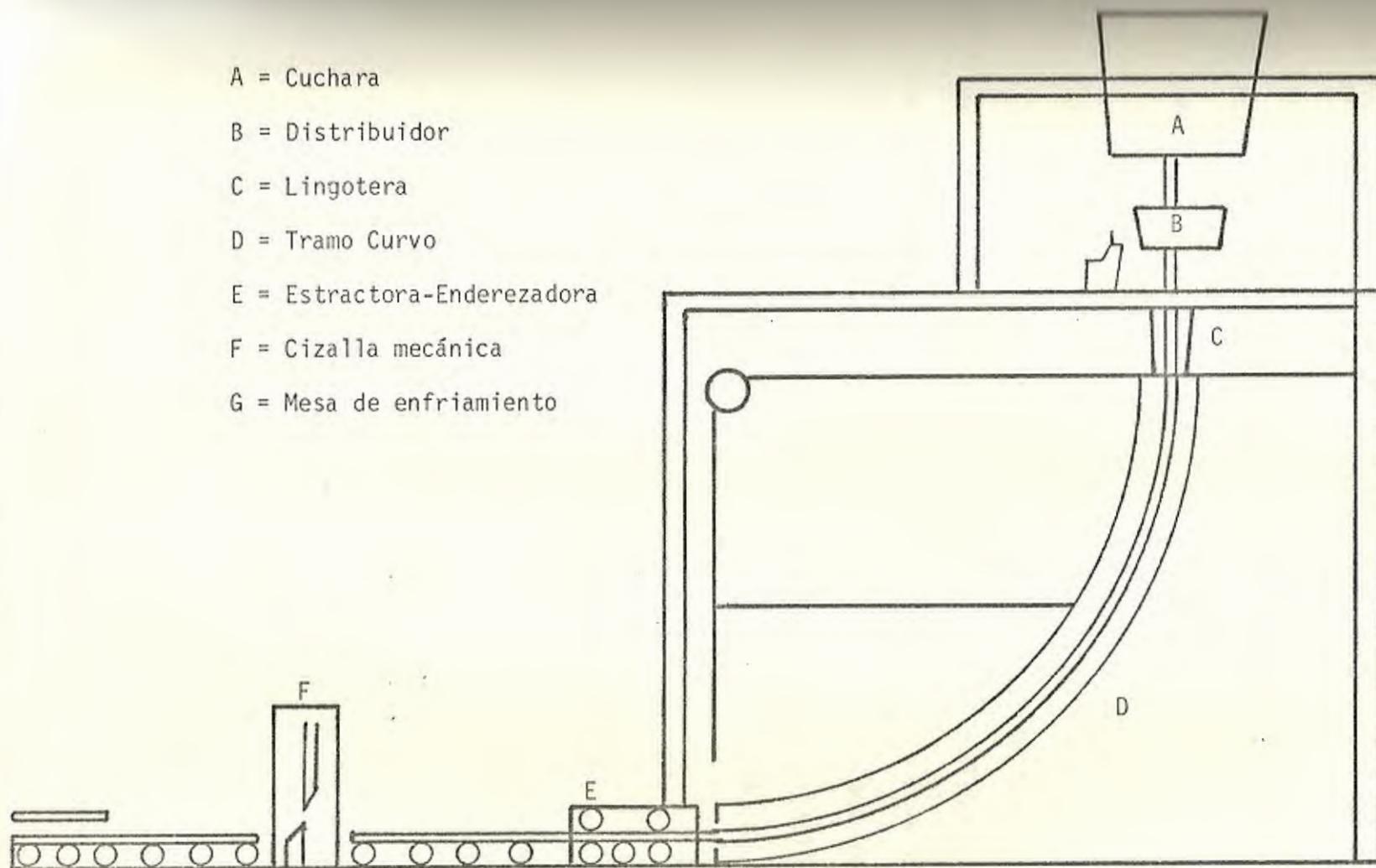


Fig. 2.2.- Máquina de Colada Continua

El punto de impacto del chorro de acero que cae de la cuchara tiene un desgaste muy fuerte, por lo tanto, se recomienda usar un material refractario de alta alúmina (aprox. 85% Al_2O_3). Los orificios por donde cae el acero hacia la lingotera se llaman buzas del distribuidor y son de Silicato de zirconio y las portabuzas son de chamota (45% Al_2O_3) (3).

LINGOTERA.- Es un tubo de cobre altamente refrigerado, aquí es la primera parte de la instalación donde el acero líquido adquiere la forma y las dimensiones de la palanquilla que se va a obtener. La boca superior del tubo colocado verticalmente, recibe el acero proveniente del distribuidor y por la parte inferior sale la palanquilla con una camisa de acero solidificada capaz de vencer la presión hidrostática del acero líquido que se encuentra en su interior.

La lingotera en su parte superior tiene cuatro entradas para lubricación con aceite vegetal, para mejorar el contacto acero líquido-tubo de cobre, al mismo tiempo, para proteger de la oxidación del baño de acero en la lingotera. En la parte inferior tiene cuatro rodillos locos que guían la palanquilla hacia el tramo curvo, también tiene un anillo de pulverización intensivo de agua para acelerar la solidificación superficial de la palanquilla.

TRAMO CURVO.- La misión del tramo curvo es completar la solidificación de la palanquilla que viene de la lingotera y cambia el sentido vertical que trae en sentido horizontal; para lo cual este tramo es de 4 metros de radio y está formada por una estructura de soporte que sirve para que sobre ella se monten los rodillos guías, los tirantes de regulación y todo el conjunto de tubos y pulverizadores.

EXTRACTORA-ENDEREZADORA.- La función de esta máquina es la siguiente:

- Controlar la velocidad de extracción de la palanquilla en función del caudal de acero que entra en la lingotera, con objeto de mantener sensiblemente constante el nivel del baño dentro de la lingotera.
- Enderezar la palanquilla solidificada en la lingotera y en el tramo curvo, para poder enviarla rectilínea y horizontal a la estación de corte.
- Transportar al falso lingote a través del tramo curvo, hasta introducir al mismo dentro de la lingotera, para empezar la colada.

Los rodillos extractores-enderezadores están compuestos de:

- Una base inferior
- Dos brazos de presión fijados sobre la mesa
- Cinco rodillos extractores.



Los rodillos giran sobre cojinetes a rótula y son 3 rodillos inferiores y 2 superiores. Sobre el lado de entrada a la enderezadora está la deslizadora que tiene la curvatura de radio igual a 4m. y recibe la palanquilla inmediatamente que sale del tramo curvo, la cual facilita la entrada en la enderezadora.

FALSO LINGOTE.- El falso lingote sirve para el sellado del principio de la colada en la parte inferior de la lingotera, de aquí se la extrae y se la guía hasta los rodillos extractores. Una vez que la cabeza del falso lingote y del despunte inicial han pasado la cizalla, se separan de la línea y por medio de cilindros neumáticos se lo lleva a su posición de almacenamiento.

CIZALLA MECANICA Y MESA DE ENFRIAMIENTO.- Es una máquina neumáticamente y sirve para efectuar el corte de la palanquilla según las medidas deseadas. Después de haber sido cortada la palanquilla a la longitud deseada, se la transporta por medio de un camino de rodillos hasta la mesa de enfriamiento, la cual está compuesta por tubos refrigerantes que se encuentran montados sobre una estructura metálica.

SERVICIOS GENERALES.- Los servicios más importantes que se necesitan para el funcionamiento de la máquina de colada continua son los siguientes:

- Energía eléctrica, siendo este servicio el más importante.
- Sistema neumático.
- Sistema Hidráulico.
- Engrase Centralizado.
- Tomas de oxígeno con central.
- Tomas de acetileno con central
- Equipo de refrigeración, el cual consta de piscinas, torres de enfriamiento, intercambiador de calor, bombas, filtros de arena y circuitos de cañerías que van hasta la máquina.

2.3 BREVE EXPLICACION DE UNA MAQUINA DE COLADA CONTINUA CON REDUCCION EN LINEA

La instalación que se acaba de describir, es sin reducción en línea, en otros países más desarrollados hay equipos de colada continua en la cual se produce la reducción en línea, cuyo objetivo es colar y laminar las barras aprovechando el calor que traen consigo, para obtener un producto uniforme y de mejor calidad. Este tipo de equipos y su descripción escapa al alcance de este trabajo.

DEFECTOS EN PALANQUILLAS DE COLADA CONTINUA.- En las palanquillas de colada continua, hay aún limitaciones y criterios que requieren una atención meticulosa para que puedan producirse productos aceptables, particularmente con relación al mayor rendimiento y calidad; habrá que prestarle atención a la calidad del acero líquido que es llevado a la máquina. La rãpi -

pida solidificación y las consiguientes tensiones superficiales, que caracterizan al proceso, hacen necesario controlar dentro de límites estrictos la temperatura del acero en la cuchara y distribuidor, así como controlar la metalurgia y la química de la aceración, en particular con respecto a la limpieza y al estado de desoxidación. A continuación detallamos algunos defectos de palanquillas en colada continua:

- 2.3.1 Sopladuras.- Porosidad de superficie y subcutánea, ambas asociadas a las prácticas de aceración y técnicas de desoxidación y la oxidación secundaria durante la colada a la lingotera.
- 2.3.2 Grietas Externas.- Pequeñas y numerosas grietas transversales y grietas longitudinales graves, todas ellas asociadas a la velocidad de solidificación, siendo ello influenciado por la temperatura y la velocidad de la colada y la deficiencia de enfriamiento de la lingotera y del enfriamiento secundario.
- 2.3.3 Agrietamiento Interno.- Son grietas centrales o diagonales, asociadas al esquema de solidificación, pero también de mayor tamaño o niveles crecientes del contenido de azufre en el acero.

2.3.4 Anormalidades de Forma.- Principalmente aristas romboidales y concavidades como resultado de enfriamiento no uniforme y sobrenfriamiento.

2.3.5 Defectos de Superficie.- Estos pueden ser numerosos y diversos en cuanto a su naturaleza, como su excesiva salpicadura de escoria y de metal, marcas profundas por las guías, etc.

2.3.6 Inclusiones.- Estas provienen de dos fuentes:

a. Pueden ser producto de la desoxidación en el proceso de aceración.

b. También pueden ser partículas que surgen de la disolución de los materiales refractarios de la cuchara, distribuidor y buza de colada.

2.3.7 Perforaciones.- Este defecto asociado a la ruptura de la piel en vía de solidificación, es el defecto más grave que se puede presentar en la colada continua y tiene por resultado una pérdida grave de la disponibilidad de la máquina. Las causas son frecuentemente inciertas y pueden ser metalúrgicas, térmicas, mal funcionamiento asociado a parámetros de colada incorrectos, prepa-

ración de la máquina como por ejemplo, mal colocada la cabeza de la palanquilla falsa.



CAPITULO III

PRODUCCION DE PALANQUILLAS POR LAMINADO

3.1 GENERALIDADES

En acero líquido obtenido en un horno eléctrico, en vez de pasar a la máquina de colada continua, se lo lingotea en moldes de diferentes medidas y así obtenemos los lingotes que se los lamina en un tren desbastador trío, que según el diseño del laminador se harán el número de pasadas que éste indique. Así es como obtenemos las palanquillas que pertenecen al grupo de semi-productos, las cuales han de ser después laminadas. Las palanquillas laminadas son cuadrados de aristas redondeadas de 59 x 59 mm. como mínimo y 130 x 130 mm. como máximo.

3.2 CILINDROS PREPARADORES DE LOS TRENES DE SEMI-PRODUCTOS

Los cilindros preparadores tienen la finalidad de reducir, o sea, de someter a una primera laminación a la sección inicial de un lingote hasta la sección apropiada para que pueda ser laminada hasta producto final. Para los cilindros preparadores de los trenes semi-productos destinados a la producción de palanquillas,

convienen principalmente las canales alargadoras, en las cuales la reproducción de sección admisible por pasadas es considerablemente grande, estas series son cuadrado-rombo, cuadrado-óvalo, óvalo-redondo y óvalo-óvalo.

En este estudio, nos ocuparemos solamente del trazado de canales de aquellos cilindros preparadores, cuya misión es la de llevar a cabo un alargamiento con una sección de forma prácticamente constante. En el trazado de canales de los cilindros preparadores pueden influir decisivamente dos puntos de vista. 1º) Interesa particular y únicamente una eficaz disminución de la sección. 2º) El mayor número posible de cuadrados entre la sección inicial y final.

En lo que se refiere al caso señalado en primer lugar puede servirnos de ejemplo el trazado de la Figura 3.1 y el plan de pasadas de la Tabla 1. Debemos anotar el hecho de que las pasadas 1 y 3, 2 y 4 se hacen en el par de canales I. Esto ofrece la ventaja de ahorrar en la tabla el espacio de una canal, el cual puede ser aprovechado luego para hacer las otras canales más anchas, lo cual favorece a la laminación rápida. El segundo caso queda bien de manifiesto por los trazados de canales de la Figura 3.2, así como por el correspondiente programa de pasadas de la Tabla 2.

En la Figura 3.1, nos podemos dar cuenta que la reducción relativa de altura es escasa en las primeras pasadas y va aumentando paulatinamente. En este método, cuando los 3 cilindros tienen igual diámetro, la presión superior es proporcional a la reducción de altura en la respectiva pareja de canales. Si se quiere lograr que la presión superior sea igual que todas las parejas de canales, hay que prever entonces en todas ellas una idéntica reducción de altura, tal y como hecho los trazados de la Figura 3.2, según explicamos en la Tabla 3. No es posible decidir sobre cual es la magnitud correcta para la presión superior o inferior, por no disponer de resultados de investigación ni de la suficiente experiencia práctica para ello. No obstante, en esta clase de trabajo, es posible lograr con facilidad la deseada proporción de presión superior o inferior, variando sencillamente el diámetro del cilindro superior o inferior.

La magnitud del alargamiento desde la pasada inicial hasta la pasada final varía análogamente a la magnitud de la reducción relativa de altura. Para la canal preparadora es deseable una gran selección de cuadrados hasta el punto de haber previsto un pequeño escalonamiento. Para ello son muy indicadas las canales en cuadrado y rombo, los cuales dan un alargamiento menor que la serie cuadrado-óvalo. La canal ojival también cuenta con esta ventaja como canal preparadora, pero tiene un inconveniente y es que en ella las barras voltean fácilmente, razón por la cual es menos

Plan de pasadas para la laminación de lingotes de 305 x 305 mm.
de acero especial, en 12 pasadas, a cuadrados de 145 mm. a realizar
en un tren blooming trío de 650 mm. de acuerdo a la Fig. 3.1.

Pasada Núm.	Canal Núm.	h mm.	b mm.	Δh mm.	Δb mm.	$\frac{h_o}{h}$	$\frac{\Delta h \cdot 100}{h_o}$	Ensanchamiento
0	-	305	305	-	-		-	-
1	1 u	274	310	31	5	1.11	10.15	Restringido
2	1 o	242	310	32	0	1.13	11.68	Impedido Voltear
3	1 u	274	252	36	10	1.13	11.60	Libre
4	I o	242	262	32	10	1.13	11.68	Libre Voltear
5	II u	221	247	41	5	1.14	12.30	Restringido
6	II o	194	247	27	0	1.11	12.20	Impedido Voltear
7	III u	216	199	31	5	1.14	12.55	Restringido
8	III o	189	199	27	0	1.14	12.50	Impedido
9	IV u	163	204	26	5	1.16	13.75	Restringido
10	IV o	140	204	23	0	1.16	14.10	Impedido Voltear
11	V u	172	145	32	5	1.18	15.70	Restringido
12	V o	145	145	27	0	1.17	15.70	Impedido

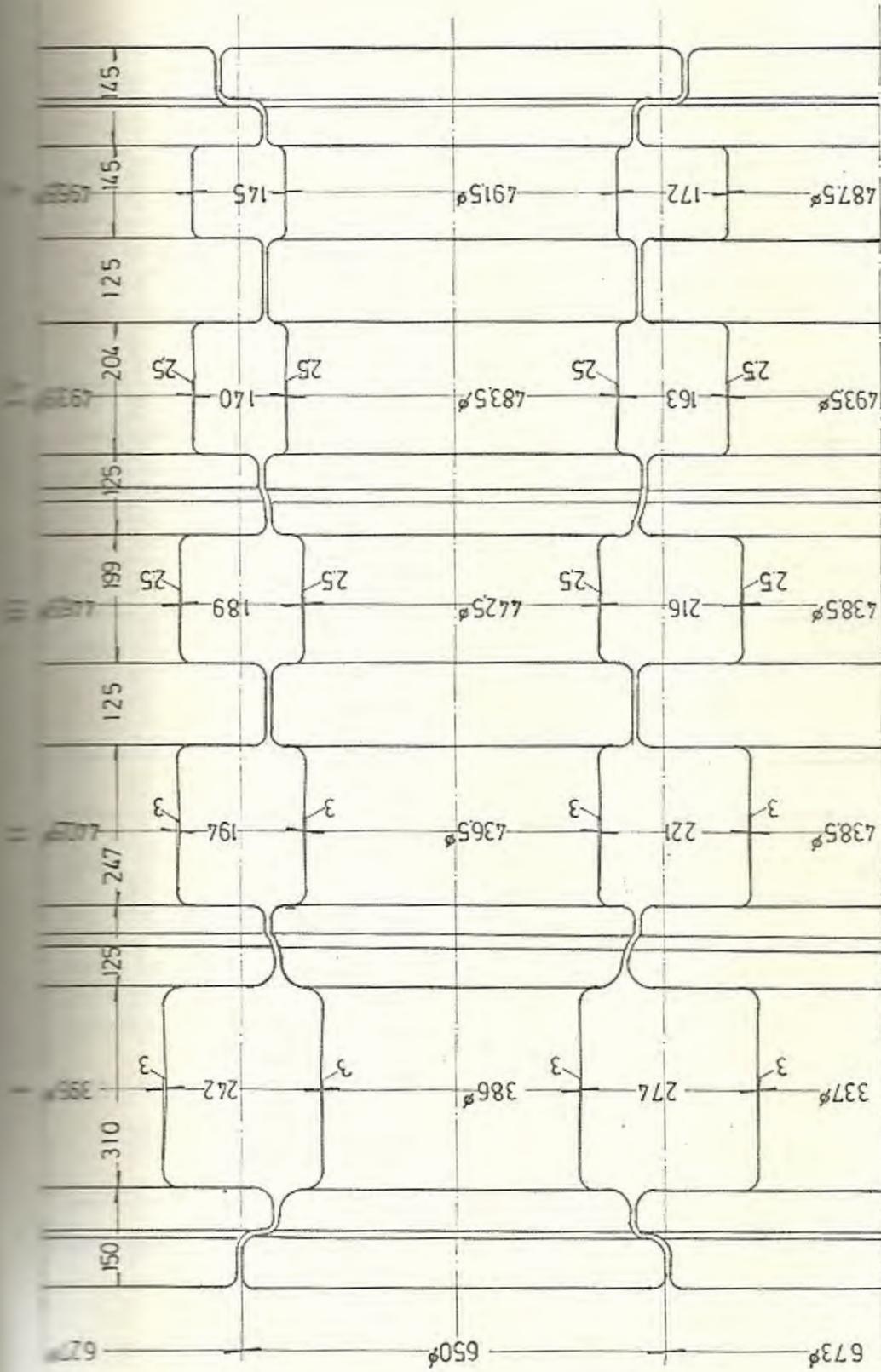


Fig. 3.1.- Trazado de Canales para una Caja Trío de desbaste con cilindros de 650 mm. de diámetro.



T A B L A N° 2

Plan de Pasadas para el desbaste de lingotes de 260 x 260 mm., en un tren trío según figura.

Cada segunda pasada es cuadrada

POLITECNICA DE BELOYARSK
 БЕЛОУСЬКА ПОЛИТЕХНИКА
 P.I.M.C.42

Pasada Núm.	Canal Núm.	h mm.	b mm.	Δh mm.	Δb mm.	$\frac{\Delta h \cdot 100}{h}$	
0	-	260	260	-	-	-	
1	I o	234	265	26	5	10.0	Voltear
2	II u	239	239	26	5	9.8	
3	II o	213	239	26	0	10.89	Voltear
4	III u	218	218	26	5	10.89	
5	III o	187	218	26	0	21.2	Voltear
6	IV u	192	192	26	5	11.91	
7	IV o	166	192	26	0	13.52	Voltear
8	V u	166	171	26	5	13.52	
9	V o	140	171	26	0	15.68	Voltear
10	VI u	145	145	26	5	15.20	
11	VI o	119	145	26	0	17.92	Voltear
12	VI o	119	124	26	5	17.92	

TABLA N° 1

Presión superior en el trazado de Cilindros. Diámetros Ideales:

Del cilindro central 650 mm;

Del cilindro superior $650-26=624$ mm;

Del cilindro inferior, $650+26=676$ mm.(Fig.3.2)

PAREJA DE CANALES Medidas	I mm	II mm	III mm	IV mm	V mm	VI mm
Reducción de altura	26	26	26	26	26	26
Cilindro Superior Presión Superior	0	0	0	0	0	0
Cilindro Central Distensión por seg.	0	0	0	0	0	0
Cilindro Central Presión Superior	0	0	0	0	0	0
Cilindro Inferior Distensión por seg.	0	0	0	0	0	0
<u>Diámetro de Trabajo</u>						
del cilindro central	403	424	450	471	497	518
del cilindro superior	403	424	450	471	497	518
del cilindro inferior	403	424	450	471	497	518

usada.

A continuación explicamos unos trazados de cilindros preparadores con canales en cuadrado y rombo.

Se va a trabajar con un alargamiento λ y el ensanchamiento $\Delta b = c\Delta h$

$Q_1, Q_3, Q_5, \dots, Q_n$ son de sección cuadrado

$Q_2, Q_4, Q_6, \dots, Q_n + 1$ son de sección rectangular.

Los rectángulos Q_2, Q_4, Q_6 , se voltean y luego se comprimen en forma de cuadrados Q_3, Q_5, Q_7 .

Se tiene la siguiente relación:

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \frac{Q_3}{Q_5} = \frac{Q_5}{Q_7} = \dots = \frac{Q_n}{Q_n + 2}$$

h = altura de la pasada

$$Q = hxb$$

b = base de la pasada

hxb (cuadrado)

c = ensanchamiento

$$\frac{h_1}{h_3} = \frac{h_3}{h_5} = \dots = \frac{h_n}{h_n + 2}$$

$$\frac{b_1}{b_3} = \frac{b_3}{b_5} = \dots = \frac{b_n}{b_n + 2}$$

$$\therefore \frac{Q_1}{Q_3} = \frac{Q_3}{Q_5} = \frac{Q_5}{Q_7} \rightarrow \frac{h_1}{h_3} \cdot \frac{b_1}{b_3} = \frac{h_3}{h_5} \times \frac{b_3}{b_5} = \frac{h_5}{h_7} \times \frac{b_5}{b_7} \rightarrow \lambda^2 = \lambda^2 = \lambda^2$$

$$\therefore \frac{Q_n}{Q_{n+2}} = \lambda^2$$

Las dimensiones de los rectángulos comprendidos entre las secciones cuadradas se calculan de la siguiente manera:

$$b_2 = b_1 + \Delta b = h_1 + \Delta b$$

$$\Delta b = C \cdot \Delta h \therefore b_2 = h_1 + c (h_1 - h_2)$$

h_2 se la obtiene como función dependiente de h_1

$$Q_2 = h_2 \cdot b_2 = h_2 [h_1 + c (h_1 - h_2)] = h_2 \cdot h_1 + C h_2 h_1 - C h_2^2$$

$$Q_2 = \frac{Q_1}{\lambda} = \frac{h_1^2}{\lambda}$$

$$\frac{h_1^2}{\lambda} = h_2 \cdot h_1 + c h_2 h_1 - c h_2^2$$

$$c h_2^2 - c h_2 h_1 - h_2 h_1 + \frac{h_1^2}{\lambda} = 0$$

$$h_2^2 - h_2 h_1 - \frac{h_2 h_1}{c} + \frac{h_1^2}{c \lambda} = 0$$

$$h_2^2 - h_2 h_1 \left(1 + \frac{1}{c}\right) + \frac{h_1^2}{c \lambda} = 0$$

$$h_2 = \frac{h_1 \left(1 + \frac{1}{c}\right) \pm \sqrt{h_1^2 \left(1 + \frac{1}{c}\right)^2 - \frac{4h_1^2}{c \lambda}}}{2}$$

$$= \frac{h_1 \left(1 + \frac{1}{c}\right) \pm \sqrt{h_1^2 \left(1 + \frac{1}{c}\right)^2 - \frac{4h_1^2}{c\lambda}}}{2}$$

$$h_2 = h_1 \left[\pm \sqrt{\left(\frac{1+c}{2c}\right)^2} - \frac{1}{c\lambda} + \frac{1+c}{2c} \right]$$

$$k = \pm \left[\sqrt{\left(\frac{1+c}{2c}\right)^2} - \frac{1}{c\lambda} + \frac{1+c}{2c} \right]$$

$$h_2 = K \cdot h_1$$

Como tenemos $\pm K$, sólo es posible aquél que es menor que uno, puesto que la altura de la pieza decrece como consecuencia de la presión.

Sabemos que: $b_2 = \frac{Q_2}{h_2}$

De acuerdo con el cálculo anterior se tienen los siguientes resultados:

$$\frac{h_1}{h_3} : \frac{h_3}{h_5} = \lambda; \frac{b_1}{b_3} \frac{b_3}{b_5} = \lambda \quad (\text{en cuadrados})$$

$$\frac{h_2}{h_4} : \frac{h_4}{h_6} = \lambda; \frac{b_2}{b_4} \frac{b_4}{b_6} = \lambda \quad (\text{en rectángulos})$$

Tanto al aplanar el cuadrado como al comprimir el rectángulo para convertirlo en cuadrado, la reducción relativa de altura es:

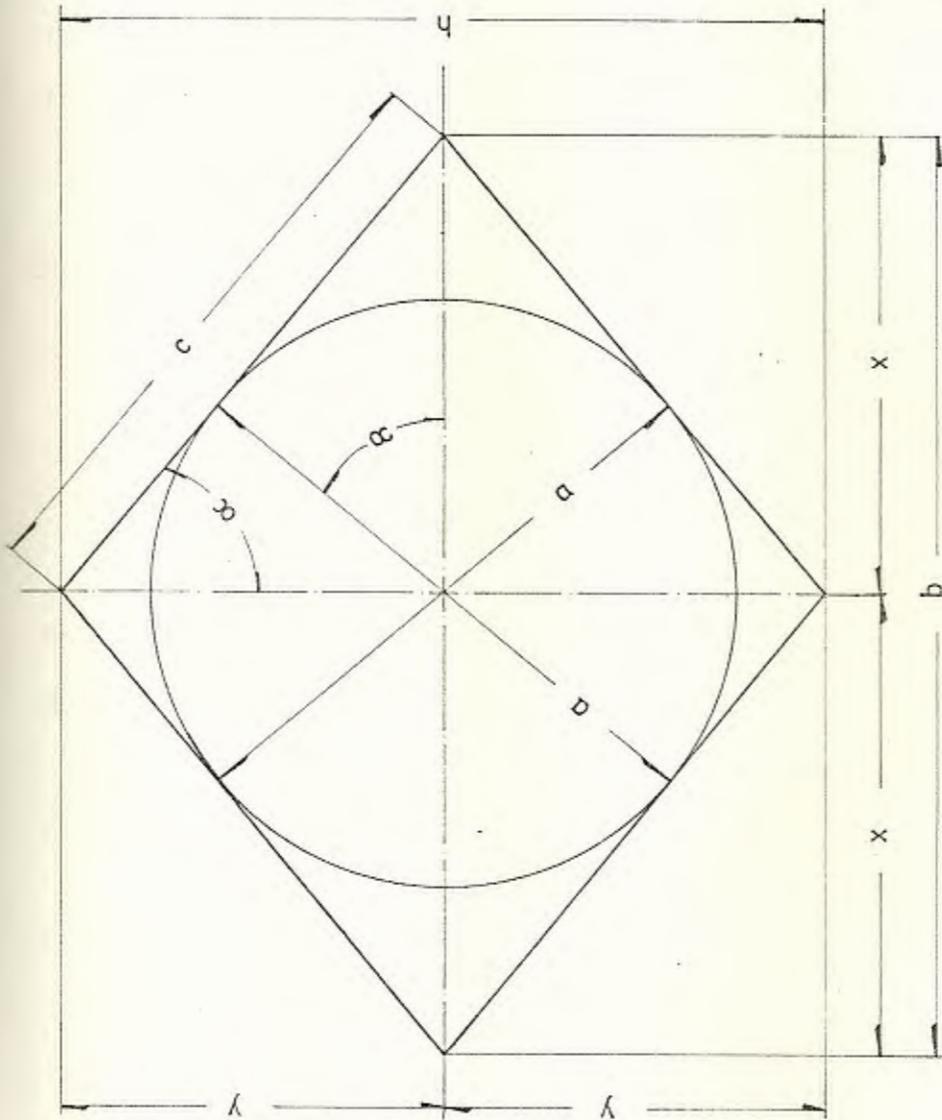
$$\begin{aligned}
 & \left(\frac{h_1 - h_2}{h_1} \right) \times 100 \\
 = & \left(\frac{h_1}{h_1} - \frac{h_2}{h_1} \right) 100 \\
 = & \left(1 - \frac{h_2}{h_1} \right) 100 \\
 = & (1 - K) 100
 \end{aligned}$$

Ejemplo: Si tenemos un 20% de ensanchamiento $C = 0.20$ y $\lambda = 1.2$, tendremos que $K = 0.8$ y la reducción realtiva de altura es 20%.

Las secciones rectangulares están dispuestas entre el cilindro superior y el central y las secciones cuadradas, entre el cilindro central y el inferior. La barra se voltea al descender desde el plano superior de la pasada hasta el inferior. Por consiguiente, el volteo pueden tener lugar automáticamente.

A continuación se explica un trazado de cilindros preparadores en cuadrado y rombo. En las canales en rombo se gira la barra después de cada pasada, obteniendo en éstas un cuadrado perfecto. La canal acabadora alarga dos veces, teniendo entonces las diagonales arroximadamente las mismas dimensiones. Supongamos que el alargamiento λ y el ángulo α en el vértice del rombo son invariables, Fig. 3.3.

FIGURA Nº 3.3



DIMENSIONES DE UNA CANAL ROMBICA

La superficie del rombo es: $S = \frac{b \cdot h}{2}$

La arista del cuadrado es $a = \sqrt{S}$. Si partimos de una sección determinada, superficie de la canal sucesiva es entonces una magnitud conocida. De la figura 3.3 tenemos:

$$b = h \cdot \operatorname{tg} \alpha ; \quad h = \frac{2S}{b}$$

$$b = \sqrt{2S \operatorname{tg} \alpha}$$

$$h = \sqrt{2S \cdot \operatorname{Ctg} \alpha}$$

En lo que respecta a las siguientes canales en rombo b y h se deducen de las relaciones siguientes:

$$b_2 = \frac{b_1}{\sqrt{\lambda}} \quad \text{y} \quad h_2 = \frac{h_1}{\sqrt{\lambda}}$$

Es decir de las diagonales verticales y horizontales de un rombo se obtienen las dimensiones de las canales siguientes, dividiendo las precedentes por la raíz cuadrada del alargamiento.

La reducción de altura se calcula de la siguiente manera: Los rombos se giran después de cada pasada y se recalcan, o sea, que b_1 se convierte en h_2 .

$$h_1 = \frac{b_1}{\text{tg} \cdot \alpha}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{\frac{b_1}{\text{tg}}}{\sqrt{\lambda}} = \frac{b_1}{\text{tg} \cdot \sqrt{\lambda}}$$

La reducción de altura es:

$$\Delta h = b_1 - h_2 = b_1 \left(1 - \frac{1}{\text{tg} \cdot \alpha \sqrt{\lambda}}\right)$$

$$h_1 = \frac{b_1}{\text{tg} \alpha}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{\frac{b_1}{\text{tg} \alpha}}{\sqrt{\lambda}} =$$

$$h_2 = \frac{b_1}{\text{tg} \alpha \sqrt{\lambda}}$$

La reducción de altura relativa es:

$$\frac{b_1 - b_2}{b_1} \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1}{\text{tg} \cdot \alpha \sqrt{\lambda}}\right) 100\%$$

Los valores de las dimensiones de canal de las respectivas pasadas se pueden representar gráficamente, lo mismo que en el cálculo anterior, tenemos que después de una única representación numérica y gráfica del trazado de canales, podemos determinar en todos los casos las dimensiones a partir de la representación gráfica, siempre que α y λ permanezcan invariables.

En la Tabla 4 se tienen las reducciones usuales de la serie de canales en rombo. El ángulo de vértice 2α habrá de ser tanto mayor cuando menor sea la sección del rombo, ya que ésta viene a ser entonces más delgada y por consiguiente más fácil de conducir.

Por otra parte, existe también un menor descenso de temperatura, debido a la más intensa deformación. Se puede trabajar sin guías hasta un ángulo de vértice $2\alpha = 110^\circ$; siendo ya necesaria aquellas cuando dicho ángulo sobrepase los 110° . Una de las ventajas de la canal en rombo es que la pieza se lamina por todos los lados de las canales y que la sección tiene siempre una sección casi cuadrada; además, hay que añadir que en las canales con limitación rectilínea las barras no giran con tanta facilidad como aquéllos con limitaciones redondeadas (canales ojivales). A su vez existe el inconveniente de que en las canales en rombo no se puede restringir el ensanchamiento con tanta eficacia como en las canales ojivales.

Las ecuaciones fundamentales de una canal en rombo se las obtiene de la figura 3.3.

$$\text{Sen}\alpha = \frac{a}{2y} ; \text{cos}\alpha = \frac{a}{2x}$$

$$h = 2y = \frac{a}{\text{sen}\alpha}$$

$$b = 2x = \frac{a}{\text{cos}\alpha}$$

T A B L A N^o 4

Dimensiones de las Canales en Rombo en función
de la Superficie de Canal y del Angulo del Vertice 2α
(Fig.3.3)

2α	C_1	C_3	h	b	b:h	C_2	2α
90	1,000	1,000	1,414.a	1,414.a	1.000	1.000	90
91	0,9995	1,001	1,403.a	1,428.a	1,017	1,001	91
92	0,999	1,002	1,385.a	1,441.a	1,042	1,0015	92
94	0,998	1,003	1,366.a	1,466.a	1,073	1,002	94
96	0,997	1,008	1,364.a	1,495.a	1,111	1,003	96
98	0,995	1,010	1,326.a	1,524.a	1,149	1,005	98
100	0,992	1,015	1,305.a	1,555.a	1,192	1,008	100
102	0,989	1,028	1,287.a	1,589.a	1,234	1,012	102
104	0,985	1,031	1,269.a	1,623.a	1,279	1,016	104
106	0,980	1,040	1,252.a	1,661.a	1,327	1,020	106
108	0,975	1,051	1,237.a	1,701.a	1,376	1,027	108
110	0,968	1,068	1,221.a	1,742.a	1,428	1,032	110
112	0,962	1,080	1,206.a	1,789.a	1,483	1,039	112
114	0,955	1,095	1,192.a	1,835.a	1,540	1,049	114
116	0,947	1,112	1,179.a	1,887.a	1,600	1,055	116
118	0,939	1,135	1,167.a	1,942.a	1,665	1,065	118
120	0,930	1,155	1,156.a	2,000.a	1,732	1,075	120
122	0,920	1,182	1,144.a	2,067.a	1,808	1,088	122
124	0,910	1,208	1,133.a	2,132.a	1,879	1,099	124
126	0,899	1,240	1,123.a	2,202.a	1,960	1,112	126
128	0,888	1,270	1,114.a	2,283.a	2,049	1,125	128
130	0,875	1,308	1,104.a	2,370.a	2,144	1,142	130

$$h = \frac{a}{\text{Sen}\alpha}$$

$$b = \frac{a}{\text{Cos}\alpha}$$

$$C_1 = \text{Sen}2\alpha$$

$$C_2 = \frac{c}{\sqrt{Q}}$$

$$C_3 = \frac{c}{a}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{h}$$

Q : Area del Rombo

$$Q = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{\frac{a}{\operatorname{sen} \alpha} \cdot \frac{a}{\operatorname{cos} \alpha}}{2} = \frac{a^2}{2 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{cos} \alpha} =$$

$$Q = \frac{a^2}{\operatorname{sen} 2\alpha} \quad (1)$$

$$a = \sqrt{Q} \cdot \sqrt{\operatorname{sen} 2\alpha}$$

Hacemos:

$$\operatorname{sen} 2\alpha = c_1$$

Luego:

$$a = \sqrt{Q} \cdot c_1$$

$$\operatorname{cos} \alpha = \frac{y}{c} ; \quad y = c \operatorname{cos} \alpha$$

$$h = 2y = 2c \cdot \operatorname{cos} \alpha$$

$$b = 2x = 2c \cdot \operatorname{sen} \alpha$$

$$Q = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{2c \operatorname{cos} \alpha \cdot 2c \operatorname{sen} \alpha}{2}$$

$$Q = c^2 \operatorname{sen} 2\alpha \quad (2)$$

$$c = \frac{\sqrt{Q}}{\sqrt{\operatorname{sen} 2\alpha}} = \sqrt{Q} \cdot \frac{1}{\sqrt{\operatorname{sen} 2\alpha}}$$

Hacemos:

$$\frac{1}{\sqrt{\text{Sen}2\alpha}} = c_2$$

Luego:

$$c = \sqrt{Q} \cdot c_2$$

igualando las ecuaciones (1) y (2)

$$\frac{a^2}{\text{sen}2\alpha} = c^2 \text{sen}2\alpha$$

$$a = c \text{sen}2\alpha; \quad c = \frac{a}{\text{sen}2\alpha}$$

$$c = \frac{a}{\text{sen}2\alpha}$$

$$c_3 = \frac{1}{\text{sen}2\alpha}$$

$$c = a \cdot c_3$$

En la Tabla 5 se consignan las medidas para el trazado de un cilindro de palanquillas, destinado a la laminación de desbastes desde un cuadrado de 100 mm. hasta un cuadrado de 50 mm. En ángulo en el vértice α es de 48° y el alargamiento de pasada en pasada de 1.2.

La Figura 3.4 reproduce gráficamente las dimensiones de canal para las respectivas pasadas. Si los valores de Y permanecen invariables, se pueden deducir de este gráfico las dimensiones de canal para todos los casos.

T A B L A N º 5

Medidas para el trazado de un cilindro de palanquillas
para la laminación de lingotes de acero especial de cuadrado de
100 mm hasta cuadrado de 50 mm, en 8 pasadas

Serie exclusiva de canales en rombo, $\alpha = 48^\circ$, $\text{tg}\alpha = 1,11$; $\lambda = 1,2$

$$\sqrt{\lambda} = 1,095; Q = 10.000 \text{ mm}^2$$

Pasada Nº	Superficie Q mm ²	\sqrt{Q} mm	Diagonal Horizontal b mm	Diagonal Vertical h mm
0	10.000	100	149,0	134,0
1	8.340	91,4	136,0	122,2
2	6.950	83,5	124,2	111,8
3	5.800	76,1	113,5	102,0
4	4.830	69,5	103,5	93,0
5	4.020	63,5	94,6	85,0
6	3.350	57,9	80,4	77,6
7	2.790	52,9	78,8	70,9
8	2.320	48,2	72,0	64,7

$$a = \sqrt{Q} C_1 = 100 \cdot 0,997 = 99,7$$

Para $2\alpha = 96 \rightarrow C_1 = 0,997$ (Tabla 4)

$$h = 1,364a = 1,364 \times 99,9 = 134$$

$$b = 1,495a = 1,495 \times 99,7 = 149$$

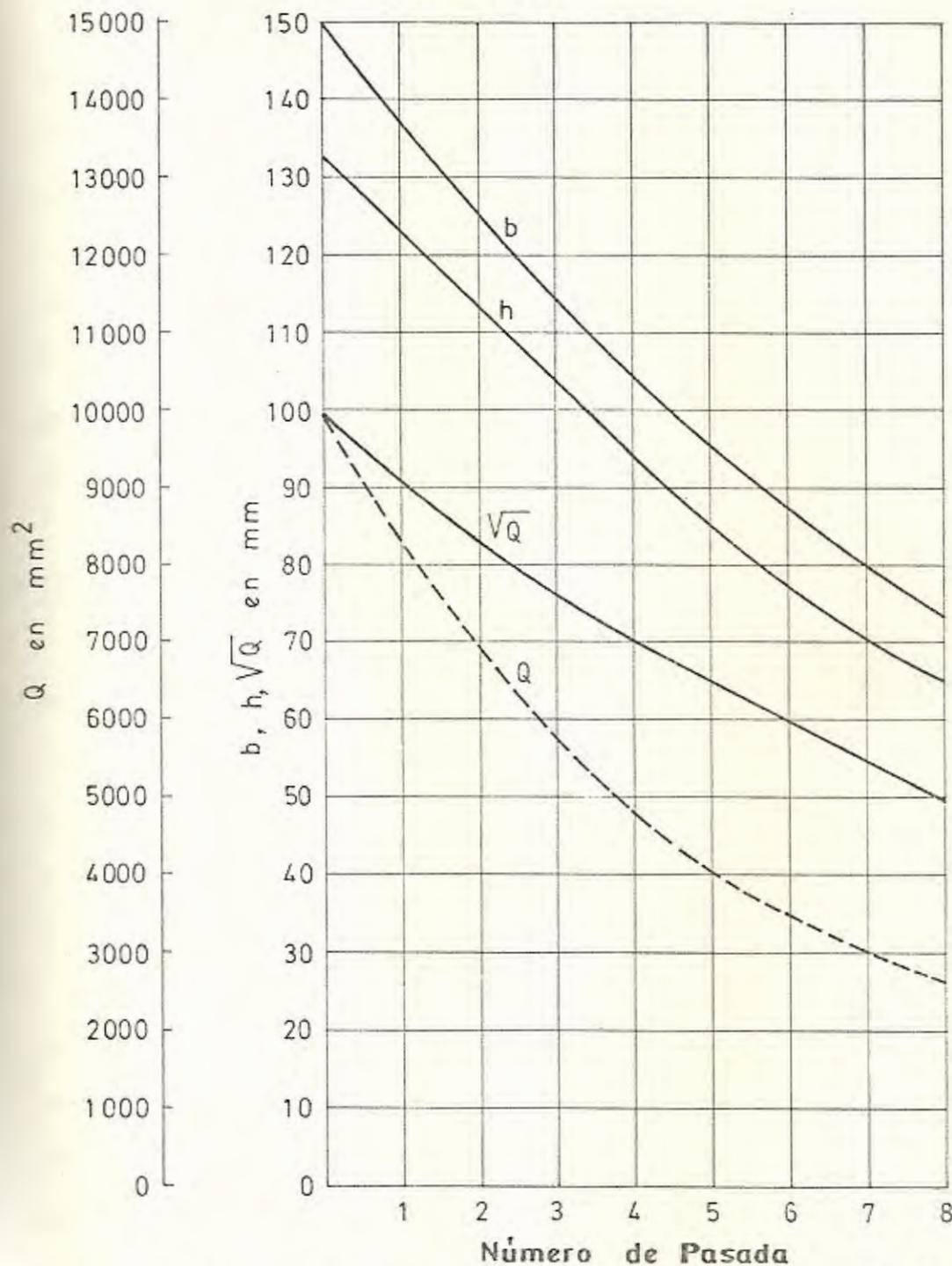
$$b_2 = \frac{b_1}{\sqrt{\lambda}}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{\sqrt{\lambda}}$$

$$b_2 = \frac{149}{1,095} = 136$$

$$h_2 = \frac{134}{1,095} = 122,2$$

FIGURA N° 3.4



REPRESENTACION GRAFICA DE LAS DIMENSIONES DE LAS
CANALES EN UN TRAZADO DE CANALES PARA PALANQUIL
LLAS

Cuando se desee una presión superior, hay que dar al cilindro superior un diámetro que sea mayor que el del cilindro medio, en la proporción de dicha presión superior, y al cilindro inferior un diámetro que sea menor que el de central en la misma proporción.

La serie de canales de ojival tiene una gran similitud con la serie de canales en rombo, Fig. 3.5; para su diseño se realiza un análisis matemático (similar al mostrado para canales en rombo, lo cual escapa del alcance del presente trabajo).

3.3 TRENES Y CALIBRES PARA PALANQUILLAS

Hay tres tipos de trenes para palanquillas:

- El Tren de palanquillas de un solo eje con una o varias cajas.
- El Tren Cross-Country
- El Tren Continuo de Palanquilla

Los trenes de palanquilla de un solo eje se construyen como trenes dúo y trío. La figura 3.6 representa un tren trío de palanquillas, en el cual se obtienen palanquillas de 100 x 100 mm., partiendo de un desbaste de 200 x 180 mm., al cual se lo parte en dos o tres largos, porque de otro modo sería poco manejable.

La figura 3.7 muestra un Tren Cross-Country de palanquillas,



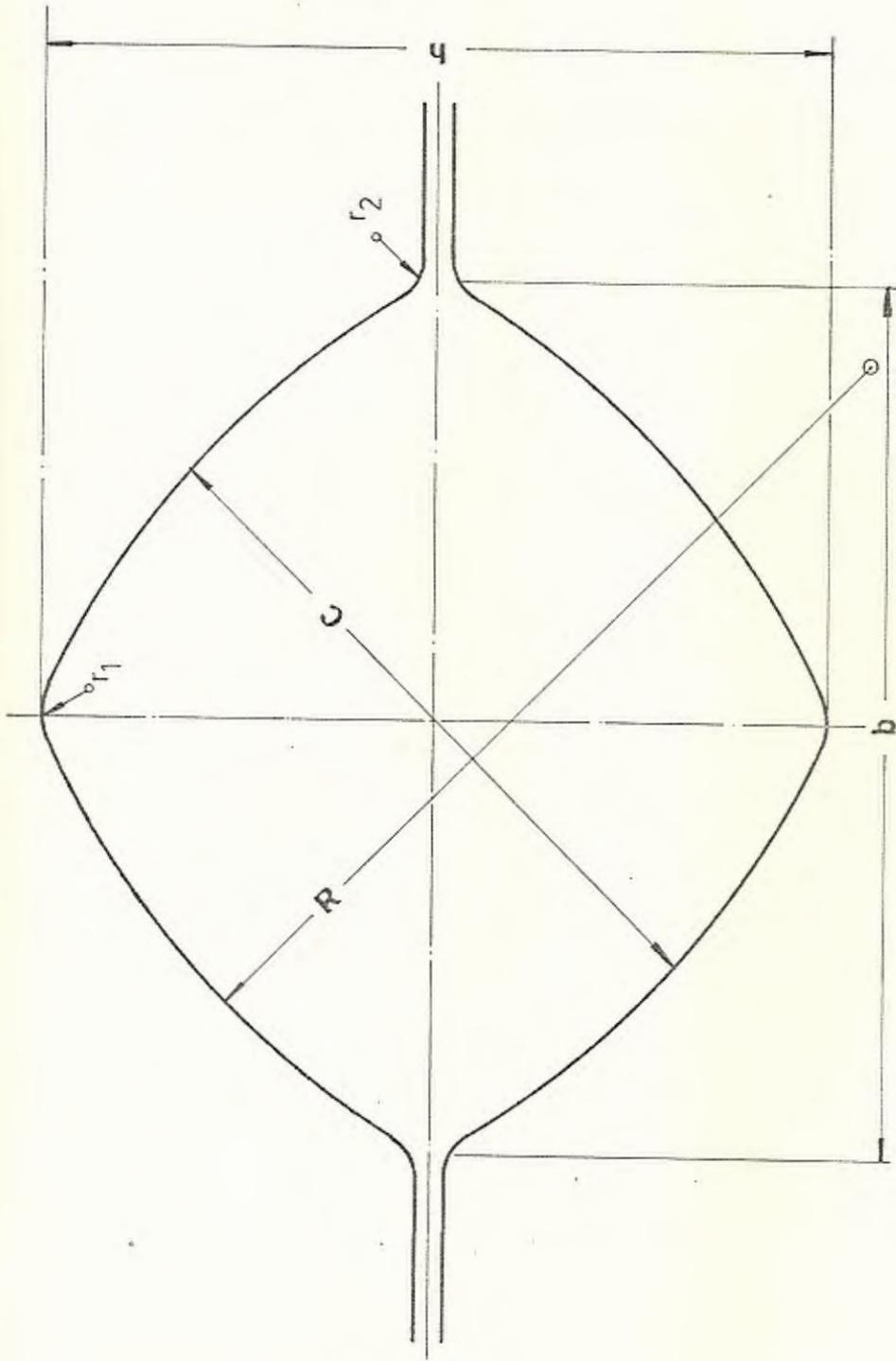


Fig. 3.5.- Dimensiones de una Canal Ojival

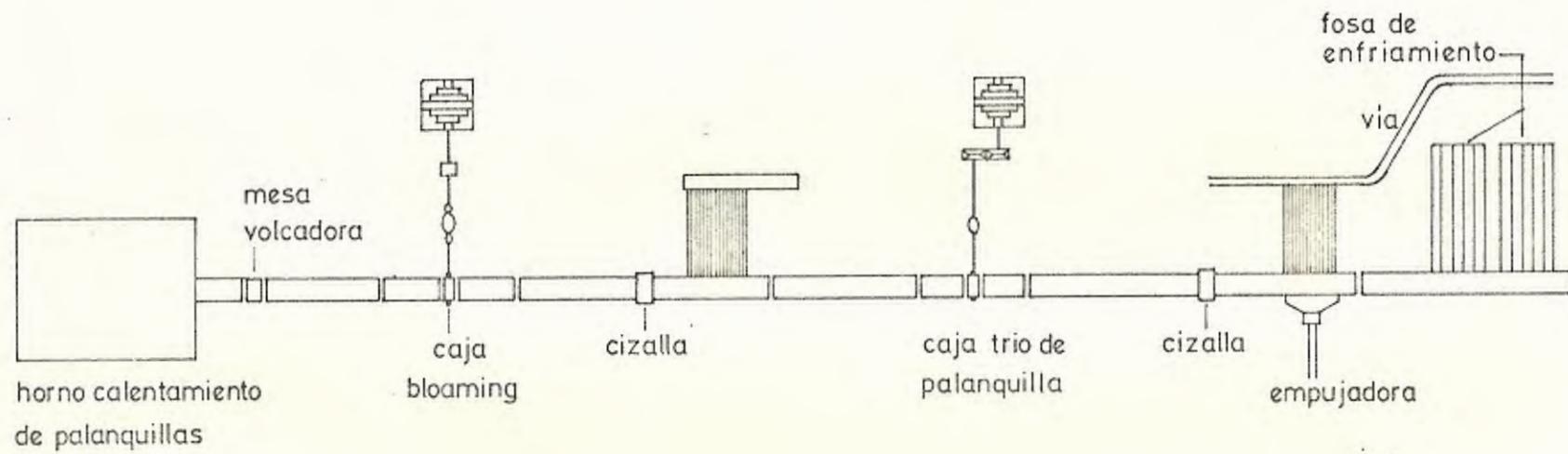


Fig. 3.6.- Planta y Cilindros de un Tren Trío de Palanquillas.

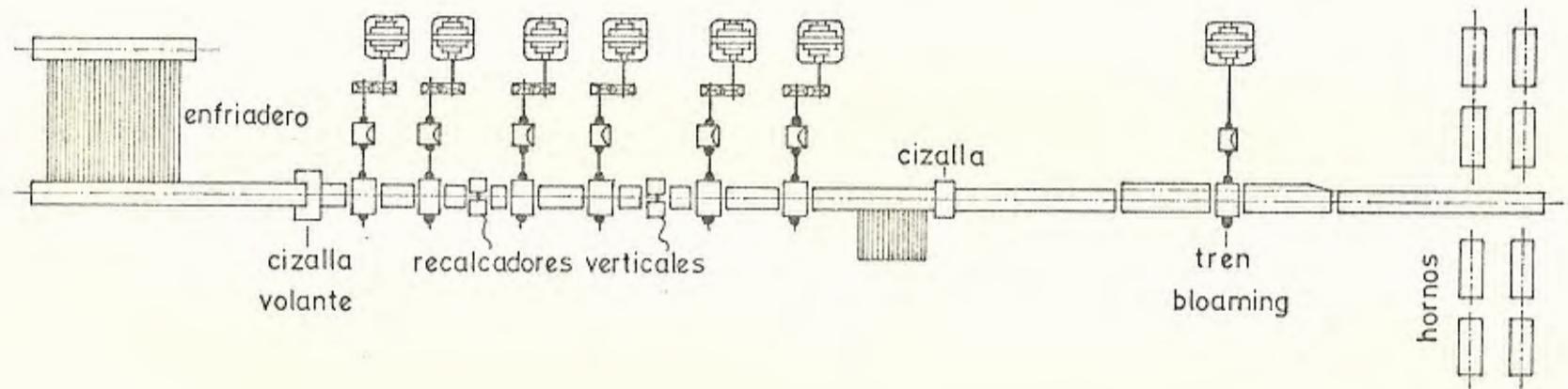


Fig. 3.7.- Planta de un Tren Cross-Country de Palanquillas

aquí también hay que partir del desbaste en dos o tres largos, pues de lo contrario, la longitud del tren llegaría a ser demasiado grande. El último trozo se lamina con mayor temperatura que el primero. El rendimiento merma considerablemente, por las muchas puntas que hay que cortar.

La figura 3.8 nos muestra las disposiciones de trenes continuos de palanquillas. Los cilindros recaladores verticales sirven para trabajar los lados. Con estos trenes continuos la producción es muy grande y se puede conseguir un elevado rendimiento. Además, si colocamos alternativamente cajas horizontales y verticales se obtiene un material con una superficie impecable y se prolonga la vida de los cilindros.

Para laminación de palanquillas se usan generalmente canales en rombo, cuadrado y en óvalo. La laminación en canales en rombo produce mejores palanquillas que las efectuadas en las otras canales, ya que en aquellas, la barra está comprimida por todas partes. Con una serie de canales en rombo, se puede conseguir en cada una de ellas, una sección aproximadamente cuadrada; pero sin embargo, es escaso su efecto de alargamiento. La Fig.3.9 nos muestra tres series distintas de canales para palanquillas. La tercera fila representa un trazado oblicuo, el cual no ha dado ningún resultado satisfactorio, por lo tanto, no es aconsejable.

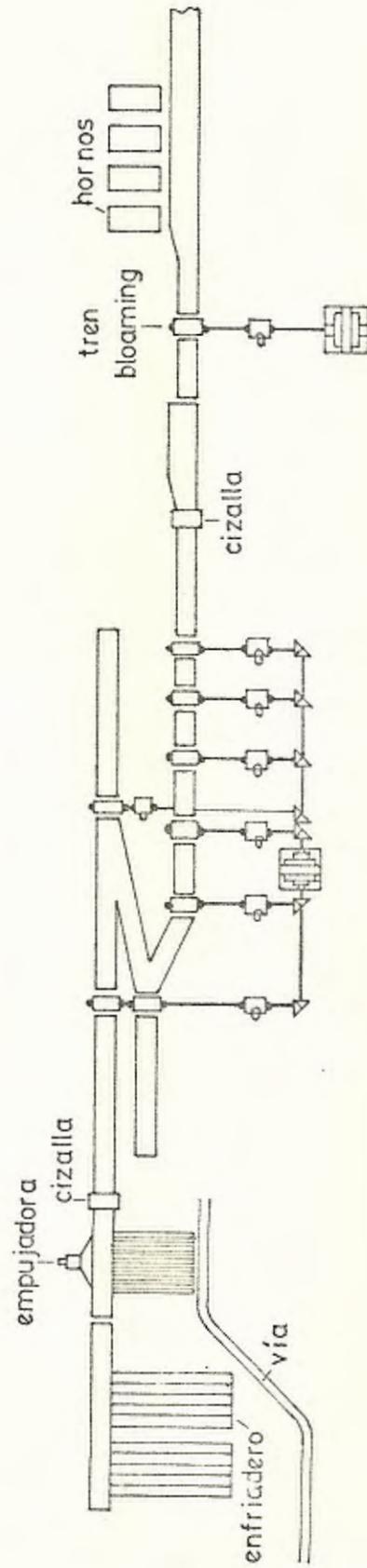
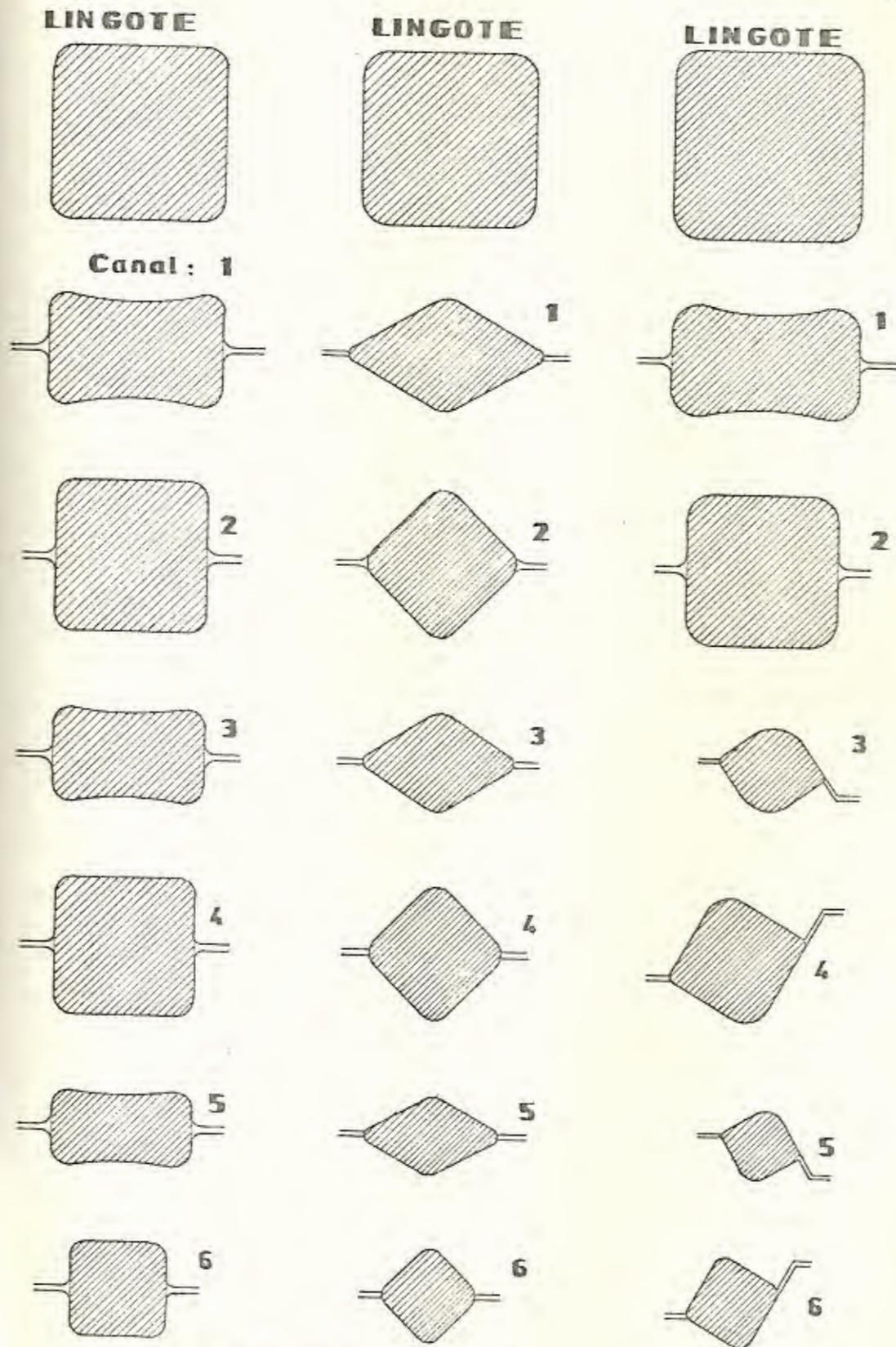


Fig. 3.8.- Planta de un Tren continuo de Palanquillas



TRES SERIES DE CANALES PARA PALANQUILLAS

FIG. 3-9

CAPITULO IV

METODO DE LAMINACION DEL ACERO PARTIENDO DE PALANQUILLAS DE 100 X 100 MM. PARA OBTENER VARILLAS COMERCIALES

4.1 BREVE ANALISIS DE LA CLASIFICACION DE LOS CILINDROS

El cilindro laminador constituye la parte más importante del tren de laminación. La fabricación de cilindros laminadores, hasta hace pocos años era un arte en manos de pocos técnicos conocedores del oficio.

En esta época, la situación en general ha cambiado, sin embargo, aún son celosamente guardados por los diferentes fabricantes una serie de detalles vinculados con los procesos tecnológicos, como son la centrifugación, elementos de aleación, tratamientos térmicos, etc.

El tratamiento térmico diferencial y la doble colada en acero han encontrado creciente aplicación en áreas tan diferentes como son los cilindros desbastadores para tochos.

Generalmente, los cilindros laminadores fundidos tienen su campo

de acción más indicado en el conformado en caliente y los cilindros laminadores forjados en el conformado en frío.

El cilindro laminador, ver figura 4.1, debe soportar una serie de sollicitudes durante el trabajo, tales que hacen a la pieza muy exigente desde el punto de vista mecánico-térmico. Una breve explicación de los requisitos es la siguiente:

- Sollicitaciones Mecánicas

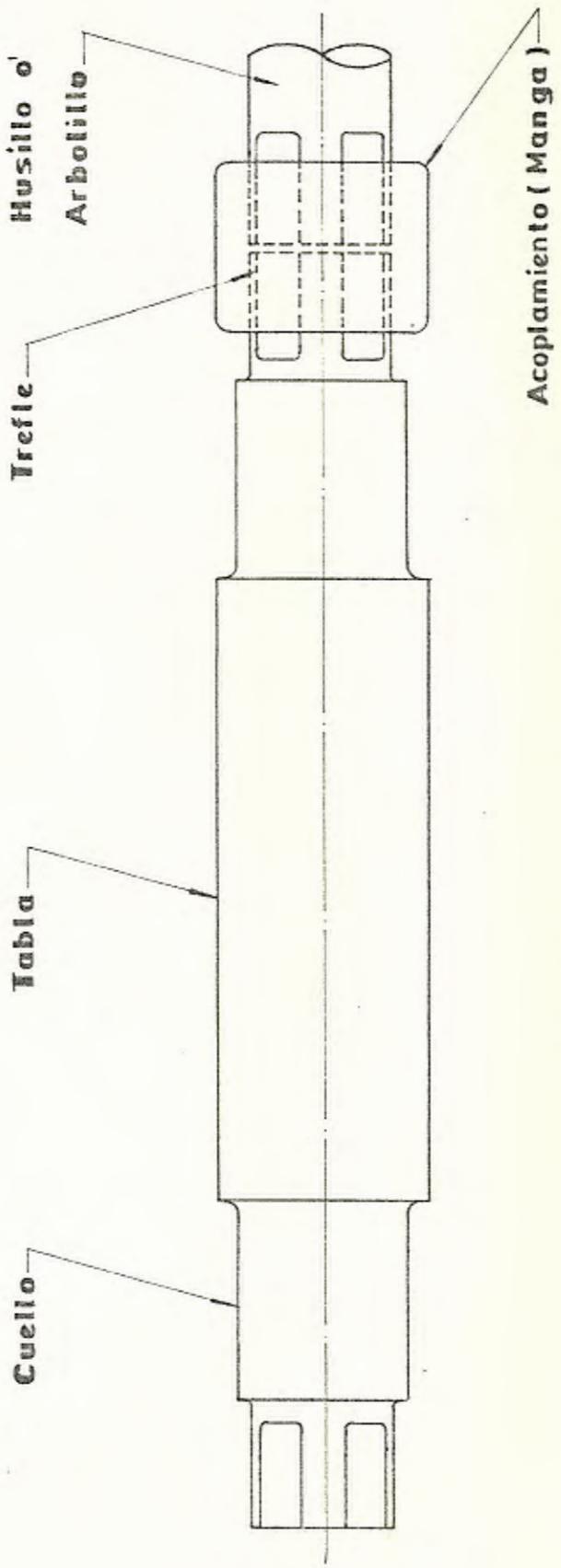
Tensiones normales y anormales originadas por flexión, torsión, corte, (cizallamiento), impacto y fatiga.

- Sollicitaciones Térmicas-Mecánicas

Originadas principalmente por los millones de ciclos alternados de bruscos calentamientos y enfriamientos en el laminado en caliente, asociados con el fisuramiento térmico, abrasión causada por la cascarilla de laminación y presencia del vapor de agua.

- Sollicitaciones Térmicas

Originalmente motivadas por inconveniente en el flujo de líquido refrigerante en el laminado en caliente que someten al cilindro a esfuerzos mecánicos súbitos de origen eminentemente tér-



CILINDRO DE LAMINACION

FIG. 4-1

mico, originados en elevados calentamientos localizados, ablandamiento prematuro, etc.

De una manera general, la selección de un cilindro laminador depende de una serie de aspectos relacionados, tanto en la parte económica como en las exigencias inherentes al trabajo a cumplir. Factores tales como la resistencia al desgaste, capacidad de absorber impactos resistentes al choque térmico; todos estos factores deben ser considerados frente a la ecuación económica, fruto de la mayor o menor cantidad de elementos aleantes a ser incorporados al cilindro, los tratamientos térmicos de rigor, etc.

Primeramente nos vamos a referir al carbono, que es el elemento básico de todos los cilindros laminadores fundidos, empleados en la siderurgia. De un modo general, se puede decir que a mayor porcentaje de carbono corresponde una aleación más resistente, más dura, pero a la vez más frágil, o sea, menos tenaz. Este carbono, sea su porcentaje en peso, la forma de enfriamiento de la aleación, podrá estar como constituyente de la perlita, cementita o libre como grafito, éste a su vez será laminar o nodular.

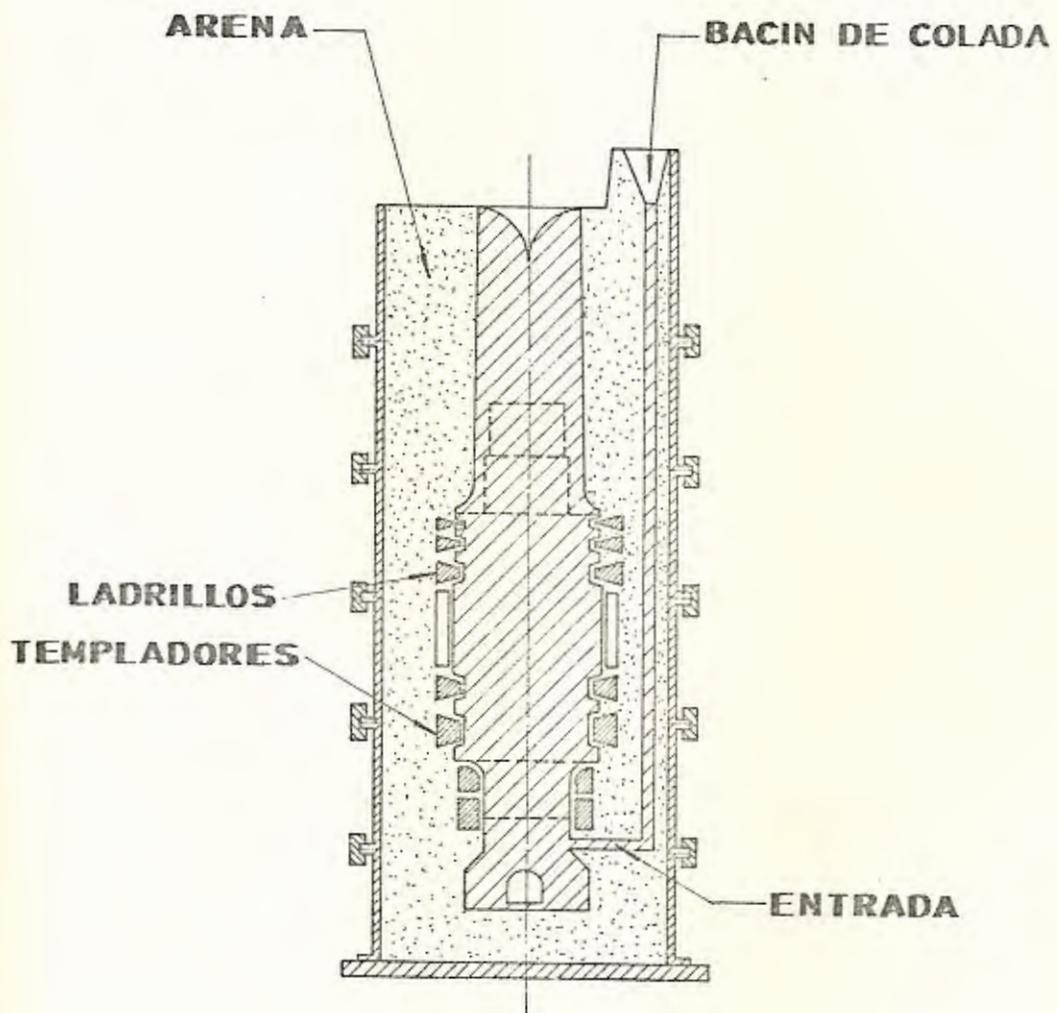
Los cilindros con porcentaje de carbono de hasta 1.25-1.30 reciben el nombre de cilindros de acero (1), casi sin excepción son aleados con cromo y molibdeno, a veces níquel; tratados térmicamente.

Se puede considerar tres tipos de cilindros de acero:

- a. Cilindros de simple colada
- b. Cilindros de doble colada
- c. Cilindros de tratamiento térmico diferencial



- a. Cilindros de Simple Colada.- (Fig. 4.2). Fueron históricamente los primeros en aparecer, justamente con la creación de los primeros métodos para la obtención de cantidades relativamente grandes de acero líquido, se lo fabricaba vertiendo un solo metal hasta el llenado del molde, posteriormente el cilindro era tratado térmicamente de un modo convencional, a fin de mejorar la estructura y obtener la dureza buscada.
- b. Cilindros de Doble Colada.- (Fig. 4.3). El molde no difiere mayormente del convencional, la diferencia fundamental es que usan dos tipos de aleaciones para su fabricación. Primero se llena el molde con el material de alta aleación, dándole tiempo para que se solidifique en la zona periférica (de tabla) del cilindro, luego se vierte el metal de baja aleación, que diluye y expulsa con cierta cantidad del molde al metal de alta aleación que aún está líquido. Con este procedimiento se obtiene finalmente un cilindro con una corteza resistente al desgaste y un núcleo, cuellos y mandos tenaces y resistentes. Luego el cilindro es tratado térmicamente para liberar tensio-



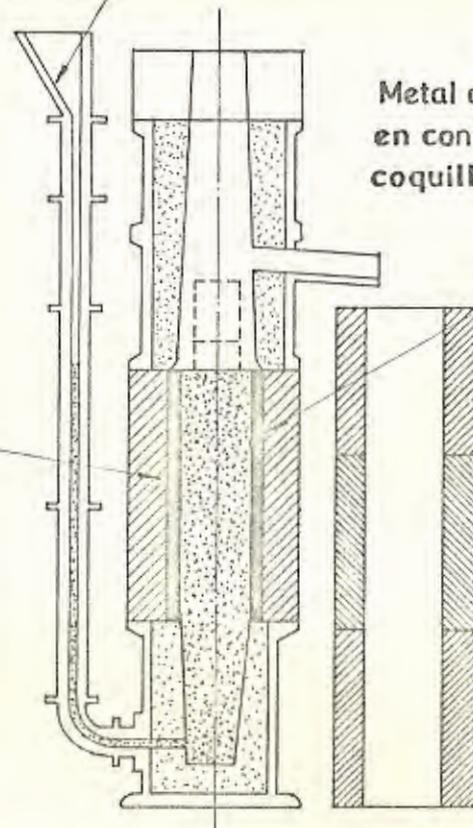
CILINDROS DE SIMPLE COLADA

FIG. 4.2

Bacin de colada

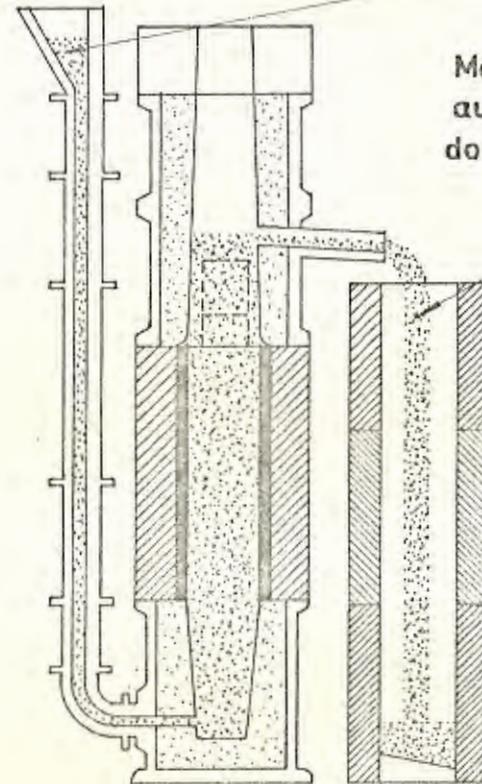
Coquilla

Metal de alta aleación
en contacto con la
coquilla solidifica



a) VACIADO DEL METAL
DE ALTA ALEACION

Metal de alta aleación
aun liquido es desplaza
do al exterior.



b) VACIADO DEL METAL DE BAJA
ALEACION QUE DESPLAZA AL
DE ALTA ALEACION QUE AUN
PERMANECE LIQUIDO.

nes internas y a la vez obtener la dureza de la tabla buscada.

- c. Cilindros de Tratamiento Térmico Diferencial.- Estos cilindros son de simple colada, y básicamente se fabrican como tales. La diferencia estriba en el hecho de que mediante hornos especiales se lleva a cabo un rápido calentamiento de la tabla del cilindro, mientras el núcleo no tiene tiempo de llegar a la temperatura de austenitización. Los cuellos y mandos son protegidos con material aislante.

Luego de alcanzar la temperatura adecuada, el cilindro es llevado rápidamente a la instalación de templado, generalmente una máquina que rota al cilindro a la vez que lo enfría con agua y/o aceite, regulando el volúmen, presión, cantidad de chorros y el diseño de las boquillas, etc., obteniéndose gran flexibilidad en la operación. Una ventaja adicional de este método es que la tabla del cilindro se puede pretorneear antes del tratamiento térmico, con lo que se obtiene adecuada profundidad de dureza en el fondo de las canales. Esto es impracticable en el método de doble colada, que a lo sumo permite de 150 a 160 mm. de profundidad de corteza dura y cilíndrica. Finalmente, siendo de simple colada, estos cilindros no presentan las porosidades y estructuras abiertas que suelen aparecer en la zona de contacto interno de los dos materiales, en los cilindros de doble colada, originadas por la

reacción de dos aceros con diferentes porcentajes de carbono.

Hay otros cilindros que se los denomina semi-acerados, éstos están en el rango de 1.6 a 2.2% C (2), no contienen grafito y sin excepción son tratados térmicamente, con el objeto de esferoidizar la perlita. Su principal virtud es la de presentar dureza uniforme en toda su masa, lo cual los hace particularmente atractivos, en el laminado de secciones que exijan pasos profundos y dureza constante. Los elementos de aleación normalmente usados son el níquel y el cromo. La resistencia al desgaste y a la rotura son razonables, y así mismo presentan buenas características frente al choque térmico.

4.2 RESISTENCIA DE LOS CILINDROS

Para diseñar cilindros de laminación no solamente debemos conocer la dirección, sino también, la magnitud de las fuerzas que intervienen durante el proceso de laminación. En la Fig. 4.4 se puede ver que la laminación es un proceso de compresión y que la magnitud de la fuerza P está determinada por la resistencia específica a la compresión de la barra y por la proyección del área comprimida mostrada en la Fig. 4.4b. Es evidente que esta área tendrá un contorno curvilíneo irregular, cuando se trate de secciones complicadas. Si se multiplica esta área por la resistencia a la compresión no homogénea del material de la barra (kilos \times mm^2),

se obtendrá la fuerza P que tiende a separar los cilindros.

La presión media específica que ejercen los cilindros contra el material que se está laminando depende de muchos factores, entre los cuales están:

- a. La resistencia a la deformación
- b. El rozamiento externo
- c. El espesor inicial del material
- d. El diámetro de los cilindros
- e. La tensión de bobinado y desbobinado.

Entre los factores que influyen la resistencia de la barra están su material, su temperatura, la velocidad a la cual se deforma, el rozamiento entre la barra y los cilindros y la forma de canal.

Se debe mencionar que para la mayoría de los casos de laminación, ésta se hace dentro de unos márgenes de velocidad, en los cuales la presión de laminación es muy poca, o casi nada, afectada por la velocidad de deformación. La notable reducción de las fuerzas entre la barra y los cilindros, que se encuentran a velocidades bajas de deformación, sólo se puede utilizar en las primeras cajas de un tren continuo o en las primeras pasadas de los trenes desbastadores de lingotes en donde la velocidad es

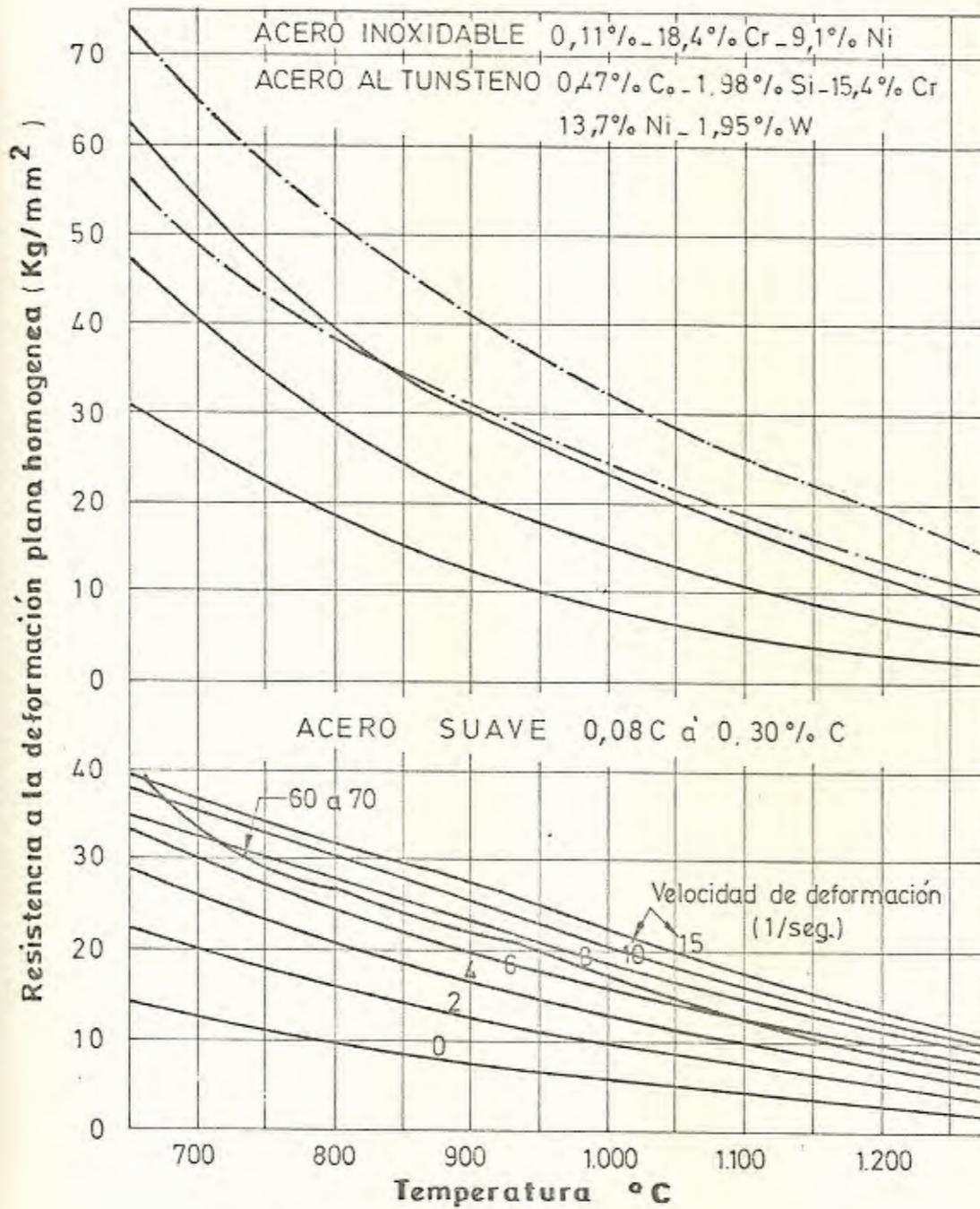


Fig. 4.5.- Resistencia a la Deformación Plana Homogénea de aceros aleados y ordinarios a diferentes temperaturas y velocidades de deformación, para barras laminadas sin impedimento lateral y grandes espesores comparados con la longitud de contacto.

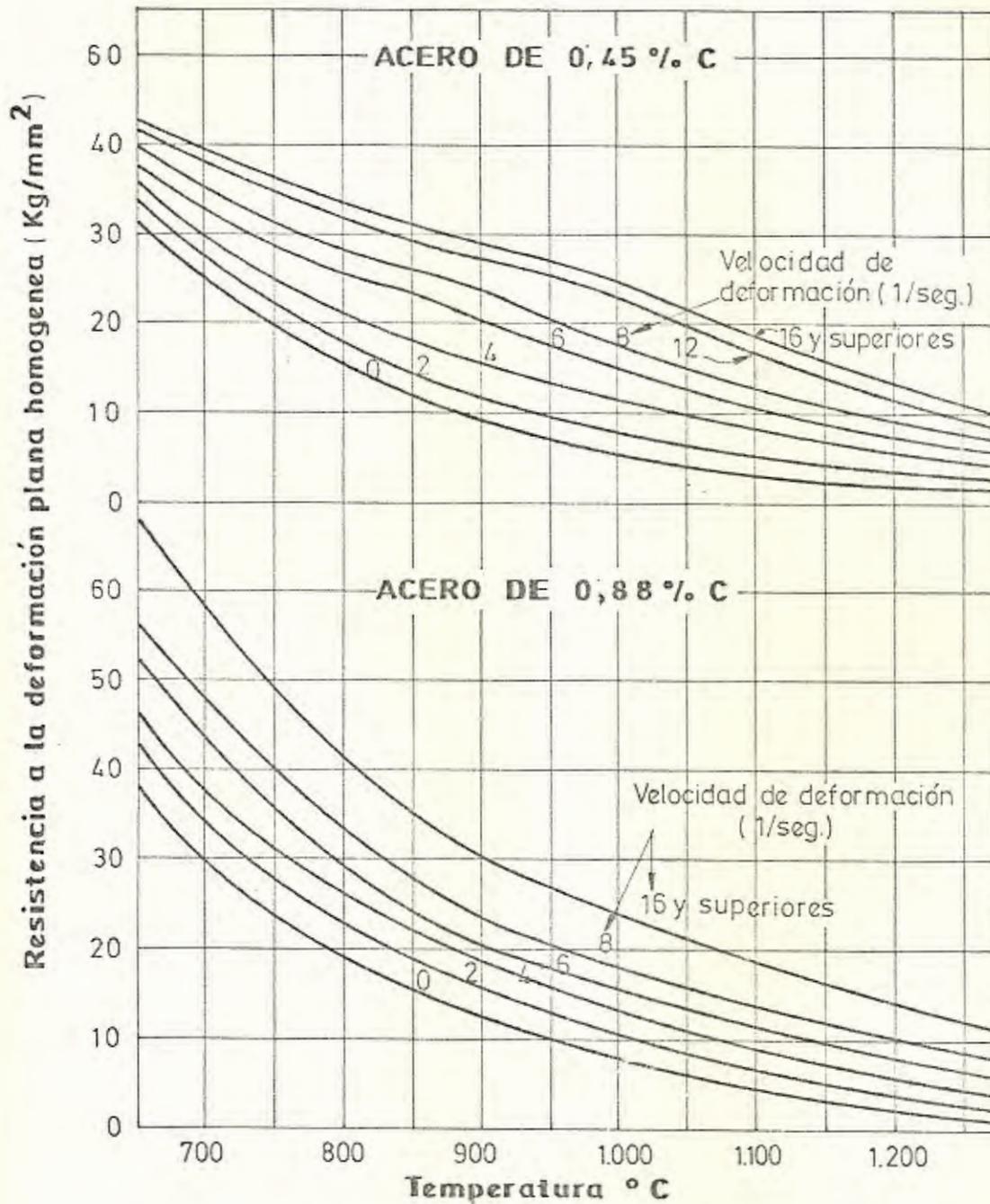


Fig. 4.6.- Resistencia a la Deformación Plana Homogénea al acero medio y duro a diferentes temperaturas y velocidades de deformación para barras laminadas sin impedimento lateral y espesores grandes comparados con la longitud de contacto.

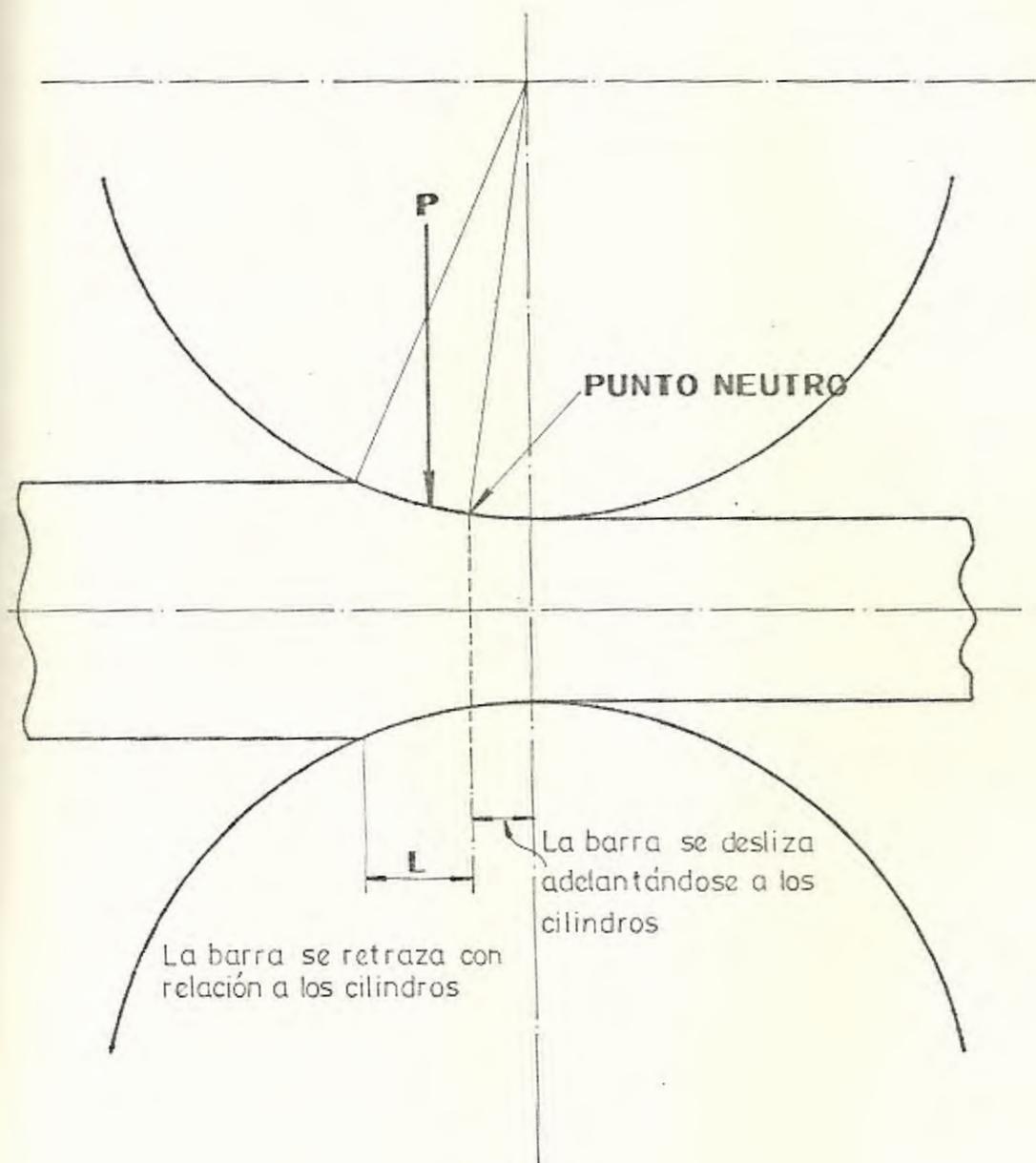


Fig. 4.7.- Velocidad relativa de la barra y los cilindros.

ma magnitud en laminación de secciones delgadas.

Los datos dados en las figuras 4.5 y 4.6 se aplican al laminado de secciones con ensanchamiento libre. Cuando se laminan con secciones rectangulares entre collares que impiden totalmente o reducen el ensanchamiento, por experiencias hechas, se ha encontrado que la presión aumenta en un 35% cuando el ensanchamiento se restringe moderadamente, subiendo a valores comprendidos entre 120 y 200 % (3) cuando dicho ensanchamiento se restringe fuertemente por los collares.

En laminación, el rozamiento superficial da origen a fuerzas tangenciales, cosa que demostramos por medio del siguiente razonamiento, Fig. 4.8.

Como sabemos, la barra entra a una velocidad menor que la de los cilindros y sale a una velocidad mayor, consecuencia de lo cual, los cilindros arrastran a la barra a la entrada y la frenan a la salida, o en otras palabras, que el rozamiento superficial comprime a la barra tangencialmente (en la región de contacto), desde los extremos hacia el punto neutro (Fig. 4.7). Si esta fuerza se divide por el área de la sección recta de la barra, se obtiene una presión horizontal, evidentemente la presión se hace más grande cuando más estrecha es la barra, porque la fuerza horizontal actúa sobre un área más pequeña, siendo este hecho la razón por

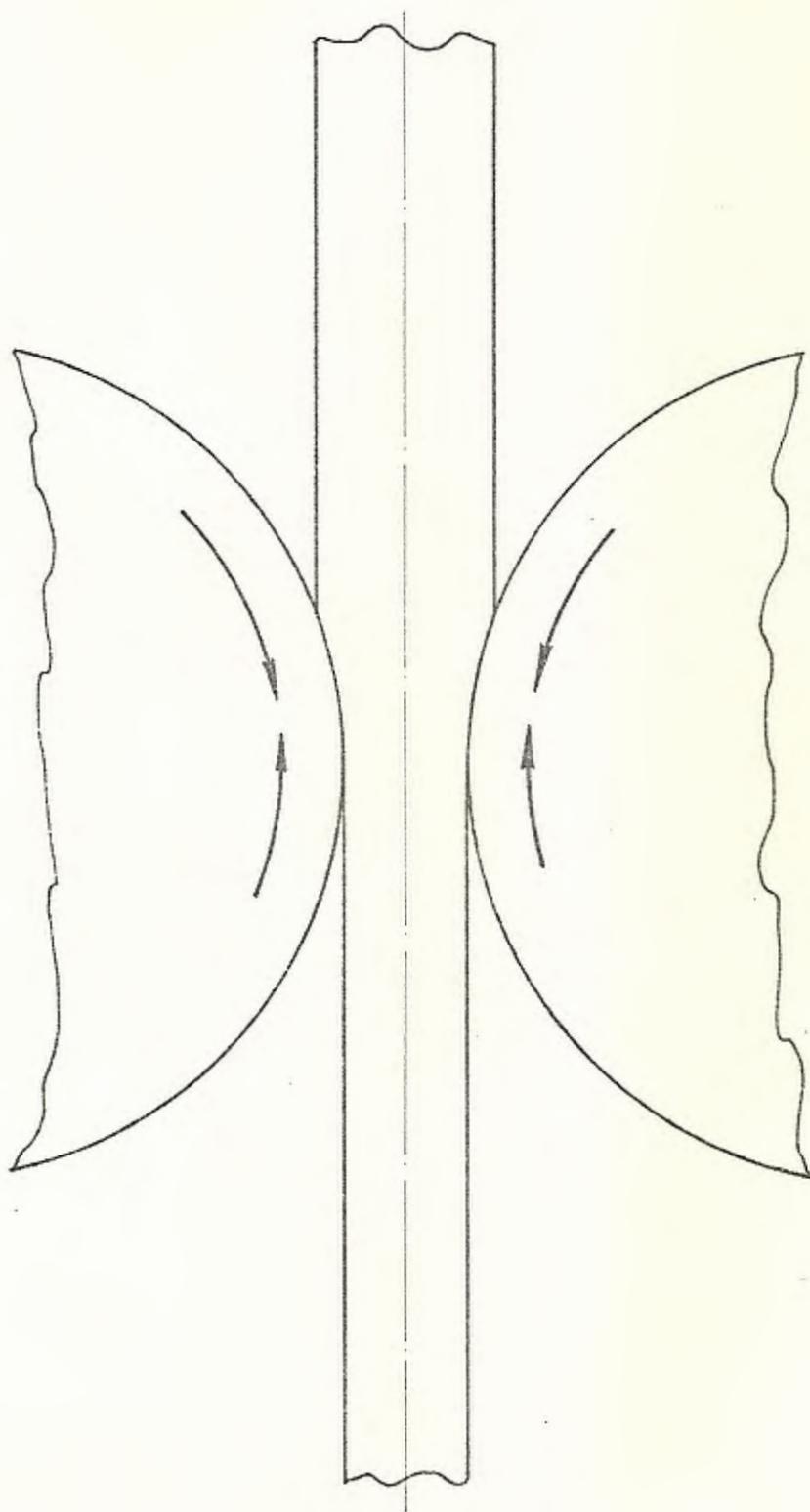


Fig. 4.8.- Cilindros y Barra

proyección del arco de contacto es el analítico a partir de la Fig. 4.10.

θ = ángulo de contacto

\overline{OC} = Radio del cilindro

\overline{AB} = Proyección del arco de contacto

AC = Arco de contacto

DE = Espesor de entrada de la barra

FG = Espesor de salida de la barra

$$\overline{AB} = \sqrt{AO^2 - \overline{OB}^2}$$

$$\overline{OB} = \overline{OC} - \overline{BC}$$

$$\overline{BC} = \overline{DE} - \overline{FG}$$

$$\therefore \overline{OB} = \overline{OC} - \overline{DE} + \overline{FG}$$

Entonces:

$$\overline{AB} = \sqrt{AO^2 - (\overline{OC} - \overline{DE} + \overline{FG})^2}$$

La anchura del área de contacto será mayor a la salida debido al ensanchamiento, que podemos decir es X% de la reducción de altura, entonces será:

$$X (\overline{DE} - \overline{FG})$$

La anchura media de la canal será:

$$= \text{Ancho original} + \frac{1}{2} [X \cdot (\overline{DE} - \overline{FG})]$$

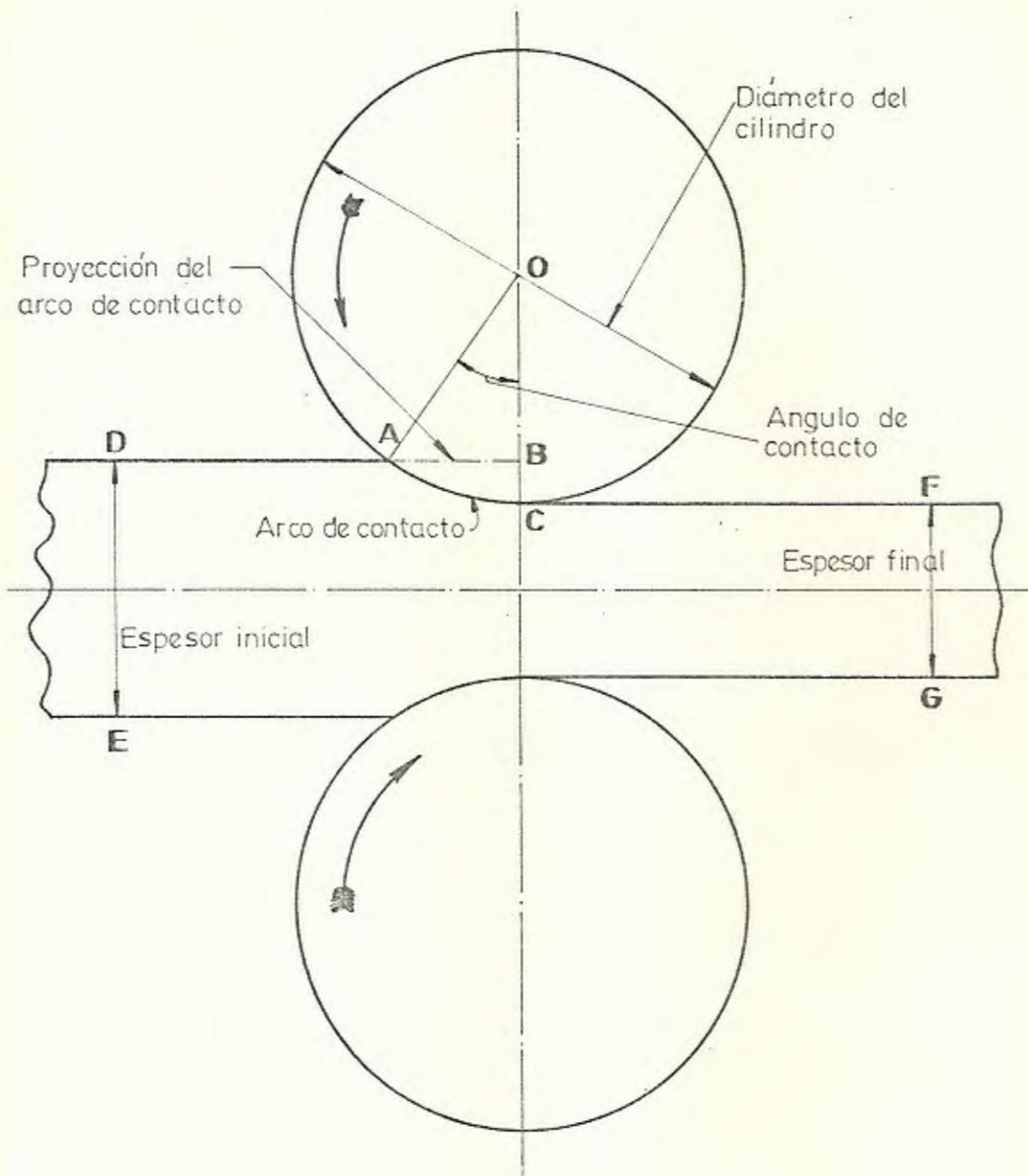


Fig. 4.10.- Proyección del Area de Contacto

La proyección del área de contacto será

$$\sqrt{AO - (OC - DE + FG)^2} \times [\text{ancho original} + \frac{1}{2} \times (DE - FG)]$$

Momento Flector.- El momento flector es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan en el cilindro a la izquierda o a la derecha de una sección, respecto al eje perpendicular al plano de las fuerzas y que pasa por el centro de la sección considerada:

$$M = \Sigma M_{iz.} = \Sigma M_{der.}$$

Vamos a calcular el momento flector en secciones diferentes situadas a lo largo del eje del cilindro. Fig. 4.11.

$$R_1 (a + b) - Pb = 0$$

$$R_1 = \frac{Pb}{a + b}$$

$$P = R_1 + R_2$$



Momento Flector en el punto donde actúa $P \pm M_f = \frac{Pa \cdot b}{a + b}$

Las tensiones normales producidas por el momento flector se llaman tensiones de flexión y las relaciones entre estas tensiones y el momento se expresan mediante la fórmula de la flexión. Pa-

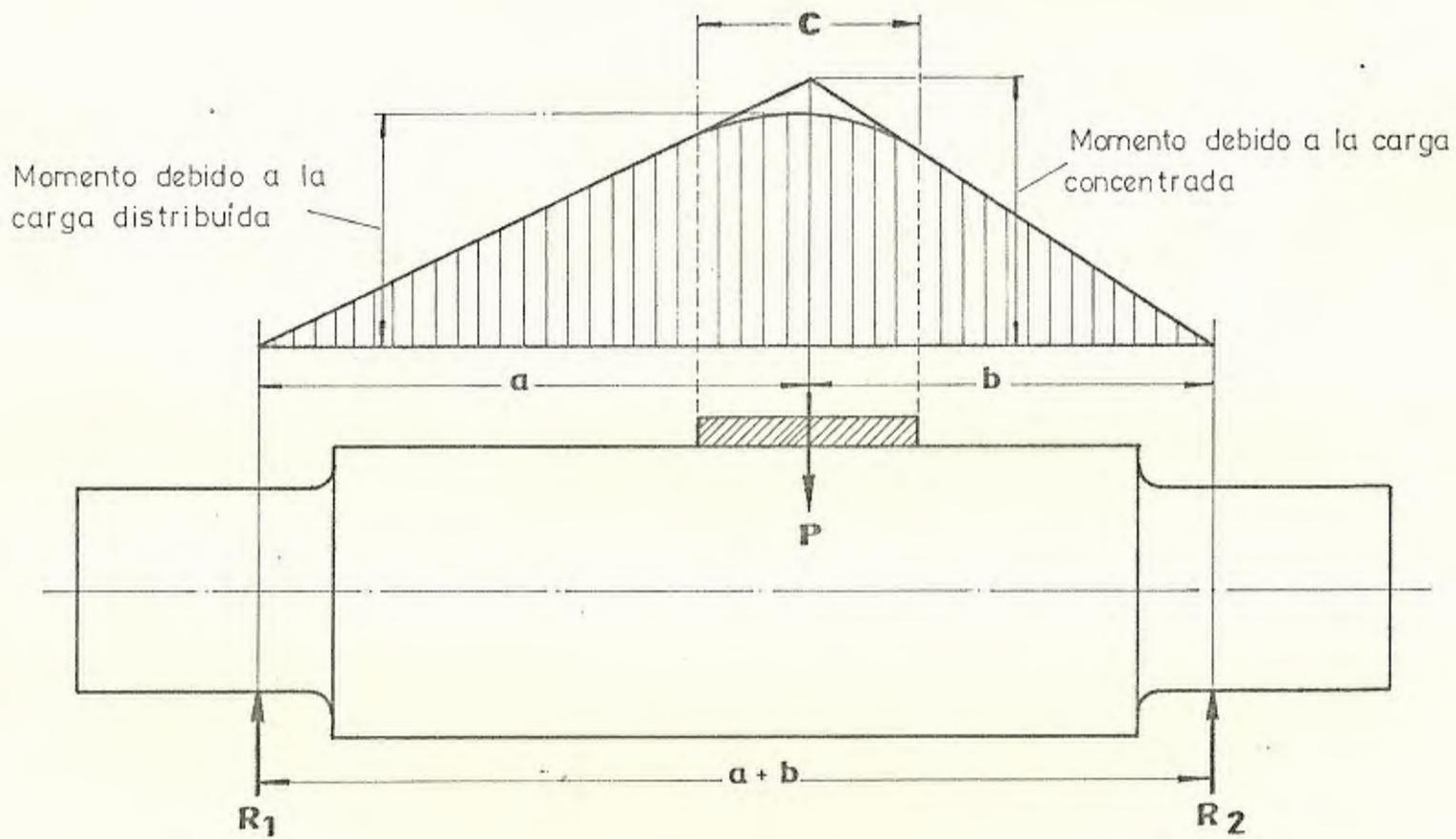


Fig. 4.11.- Momento Flector en un cilindro debido a una carga no aplicada en el centro del mismo. También se indican los momentos debidos a una carga distribuida.

ra su deducción, se relacionan las deformaciones elásticas junto con la Ley de Hooke, que determina la forma de la distribución de tensiones y mediante las condiciones de equilibrio se establece la relación entre las tensiones y la carga.

Las fórmulas esenciales para el cálculo de la resistencia de los cilindros son las siguientes: (Fig. 4.12)

Momentos en la Sección XX'

$$M = P \left(\frac{ab}{a+b} \right) \text{ para carga concentrada}$$

$$M = P \left[\frac{ab}{a+b} - \frac{w}{8} \right] \text{ para carga uniformemente distribuida sobre el ancho de peso } w.$$

$$= \frac{M}{0.10d^3} \text{ tensiones en la sección } X.X' \text{ para cilindros de acero.}$$

$$= \frac{cR^2}{0.10d^3} = \frac{P}{0.10d^3} \times \frac{ac}{a+b} \text{ tensiones en la sección } Y-Y' \text{ con la carga en } X-X' \text{ para cilindros de acero.}$$

$$= \frac{M}{0.17d^3} \text{ tensiones en la sección } X-X' \text{ para cilindros de fundición.}$$

d = en la sección $X-X'$

$$= \frac{P}{0.17d} \times \frac{ac}{a+b} \text{ tensiones en la sección } Y-Y' \text{ con la carga en } X-X' \text{ para cilindros de fundición. } d = \text{ en la}$$

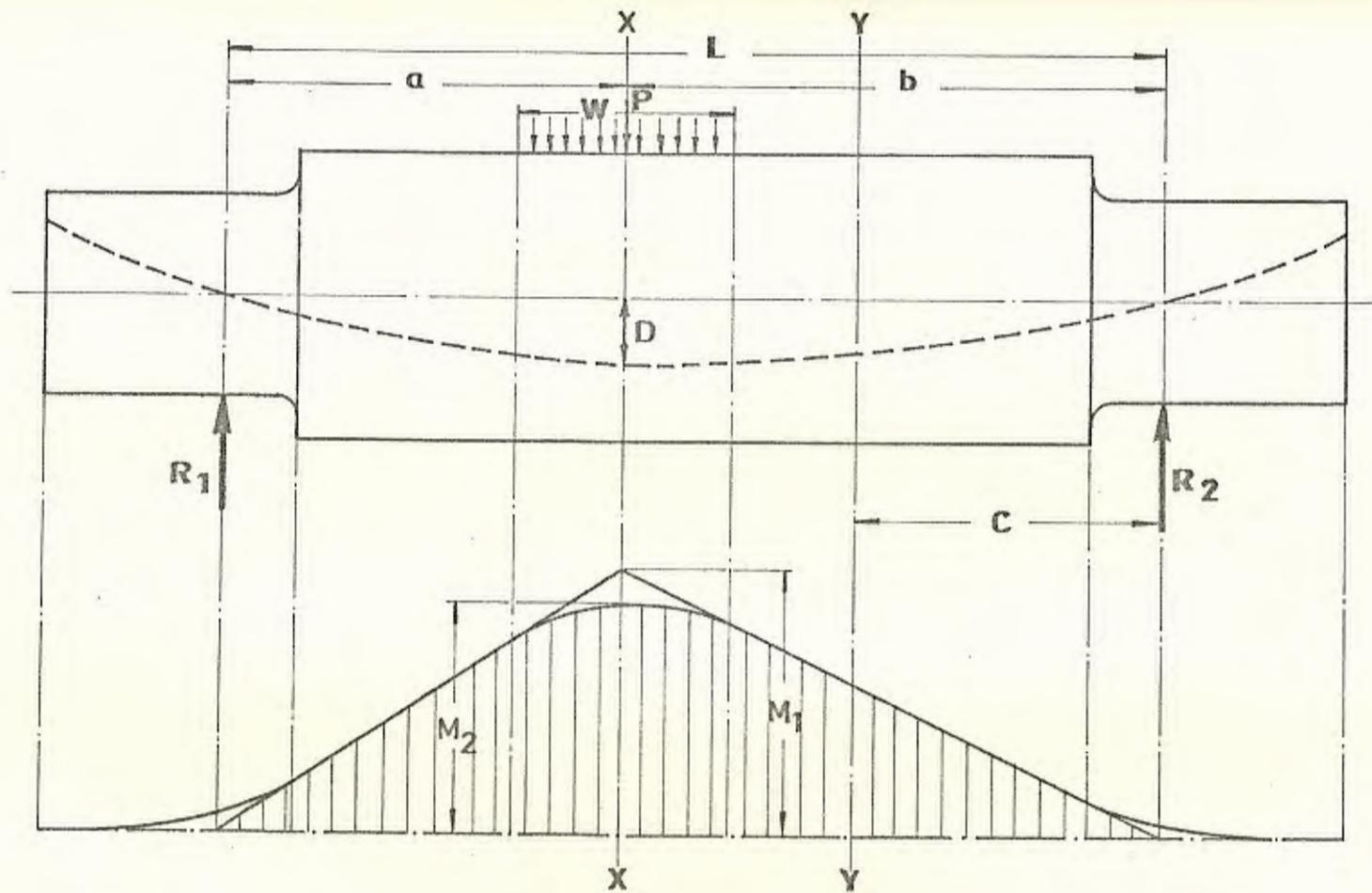


Fig. 4.12.- Momento flector y flecha en un cilindro producidos por una carga aplicada en un punto cualquiera.

sección Y-Y'

$$D = \frac{P}{3EI} \times \frac{a \cdot b}{a + b} \text{ Fecha en la sección X-X'.$$

I = momento de inercia medio = $0.05 a^4$

d = diámetro medio del cilindro

E = Módulo de elasticidad

Para el acero E = 21.000 Kg/mm^2

4.3 EFFECTOS DE LA TEMPERATURA DE LA BARRA SOBRE LA RESISTENCIA DE LOS CILINDROS

Nosotros sabemos que, una barra fría ofrece una resistencia mayor al laminarla, que una barra caliente. Este hecho es muy importante para diseñar un cilindro por las siguientes razones: Si un metal caliente se lamina a velocidades muy bajas, la resistencia a la compresión es pequeña, mientras la barra está caliente, pero sin embargo, tiene mucho tiempo para enfriarse por radiación y conducción a los cilindros, en los cuales está en contacto, por lo tanto, en las últimas pasadas la barra entrará a una temperatura baja, dando origen a grandes fuerzas de compresión a pesar de la baja velocidad. A su vez, estas fuerzas originan una tensión excesiva en los cilindros y un gran salto de los mismos, a menos que se reduzcan las proyecciones de las áreas de contacto.

Una condición análoga se encuentra si se considera la longitud de la barra laminada. Si en una canal determinada, que trabaja bien con una palanquilla de longitud dada, se introduce otra palanquilla de longitud dos veces mayor, la barra más larga tiene más tiempo para enfriarse entre las diferentes pasadas, por lo cual llega a las últimas canales más fría que la barra corta, y por consiguiente, siendo su resistencia mayor, producirá una mayor tensión. La Fig.4.13 nos muestra la velocidad de enfriamiento de barras de varios tamaños.

Generalmente, el enfriamiento debido al contacto en los cilindros tiene una influencia mucho mayor que el enfriamiento por radiación. Los cilindros son refrigerados con agua, y su temperatura cuando se pone en contacto con el metal caliente, raramente excede los 70°C. La fórmula para calcular el calor absorbido por los cilindros, cuando pasa la barra caliente por éstos es:

$$Q = \frac{T_s - T_r}{\sqrt{\pi}} \frac{(Cpct)^{\frac{3}{2}}}{3.600} \text{ Kcalorías/mm}^2 \text{ de sup. de contacto (4)}$$

C = Conductividad en Kilocalorías por mm. hora °C

P = Es el peso específico del material en Kg/mm³

c = Calor específico del material de la barra en Kcal/mm[°] C

t = Tiempo en segundos de contacto cilindro con barra

T_s = temperatura inicial de la barra en °C

T_r = Temperatura inicial del cilindro en °C



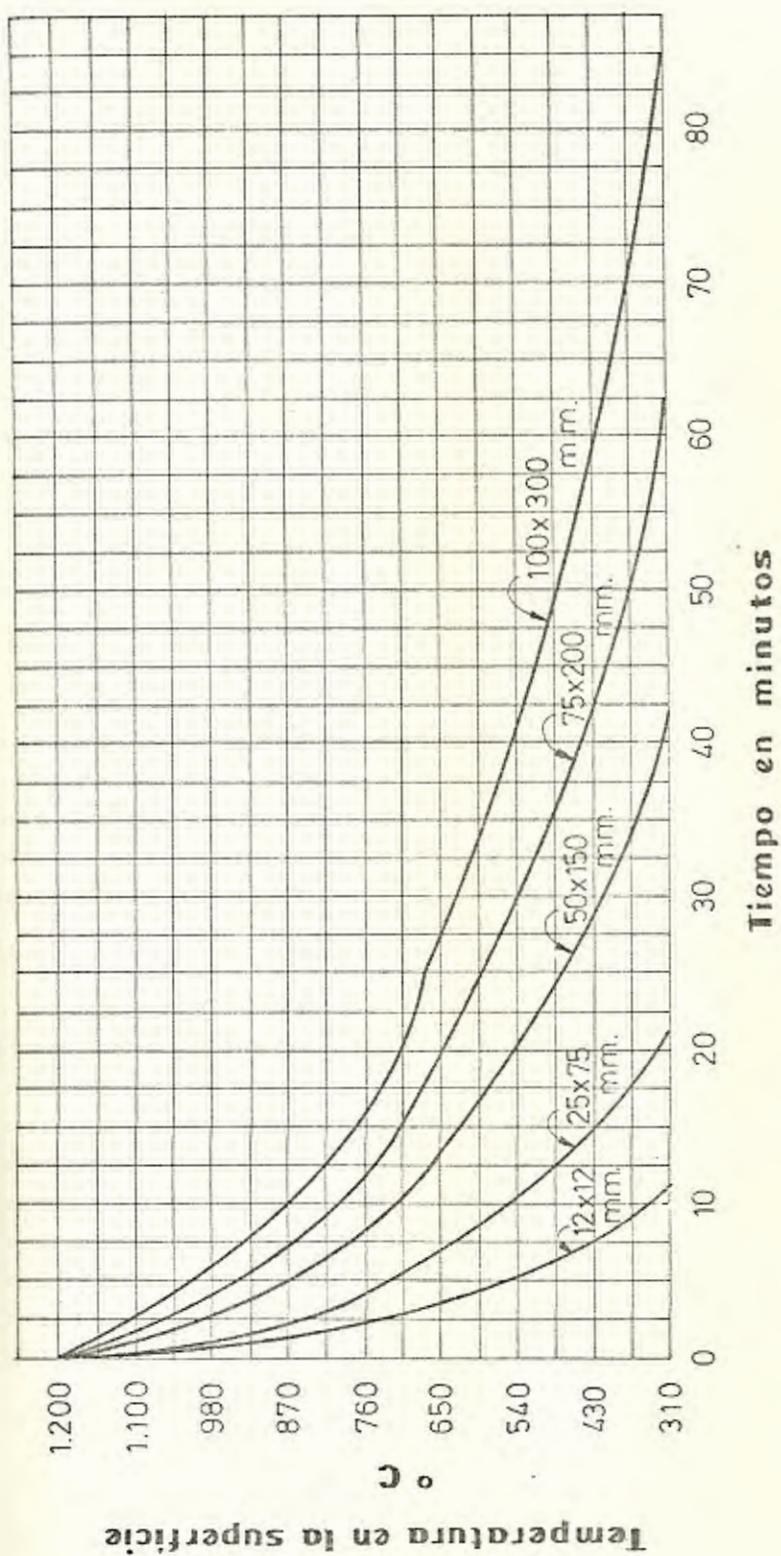


Fig. 4.13.- Velocidad de enfriamiento de algunas barras de varios tamaños.

En enfriamiento de la barra, debido a esta pérdida de calor es:

$$T = 0,00109 \frac{(T_s - T_r)\sqrt{t} \times \text{Area de contacto (mm}^2\text{)}}{\text{Peso de la barra (Kg)}} \quad (5)$$

4.4 PRINCIPIOS QUE GOBIERNAN LA ENTRADA Y DEFORMACION DE LA BARRA

El grado de dificultad de la entrada de la barra a los cilindros laminadores está afectada por los siguientes factores:

- a. Relación entre el diámetro y posición de los cilindros.
- b. El espesor de la barra
- c. La aspereza de los cilindros
- d. La relación entre el ancho de la barra y el ancho de la canal
- e. La velocidad de laminado.

Considerando la primera relación, el caso de una barra rectangular entrando en una canal plana. Cuando las superficies de dos cuerpos chocan la dirección de las fuerzas, está determinada por la normal común a las dos superficies de contacto.

En la Fig. 4.14 la tangente común, en el punto A, tiene la dirección F_5 . En el caso de que no existiere rozamiento, la dirección de la fuerza entre los dos cuerpos coincidirá con la normal común (F_2). Si no hubiese rozamiento, la barra no podría

entrar nunca, pues sería rechazada por la componente F_1 de la acción radial. El mismo razonamiento es válido para la Fig. 4.15 pero el ángulo central es más pequeño y la fuerza de repulsión será menor que en la Fig. 4.14.

Al existir rozamiento, entra en juego la fuerza de rozamiento F_5 que actúa a lo largo de la tangente común y que es igual al producto del coeficiente de rozamiento por la barra radial. La Fig. 4.14 muestra que la fuerza de rozamiento (tangencial), se puede descomponer en F_3 , que se suma a la fuerza de compresión y la F_4 que tiende a introducir la barra en los cilindros, actuando en sentido contrario a la F_1 de repulsión. Evidentemente, la barra no podrá entrar en los cilindros, a menos que la F_4 (Fuerza de rozamiento), igual a la F_1 (Fuerza de repulsión). Si se da exactamente este caso, entonces solamente existirá una fuerza de compresión normal a la dirección de laminación. En la Fig. 4.15 se muestra las fuerzas a partir del centro del cilindro, siendo F_2 la fuerza radial, F_5 la fuerza tangencial y F_3 la fuerza de compresión resultante. De esta figura se deduce que para que los cilindros agarren, el coeficiente de rozamiento debe ser, como mínimo, igual a la tangente del ángulo de contacto entre la barra y los cilindros. Este coeficiente de rozamiento es variable y depende de la aspereza de los cilindros y de la velocidad de laminación.

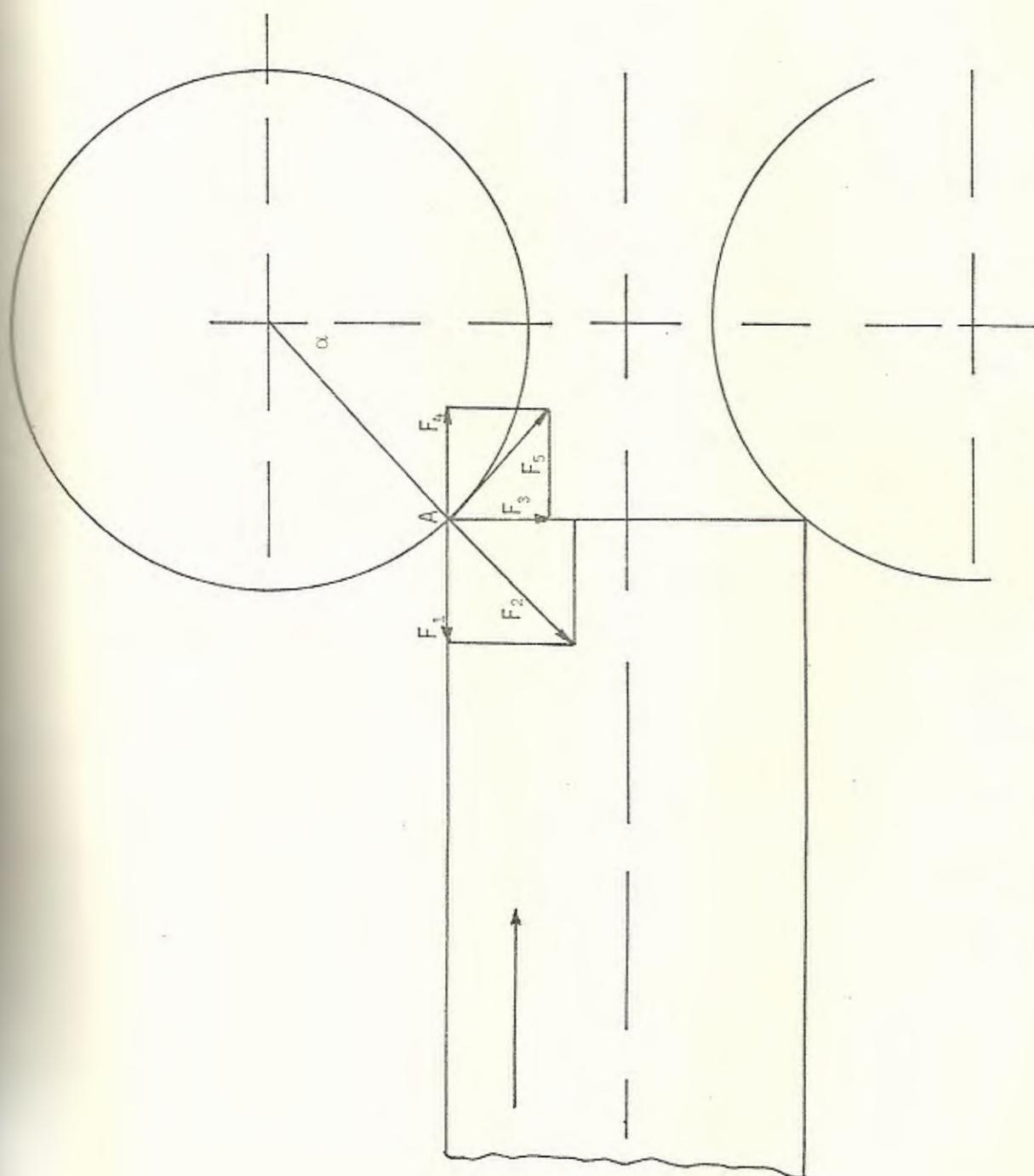


Fig. 4.14.- Fuerzas que se originan al entrar una barra entre cilindros para un ángulo de contacto grande.

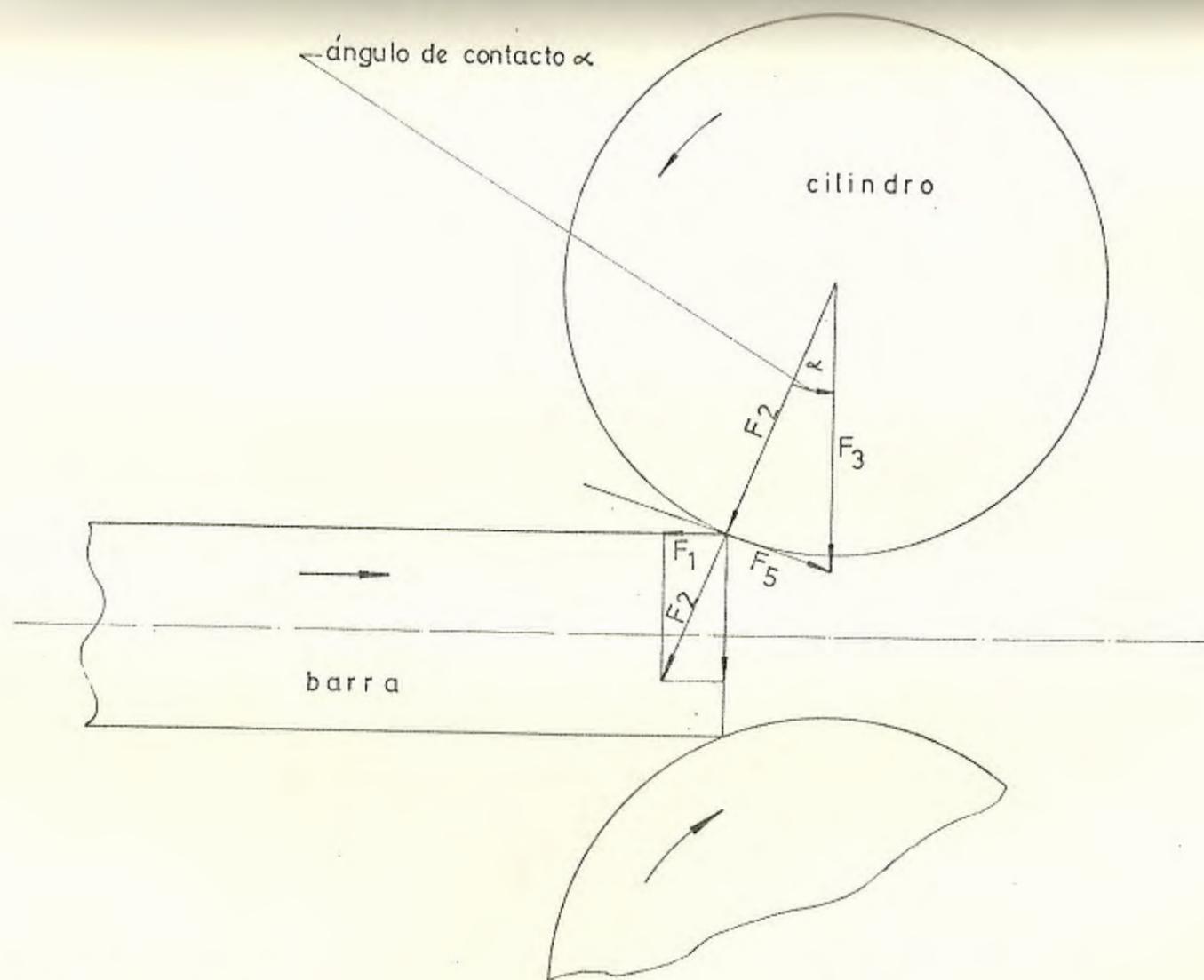


Fig. 4.15.- Fuerzas que se originan al entrar una barra entre cilindros, para un ángulo pequeño.

Con el objeto de asegurar el agarre cuando se lamina con grandes reducciones y grandes ángulos de contacto, se suelen tallar incisiones en las canales de los cilindros de los trenes desbastadores.

Al laminar una barra, se requiere la existencia de una determinada fuerza para la introducción de la misma, fuerza que, a causa del coeficiente de rozamiento, es solamente una fracción de la fuerza normal. Esta fuerza no se puede producir sin alguna fuerza que empuje la barra hacia los cilindros, la cual puede ser muy pequeña si los cilindros giran lentamente. Si los cilindros no agarran espontáneamente, el laminador ayuda a ello moviendo la barra hacia los cilindros a una velocidad superior a la de aquéllos, y usualmente con un considerable impacto. Las esquinas se deforman localmente contra los cilindros, actuando como una cuña, como se ve en la Fig. 4.16, y el extremo frontal de la barra hace contacto desde el punto 1 al punto 2. Aunque no puede haber agarre en el punto 1, siempre lo habrá en el punto 2, lo cual da la razón del éxito de este procedimiento.

El valor del coeficiente de rozamiento entre la barra y los cilindros, varía no solamente con la aspereza de los cilindros, sino también con la velocidad de los mismos. El efecto de la velocidad de laminado sobre el rozamiento fue investigado por Tafel (6), cuyos resultados se explican en la Fig. 4.17. Al aumentar

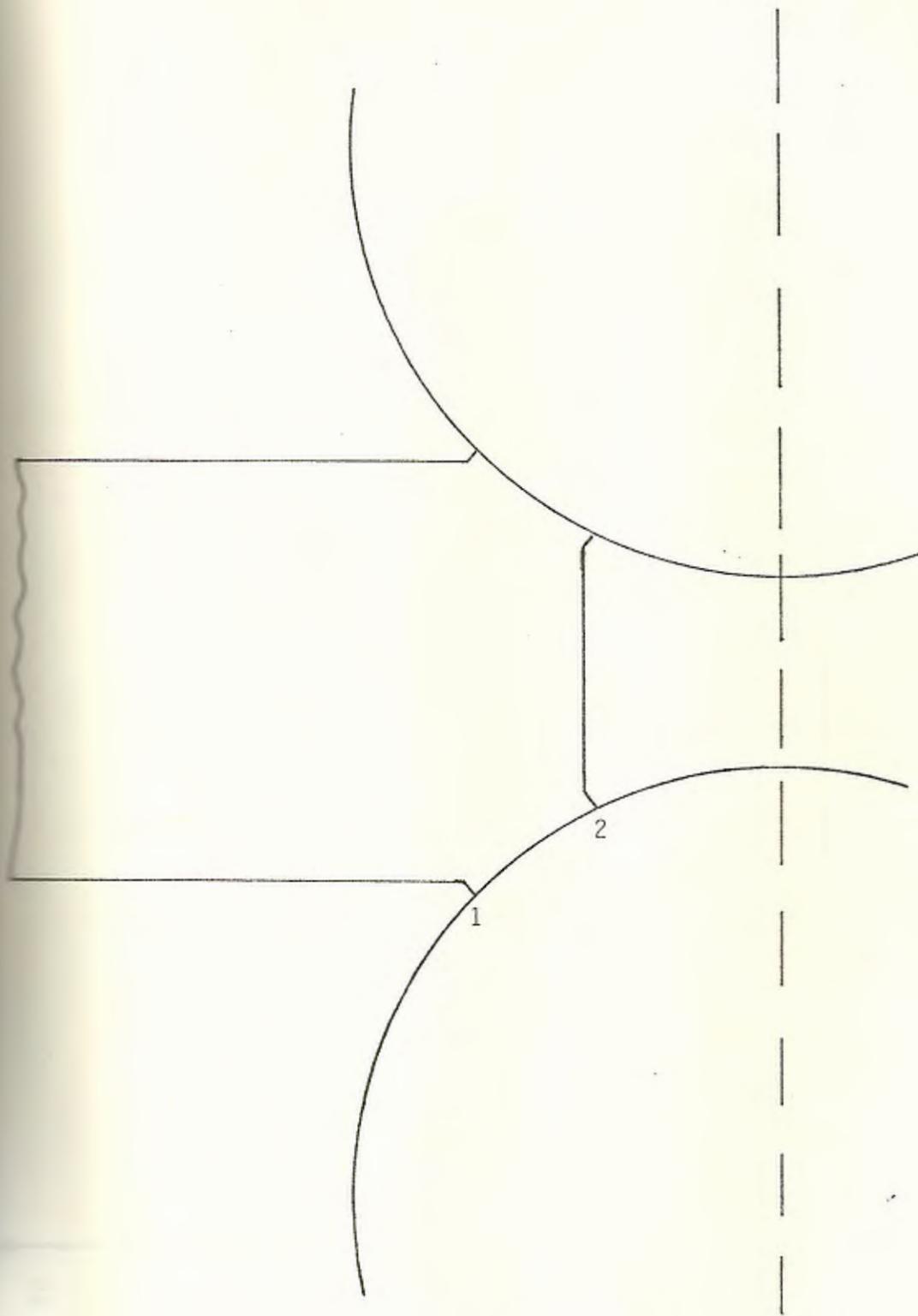


Fig. 4.16.- Deformación de una Barra debido al choque con los cilindros.

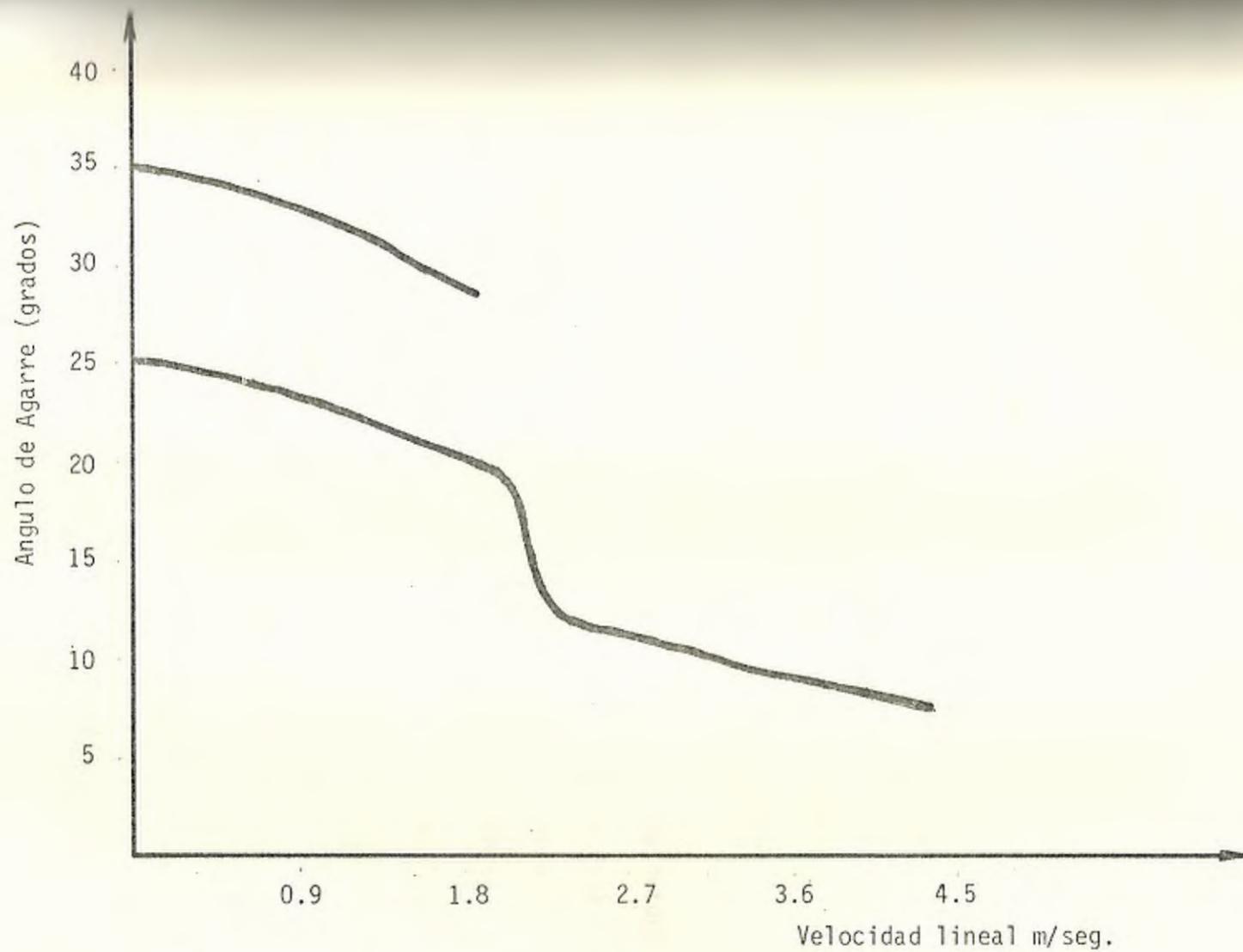


Fig. 4.17.- Relación entre el Angulo de Agarre y la Velocidad de los Cilindros para una superficie áspera y pulida.

En la práctica de laminación se somete a compresión a todas aquellas partes del material que estaba sometido a tracción. Esto se logra mediante el canteado de la barra, es decir, girando 90° antes de volver a laminar.

En los trenes dúos y tríos se voltea toda la barra, y en los trenes continuos, el canteado se lleva a cabo mediante guías, o bien se lamina mediante cilindros verticales. En la laminación en caliente, el volteo tiene lugar después de cada dos o cuatro pasadas dependiendo de la calidad del material que se lamina.

En el caso de secciones delgadas y anchas, el canteado es difícil, debido a que el material puede ondularse si se ejerce una fuerza considerable sobre los cantos, sin que exista una compresión simultánea de las caras planas. En estos casos, se lamina con trabajo lateral en trenes normales, de esta manera impedimos, al menos en parte, el ensanchamiento y la barra está obligada a efectuar un trabajo fuerte contra las paredes laterales de la canal, con lo cual la barra se comprime por todos los lados y se previene la formación de grietas. El trabajo lateral de canteado desgasta las canales rápidamente pero ofrece la ventaja de facilitar el rompimiento y eliminación de la cascarilla que se produce sobre la superficie del material.

Cuando mayor es la reducción, mayor es el desgaste de la canal,

debido a que la velocidad relativa entre los cilindros y la barra crece con aquélla y por lo tanto, se origina un mayor deslizamiento.

El desgaste en las canales acabadoras debe permanecer dentro de una tolerancia prescrita, cosa que se consigue trabajando con pequeñas reducciones en dichas canales. Normalmente se emplean varias canales acabadoras y se trabaja en cada una de ellas hasta que se sobrepase la tolerancia permitida. A continuación se detallan algunos factores que limitan la magnitud de la reducción:

- Si la reducción es demasiado grande la barra no entrará, es decir, los cilindros no la podrían agarrar.
- Cuando mayor sea la reducción, mayor será la proyección del área de contacto y, por consiguiente, será mayor la tensión en los cilindros. Muy a menudo, una resistencia baja de los cilindros limita la reducción.
- Las grandes reducciones requieren mucha potencia, por lo tanto, la potencia del motor limitará la magnitud de la reducción en muchos casos.
- El desgaste de los cilindros es un factor muy importante, cuando mayores son las reducciones, mayor es el desgaste.

- Otro factor es la limitada deformabilidad del material.
- La flecha, así como el aplastamiento de los cilindros, limitan la reducción en algunos casos.
- En determinados materiales, las reducciones grandes dan origen a agrietamiento de superficie y a pliegues superficiales.
- Ensanchamiento excesivo. Bajo ciertas condiciones el ensanchamiento de la barra crece rápidamente si la reducción se lleva más allá de determinado valor.
- Una excesiva deformación de los extremos de la barra.
- Con ciertos perfiles, las grandes reducciones originan en los extremos de la barra grandes distorsiones, tales como "cola de pescado", formación de unas curvaturas en la barra, etc. Estas distorsiones dificultan seriamente la entrada de la barra en la guía de la próxima canal.

Ensanchamiento.- Sabemos que el efecto de compresión de los cilindros produce no sólo alargamiento en la dirección de laminación, sino también en un ensanchamiento normal a dicha dirección. El mayor problema es saber qué fracción de la deformación total se transforma en alargamiento y qué fracción se transforma en ensan-

chamiento. La solución de este problema es muy importante, ya que de una estimación falsa del ensanchamiento resultan faltas de llenado o sobrellenado de la canal con formación de rebabas. Las rebabas deben evitarse en todas las canales, pero, sobre todo, en las canales acabadoras, ya que se puede producir un solapado de dichas rebabas al cantear la barra, originándose defectos, como pliegues o grietas superficiales, que reducirían la resistencia de la misma. Los factores que afectan el ensanchamiento son los siguientes:

- Longitud del arco de contacto
- Forma de proyección del área de contacto
- Rozamiento entre la barra y los cilindros
- Velocidad de laminación
- Restricción del alargamiento
- Forma de la canal
- Temperatura de la barra
- Distribución de la temperatura en el interior de la barra
- Composición del material



Teniendo en cuenta todos los factores que influyen sobre el ensanchamiento, es muy difícil encontrar una fórmula exacta que lo calcule. Algunos investigadores han encontrado las siguientes fórmulas:

La fórmula de Siebel.- (7)

Ensanchamiento = Coefic. de altura x $\frac{\text{Proyección Long. de contacto}}{\text{Espesor inicial}}$

Coeficiente = 0.3 - 0.4

La fórmula de Falk.- (8)

$$W_2^2 = \sqrt{\frac{0.161 \cdot \Delta h W_1 (h_1 + h_2)}{H_2 \cdot \alpha}} + W_1^2$$

W_1 = Ancho inicial

W_2 = Ancho final

h_1 = Espesor inicial

h_2 = Espesor final

α = Angulo de contacto

La fórmula de Scdlaezek.- (9)

$$W_2 - W_1 = \frac{W_1 \sqrt{W_1 R} \cdot h}{3(W_1^2 + h_1 H_2)}$$

4.5 DISPOSICION Y GEOMETRIA DE CANALES PARA LAS DIFERENTES MEDIDAS COMERCIALES

Los planos N° 1 ; N° 2 que están al final de este estudio muestran la disposición y geometría de las canales para 10, 12 y 16 mm. Esta última medida es la que hemos escogido para el análisis experimental.

CAPITULO V

ANALISIS COMPARATIVO DEL ACERO ANTES Y DESPUES DEL LAMINADO FINAL

5.1 ANALISIS QUIMICO DEL MATERIAL

En la actualidad, en nuestro país, se procesan aceros de grado intermedio (A-46) y aceros de grado extraduro (A-63). Tomando en cuenta que el grado extraduro representa un 70% de la producción nacional y el 85% del mercado nacional para la industria de la construcción, en el presente capítulo se realizará un análisis comparativo tomando como material el acero extraduro.

La Tabla N° 6 muestra las composiciones químicas correspondientes a la palanquilla laminada y a la producida por colada continua, obtenida en los laboratorios de la fundición de acero local.

Según estos valores nos damos cuenta que tanto la palanquilla laminada como la de colada continua, corresponden según la norma internacional ASTM a un acero de calidad SAE 1040. Esta calidad de aceros sirve para laminar barras en diámetros de 10 a 40 mm. de grado extraduro A-63.

TABLA N° 6

Composición Química de los Aceros

PORCENTAJES	C	Mn	Si	P	S
Palanquilla Laminada	0.45	1.40	0.30	0.015	0.018
Palanquilla Colada Continua	0.44	1.36	0.34	0.022	0.020

El Mn se emplea como elemento de adición en proporciones de 0.8 a 1.6% para mejorar la templabilidad de los aceros. Se utiliza también en proporciones de 1 a 3% para la fabricación de aceros indeformables. Además, tiene una gran aplicación en el acero aleándolo en un 12% y se consigue un acero muy resistente al desgaste, tienen una gran aplicación en la tecnología industrial.

SILICIO.- El Si se encuentra casi siempre en los aceros, pues se utiliza mucho como desoxidante. Además, los revestimientos refractarios de los hornos contienen frecuentemente sílice (SiO_2), que reducida por el C incorpora Si al metal.

El Si se lo considera como elemento aleado cuando su proporción es superior al 1%. La fabricación de aceros al Si se realiza utilizando ferrosilicio, pues el Si es muy caro y además es muy poco denso.

La templabilidad de aceros aumenta cuando el contenido de Si supera al 0.4%. Esta influencia explica que aceros de idéntica composición tienen distinta templabilidad, según el revestimiento del horno en que han sido elaborados.

El Si eleva el límite elástico de los aceros, lo que es indeseable en las chapas destinadas a la embutición profunda empleadas para la fabricación de carrocerías de automóviles, que por tanto, deben

contener la menor cantidad posible de Si. Los aceros al Si son muy resistentes al desgaste, utilizándose para esto proporciones del 1 al 1.5%.

El silicio se emplea para la fabricación de aceros de alta elasticidad en proporciones del 1 al 2%, para la fabricación de chapas magnéticas en proporciones del 1 al 5% en los aceros inoxidable del 0.5 al 2%, mejorando su resistencia en caliente.

5.2 ANALISIS DE LA MICRO-ESTRUCTURA DE LA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA

La Fig. 5.1 muestra un corte transversal de una palanquilla de 100 x 100 mm. obtenida por colada continua. Se puede observar que esta palanquilla presenta un rechupe en su parte central; con la finalidad de estudiar la variación de la microestructura desde la parte superficial hasta el centro, se han realizado microfotografías en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 mostrados en la Fig. 5.1.

La Fig. 5.2 muestra la microestructura en el punto 1 de la Fig.5.1, la cual comprende a la superficie de la palanquilla. En esta figura se nota claramente la presencia de granos de ferrita y en menor porcentaje colonias de perlita. La formación de mayor cantidad de ferrita en la superficie se debe a la decarburización de la palanquilla, la cual es enfriada por aspersion de agua desde

una temperatura de 1200°C a la salida de la lingotera y luego es enfriada al aire.

La Fig. 5.3 muestra una microfotografía obtenida en el punto 2 mostrado en la Fig. 5.1. Aquí podemos observar granos de ferrita en menor cantidad que en el borde (Fig. 5.2), colonias de perlita, además en algunas zonas se observan estructuras acicular, propias de enfriamientos rápidos. La diferente microestructura observada muestra claramente la no uniformidad del enfriamiento.

Comparando la Fig. 5.2 con la Fig. 5.3 observamos una gran diferencia en el tamaño del grano, el grano de la superficie es mucho más pequeño debido al rápido enfriamiento que se produce en estos puntos, debido a la aspersion de agua. En este punto, debido a un enfriamiento más lento, se ha dado la posibilidad de un crecimiento de grano.

La Fig.5.4 muestra la microestructura obtenida en el punto 3 mostrada en la Fig. 5.1. Esta microestructura es similar a la del punto 2 (Fig. 5.1), lo cual demuestra una similar condición de enfriamiento. Sin embargo, la microestructura observada en el punto 4, Fig. 5.5, correspondiente al área cercana al centro de la palanquilla muestra una microestructura diferente, esto es debido a que las condiciones de solidificación y enfriamiento en la parte central son diferentes, pues, el centro es la última

parte que solidifica, produciéndose esta solidificación fuera de la lingotera a una distancia que depende de la longitud de la "distancia metalúrgica", la cual a su vez depende de la velocidad de enfriamiento. Observando detenidamente esta microfotografía vemos una cierta estructura dentrítica propia de velocidades de enfriamiento lento.

La Fig. 5.6 muestra una macrofotografía del corte transversal de la palanquilla de colada continua, sin ataque y usando tintas penetrantes para resaltar el defecto de rechupe central. Este mismo defecto es mostrado con ataque químico en macrográfica en la Fig. 5.7. El rechupe central es un defecto que se encontró en todas las palanquillas de colada continua analizadas, variando su tamaño en algunos casos. Con la finalidad de observar la microestructura en el material adyacente al rechupe, se preparó una microfotografía, la cual es mostrada en la Fig. 5.8.

5.3 ANALISIS DE LA MICRO-ESTRUCTURA DE LA PALANQUILLA LAMINADA

La Fig. 5.9 muestra un corte transversal de una palanquilla de 100 x 100 mm. laminada, con la finalidad de estudiar la variación de la microestructura desde la parte superficial hacia el centro. Se han realizado microfotografías en los puntos 1, 2, 3, 4 y 5.

La Fig. 5.10 muestra la microestructura en el punto 1 de la Fig.

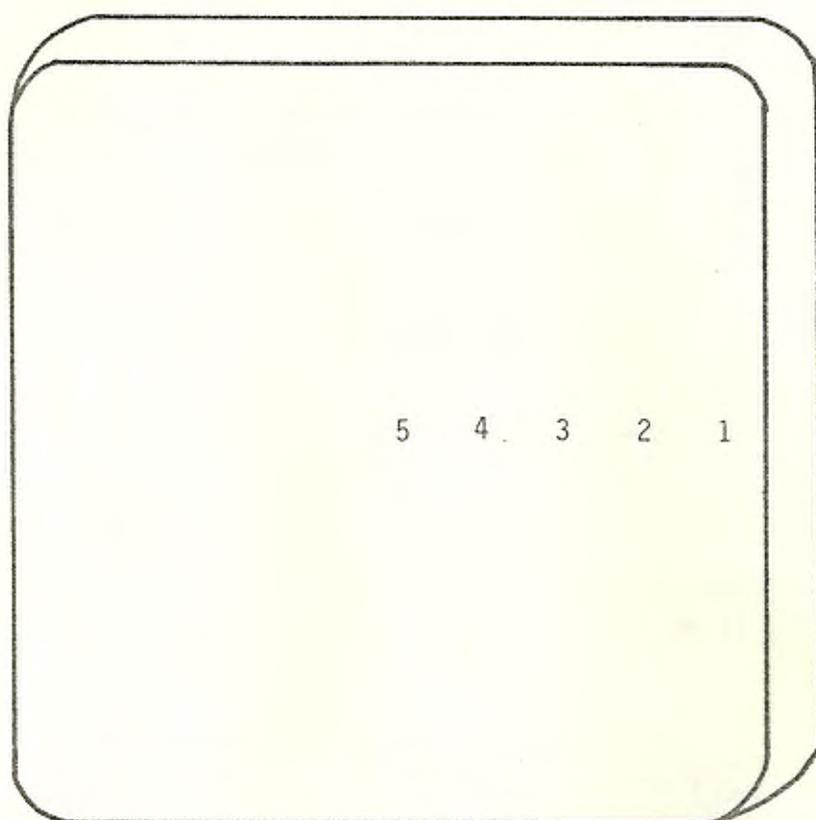
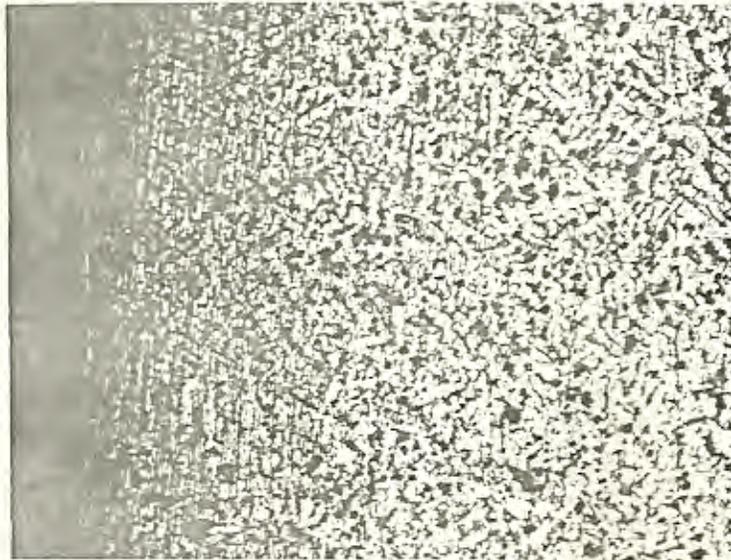


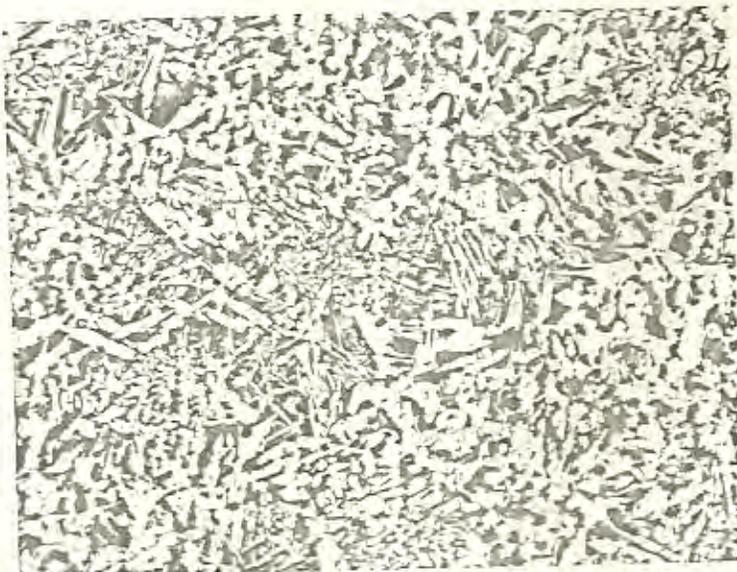
Fig. 5.1.- Palanquilla de Colada Continua
de producción nacional.
Corte Transversal 100 x 10 mm.



Nital 3%

x 50 veces

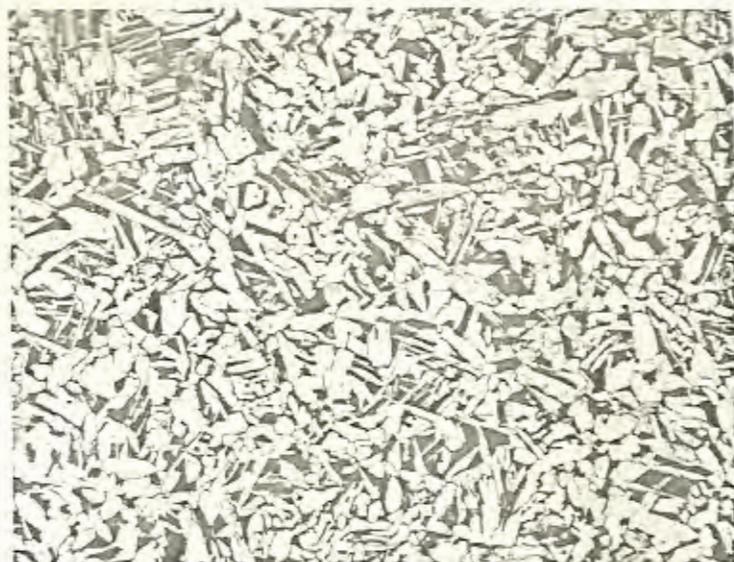
Fig. 5.2.- Fotografía de la microestructura de la palanquilla de colada continua en el punto 1 de Fig. 5.1.



Nital 3%

x 50 veces

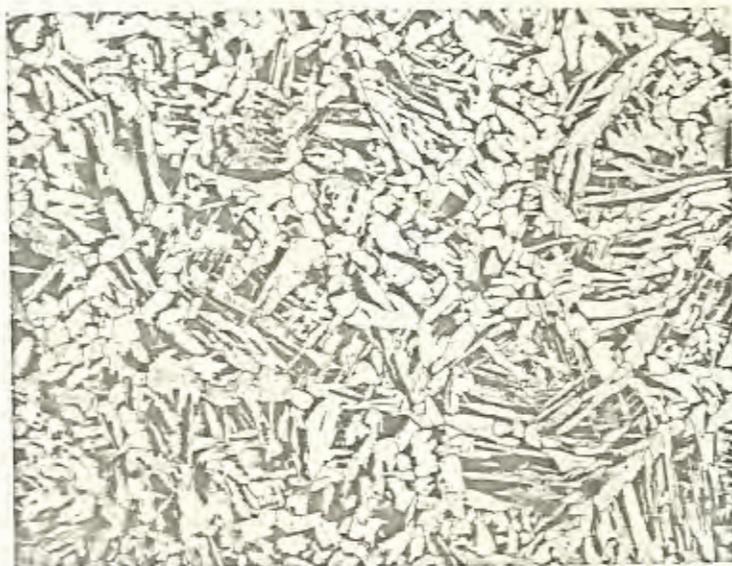
Fig. 5.3.- Fotografía de la microestructura de palanquilla de colada continua en el punto 2 de Fig. 5.1.



Nital 3%

x 50 veces

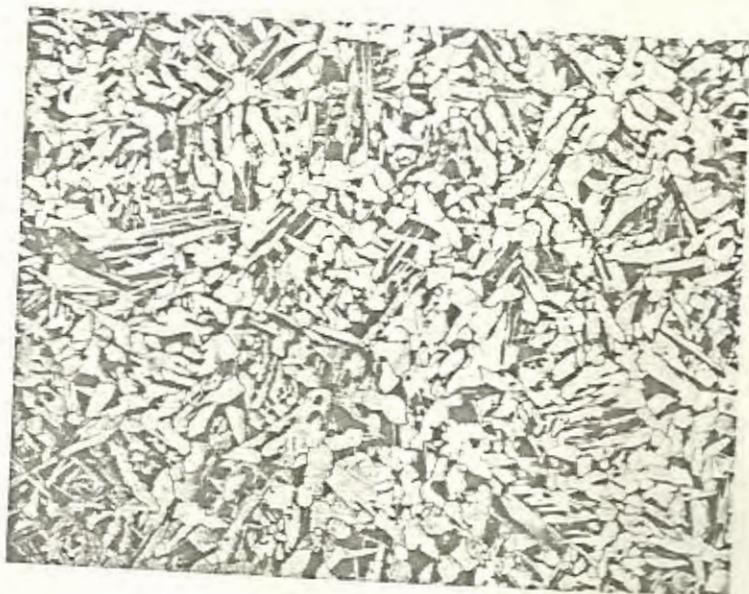
Fig. 5.12.- Fotografía de la microestructura de la palanquilla laminada en el punto 3 de la Fig. 5.9.



Nital 3%

x 50 veces

Fig. 5.13.- Fotografía de la microestructura de la palanquilla laminada en el punto 4 de la Fig. 5.9.

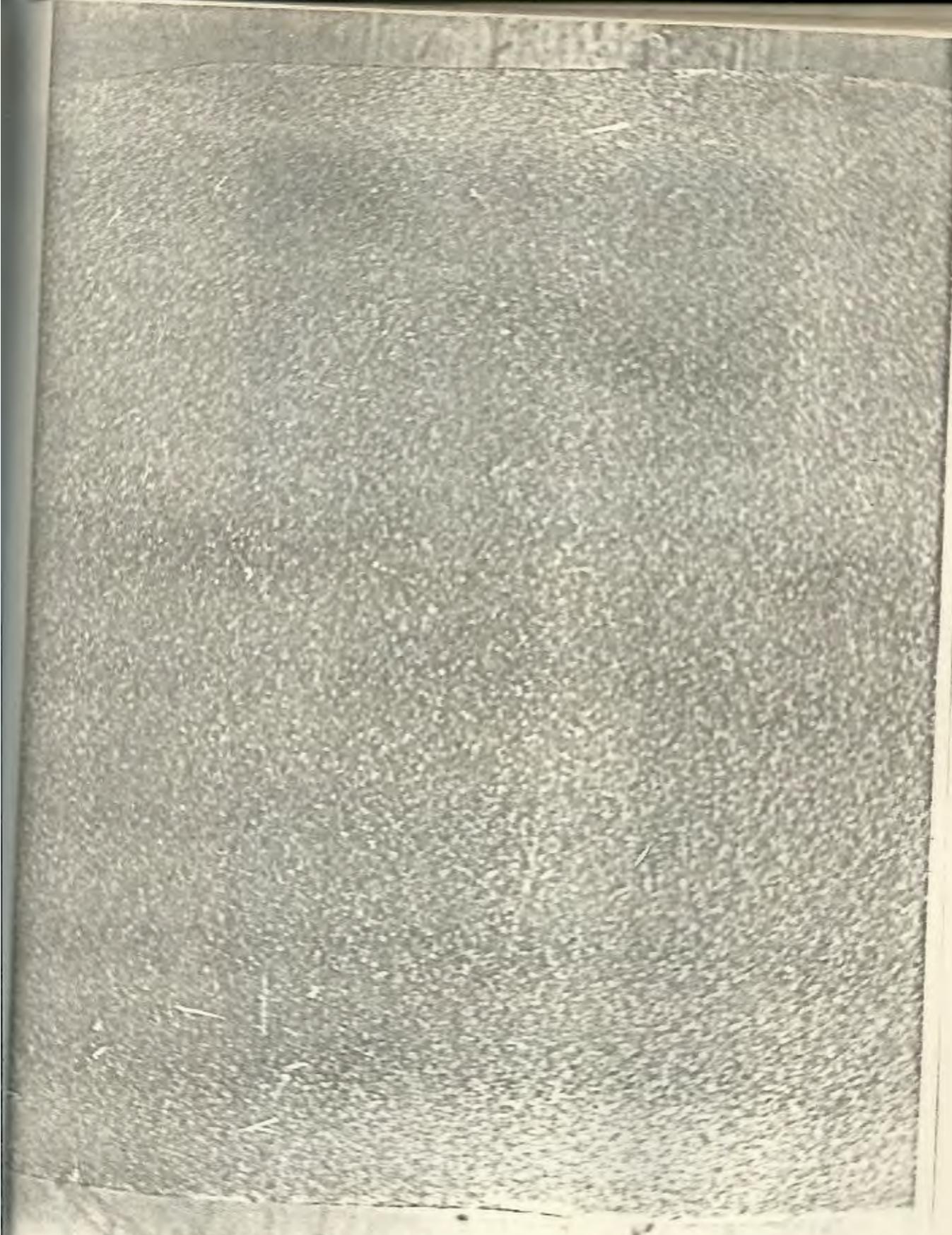


Nital 3%

x 50 veces

Fig. 5.14.- Fotografía de la microestructura de la palanquilla laminada en el punto 5 de la Fig. 5.9.





Nital 3%

x 50 veces

Fig. 5.15.- Macrofotografía de palanquilla laminada con ataque.



50 x

Fig. 5.16.- Palanquilla colada contínua zona central sin ataque.



50 x

Fig. 5.17.- Palanquilla laminada zona central sin ataque.

palanquillas producidas por colada continua y por laminación. Aquí se puede observar fácilmente que existe una marcada diferencia en estructura de segregación de la palanquilla de colada continua con respecto a la de laminación, en esta última no se observa ninguna estructura de segregación característica de un colado sino más bien una estructura propia de deformación. Además, las zonas negras observadas indican presencia de segregaciones, éstas son más numerosas en palanquilla de colada continua que en la laminada, en la cual, por efecto del trabajo de deformación éstas han sido redistribuidas.

5.4 ANÁLISIS DE LA MICROESTRUCTURA DEL MATERIAL TERMINADO

Primero vamos a analizar las barras de producto terminado de palanquillas de colada continua; la Fig. 5.18 muestra la microfotografía en corte longitudinal en el borde, aquí podemos observar que los granos se encuentran muy deformados, lo cual se debe al contacto directo con los rodillos de laminación.

Si observamos las Figs. 5.19 y 5.20 que muestran las microfotografías en los cortes longitudinal en el centro de la barra, nos podemos dar cuenta que en este sector no sucede lo mismo que en el borde, aquí los granos están distribuidos en forma más homogénea y se identifica fácilmente un bandeo de laminación.

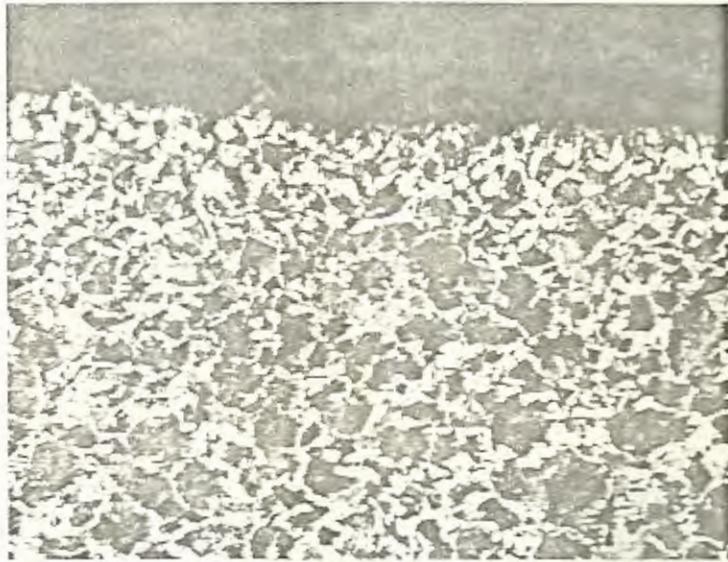
La Fig. 5.21 muestra la microfotografía en corte transversal en el borde, en la cual podemos observar mayor cantidad de granos de ferrita y ésta va disminuyendo hacia el centro, debido a la decarburización superficial que sufre la barra al ser laminada.

La Fig. 5.22 muestra una microfotografía en corte transversal en el centro de la barra, mostrando granos de ferrita más uniformes y en mayor porcentaje colonias perlíticas.

Ahora analizamos las barras de producto terminado de palanquillas laminadas. La Fig. 5.23 muestra la microfotografía en corte longitudinal en el borde, aquí notamos granos más pequeños y van creciendo hacia el centro, ésto es debido a que el borde está en contacto más directo con la zona de enfriamiento.

Las Fig. 5.24 y 5.25 muestran las microfotografías en cortes longitudinales en el centro de la barra, aquí notamos más uniformidad en el grano. Se observa una microestructura perlítica en una matriz de ferrita. La perlita es muy fina y no se observa bandeo perlítico por efecto de la laminación.

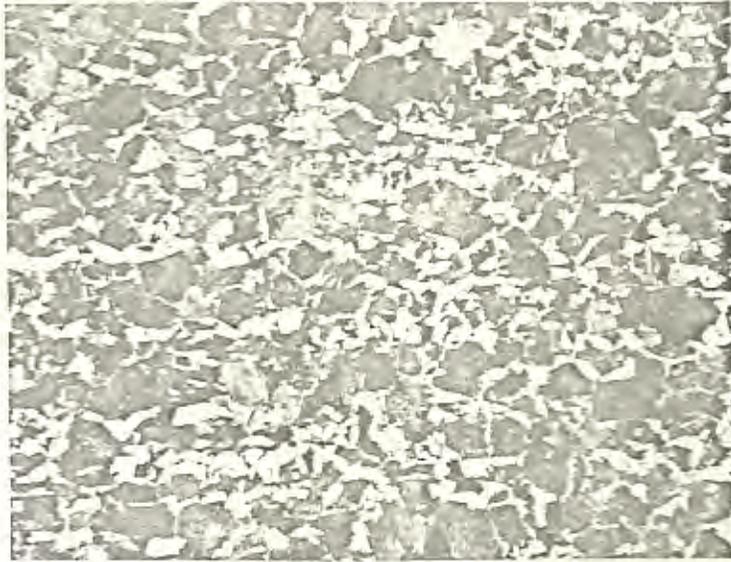
Las Figs. 5.26 y 5.27 muestran la diferencia, al observar las segregaciones desde un plano transversal (5.26) y desde un plano longitudinal (5.27), es decir paralelo a la dirección de la laminación. Estas nos indican la direccionalidad que toman las segre-



Nital 3%

x 200

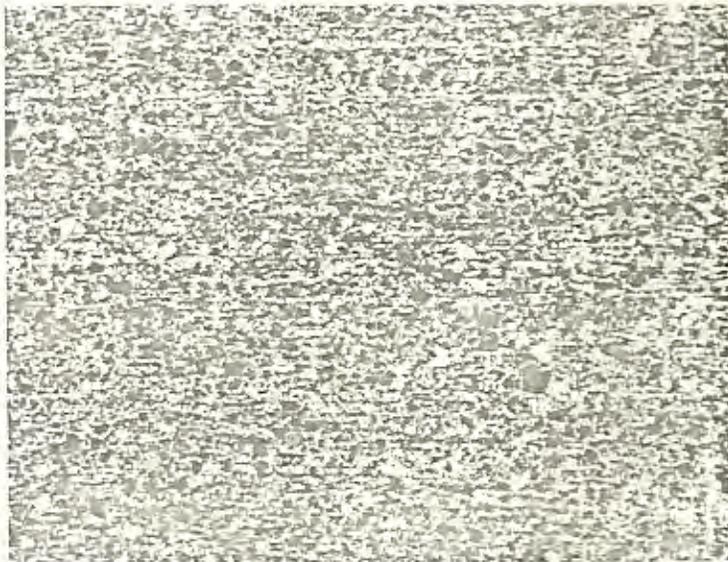
Fig. 5.18.- Microestructura en el corte longitudinal de barra de producto terminado, partiendo de palanquillas de colada continua en el borde de la barra.



Nital 3%

200 x

Fig. 5.19.- Corte Longitudinal de barra de producto terminado partiendo de palanquilla de colada continua (en el centro).



Nital 3%

50 x

Fig. 5.20.- Corte longitudinal de barra de producto terminado partiendo de palanquilla de colada continua (en el centro).

5.5.3 Ensayo de Dureza

La Fig. 5.30 muestra un gráfico comparativo de la variación de la dureza (R_b) de las palanquillas obtenidas por colada continua y por laminación. Aquí podemos observar que la palanquilla de colada continua presenta mayor dureza que la palanquilla laminada, ésto es debido a que la palanquilla de colada continua presenta más colonias perlíticas que la palanquilla laminada y granos de ferrita un poco más pequeños. Además, según se observó en las Figs. 5.3 y 5.4 la estructura acicular es más fina debido a un enfriamiento más rápido, lo cual le da características de mayor dureza.

También nos podemos dar cuenta en la Fig. 5.30 que la dureza transversal de la palanquilla producida por laminación presenta mayor uniformidad, con relación a la palanquilla producida por colada continua, ésto es debido al trabajado mecánico que ha sufrido, lo cual ha producido una mayor homogenización de sus propiedades.

Además, se observa que la dureza transversal de las palanquillas producidas por los dos procesos estudiados, muestran una pequeña tendencia a disminuir a medida que nos acercamos hacia el centro; lo cual, como lo confirman las microfotografías, es debido a la variación de la velocidad





Fig. 5.34.- Palanquillas cortadas en frío, listas para entrar al proceso de laminación para obtener varillas comerciales.

neralmente más pequeña que en el trabajo en frío.

A la temperatura que se realiza el trabajo en caliente, en este caso "la laminación", no sólo es menor la energía necesaria para deformar el metal y mayor la facilidad para que fluya sin agrietarse, sino que, además, la difusión es rápida y facilita la homogenización química de las estructuras de colada.

Las sopladuras y los rechupes internos se eliminan por soldadura al aplastarse estas cavidades y los granos columnares se destruyen y se afinan al recristalizar en granos equiáxicos más pequeños. Todas estas modificaciones producidas en la deformación plástica en caliente mejoran la ductilidad y la tenacidad del metal con respecto al estado bruto de colada.

Es evidente que la deformación plástica en caliente también tiene sus desventajas, una de éstas puede ser la decarburación del acero y es frecuente tener que reducir a un mecanizado extenso para reducir esta capa decarburada. Otra desventaja es la incrustación del óxido en el metal durante la operación, perjudica la calidad superficial de los productos laminados en caliente y como es necesario admitir tolerancias para las dilataciones y contracciones es inevitable que los productos acabados en caliente tengan dimensiones más variables que los terminados en frío. La deformación es siempre más intensa en la superficie, por lo

que el metal de las capas superficiales suele tener granos más finos que el del centro.

La deformación plástica del acero en laminación en caliente se lleva a cabo en varias etapas o pasos. La temperatura de trabajo se mantiene en los pasos intermedios claramente por encima de la temperatura mínima de trabajo, para aprovechar la ventaja del valor más pequeño del límite elástico. La última etapa o paso de deformación plástica en laminación en caliente se la suele dar con una elevada deformación plástica en laminación y a la temperatura mínima de trabajo, así nos aseguramos que el grano del producto sea muy fino.



POLITECNICA DEL LIBERAL
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
F.I.M.C.P.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez terminada la parte experimental, en la cual se utilizó como material de trabajo probetas de acero tanto en forma de palanquilla de 100 x 100 mm, como de barra corrugada de 16 mm, producidas por colada continua y por laminación, de un SAE 1040, a continuación se exponen las conclusiones y recomendaciones a las que se ha llegado:

CONCLUSIONES:

- En el análisis químico efectuado a las dos palanquillas se obtuvieron contenidos porcentuales similares tanto en los elementos principales como en los residuales, lo cual se muestra en la Tabla 6.
- *La palanquilla nacional muestra defectos de solidificación*
- En el análisis de la macroscopía, Fig. 5.6, tomada a la palanquilla de colada continua producida en nuestro país, se observó un defecto de rechupe central, el cual puede ser efecto de la velocidad de enfriamiento y velocidad de colada. Este defecto no fue observado en palanquillas obtenidas por laminación. *Esto es disolución!*
- En el análisis de la microestructura de la palanquilla de colada continua se observó que el grano es más pequeño en la zona superficial y va creciendo hacia el centro de la palanquilla lo cual es

debido al rápido enfriamiento que sufre la superficie, por la aspersión del agua y el grano crece hacia el centro porque el enfriamiento es más lento en estas zonas.

Discusión

- Según las microfotografías de la palanquilla laminada nos damos cuenta que las zonas más alejadas de la superficie tienen mejor uniformidad de grano, debido al trabajado mecánico que ya ha sufrido y a la mejor uniformidad de enfriamiento.

Discusión

- La microestructura de la palanquilla de colada continua presenta una ferrita acicular propia de velocidades de enfriamiento rápido, (Figs. 5.2, 5.3 y 5.4). Esta microestructura fue observada en casi toda su sección transversal a excepción del área central en donde se observó estructura de segregación propia de un enfriamiento más lento. (Figs. 5.5 y 5.6).
- La microestructura de la palanquilla de colada continua deberá variar según la velocidad de colado y el sistema de enfriamiento.
- La microestructura de la palanquilla laminada presenta ferrita acicular más basta que aquella observada en la palanquilla de colada continua.
- En la palanquilla producida por laminación no se observó microestructura direccional, lo cual demuestra que su deformación fue pro-

ducida a una temperatura de trabajo correcta que ha permitido una recristalización completa.



BIBLIOTECA
F. A. B. A. T. O. R. I. O. S.

- La dureza (R_b) es más uniforme en la palanquilla laminada, que en la palanquilla de colada continua, lo cual se debe a que ésta ya ha sufrido un proceso de deformación.
- Cuando el corte de la palanquilla de colada continua se lo hace en caliente, ésta produce menos despuntes y cobbles que la palanquilla de colada continua cortada en frío.
- La palanquilla laminada también produce menos despuntes y cobbles que la palanquilla de colada continua.
- En las barras de producto terminado obtenidas de palanquillas de colada continua presentan un bandeado perlítico, lo cual, aunque podría producir una anisotropía, esto no es crítico para este tipo de productos y hasta podría ser favorable.
- En el borde las barras de producto terminado de palanquillas de colada continua, hay mayor cantidad de perlita y esto va disminuyendo hacia el centro, esto es debido a la decarburización superficial que sufre la barra al ser laminada (Figs. 5.21 y 5.22).
- El producto terminado de palanquilla laminada tiene una microestruc-

tura perlítica en una matriz de ferrita y no presenta bandeado perlítico por efecto de laminación (Figs. 5.24 y 5.25).

- La deformación siempre es más intensa en la superficie, por lo que el metal de las capas superficiales suele tener granos más finos que en el centro.
- Las barras corrugadas obtenidas por laminación a partir de palanquillas de colada continua o deformadas (laminadas) que fueron analizadas en este trabajo no presentan deformación direccional, lo cual permite concluir que la temperatura de trabajo utilizada, está sobre el límite inferior permitido.
- La Dureza (Rc) de la barra de producto terminado partiendo de palanquilla de colada continua es menor que la dureza en el producto terminado de palanquilla laminada (Fig. 5.31).
- Las máximas durezas (Rc) fueron obtenidas a 4 mm de la superficie, tanto en productos obtenidos partiendo de palanquilla de colada continua como laminada (Fig. 5.31).
- Los menores valores de dureza se encuentran en la superficie y en el centro de las dos clases de palanquilla.
- Los valores de Límite de Fluencia, Resistencia a la Tracción y Alar-

gamiento obtenidos en los productos analizados cumplen con las recomendaciones de normas nacionales e internacionales para este tipo de acero.

- Los productos analizados obtenidos a partir de palanquilla de colada continua y laminada soportan una presión de compresión de 212.54 Kg/mm², antes de alcanzar la inestabilidad plástica (abarrilamiento) y no dieron muestra de presencia de pliegues.

RECOMENDACIONES

Que sea una política de gobierno que se incentiven las instalaciones de este tipo de proceso en la producción de acero.

- Unir esfuerzos para que la producción de palanquilla por colada continua en nuestro país cubra todas las necesidades de las plantas de laminación existentes; así se ahorran divisas y se crean fuentes de trabajo, ya que como quedó demostrado la palanquilla de colada continua es igual o de mejor calidad que la palanquilla laminada y además producir palanquilla por colada continua nos trae un ahorro considerable de energía,
- Que las empresas laminadoras colaboren más estrechamente en la realización de este tipo de trabajos, que permite subir el nivel técnico de su personal, al mismo tiempo disminuye el empirismo que existe tanto en técnicos nacionales como extranjeros que laboran en este tipo de empresas.



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

- 1.- BURTON M.S., Metalurgia Aplicada
- 2.- BENSUN K., Laminación y Trazados para filos y barras
- 3.- CASTILLO R. y ERNESTO A. GUARANDA, Defectos en Palanquilla y Tochos de Colada Continua, 1977, Buenos Aires-Argentina.
- 4.- COSTA ALOISIO PINTO LANDEIRO, Curso de Laminamiento Continuo, Vitoria, Brasil, 1973.
- 5.- CONCAST IBERICA, Boletín de Publicación, Junio 1980
- 6.- CONCAST IBERICA, Boletín de Publicación, Mayo 1981
- 7.- CONCAST IBERICA, Manual de Colada Continua, 1980
- 8.- HUBERTUS COLPAERT, Metalografía dos productos siderúrgicos comunes.
- 9.- DIETER GEORGE E. Dr, Metalurgia Mecánica
- 10.- HIGGINS RAYMOND A., Metalurgia Física Aplicada
- 11.- ILAFA, Revista Cilindros de Laminación, 20-23, Sao Paulo-Brasil, Mayo, 1974.
- 12.- ILAFA, Revista, Laminación: Tecnología, equipo y productos, 9-13, Buenos Aires-Argentina, Mayo 1976.
- 13.- ILAFA, Revista, Colada Continua-Tecnología; Equipos, Operación y Selección, Santiago-Chile, 1977.
- 14.- M.P.T., Revista # 2, 1980
- 15.- REED HILL, Robert E., Principios de la Metalurgia Física.

- 16.- TRINKS., W., Fundamentos de Laminación
- 17.- THE MAKING, Shading and Treating of Steel
- 18.- VILLANUEVA, Roberto A, Curso de Cilindros Laminados Fundidos



NOTAS

CAPITULO I

- (1) Boletín Informativo de Concast Ibérica, Junio 1980.

CAPITULO II

- (1) Revista ILAFA, Colada Continua 1977, Tecnología: Equipos, Operación y Selección. Santiago-Chile, Pág. 18.
- (2) Boletín Informativo de Concast Ibérica, Mayo 1981
- (3) Manual de Colada Continua Concast Ibérica

CAPITULO IV

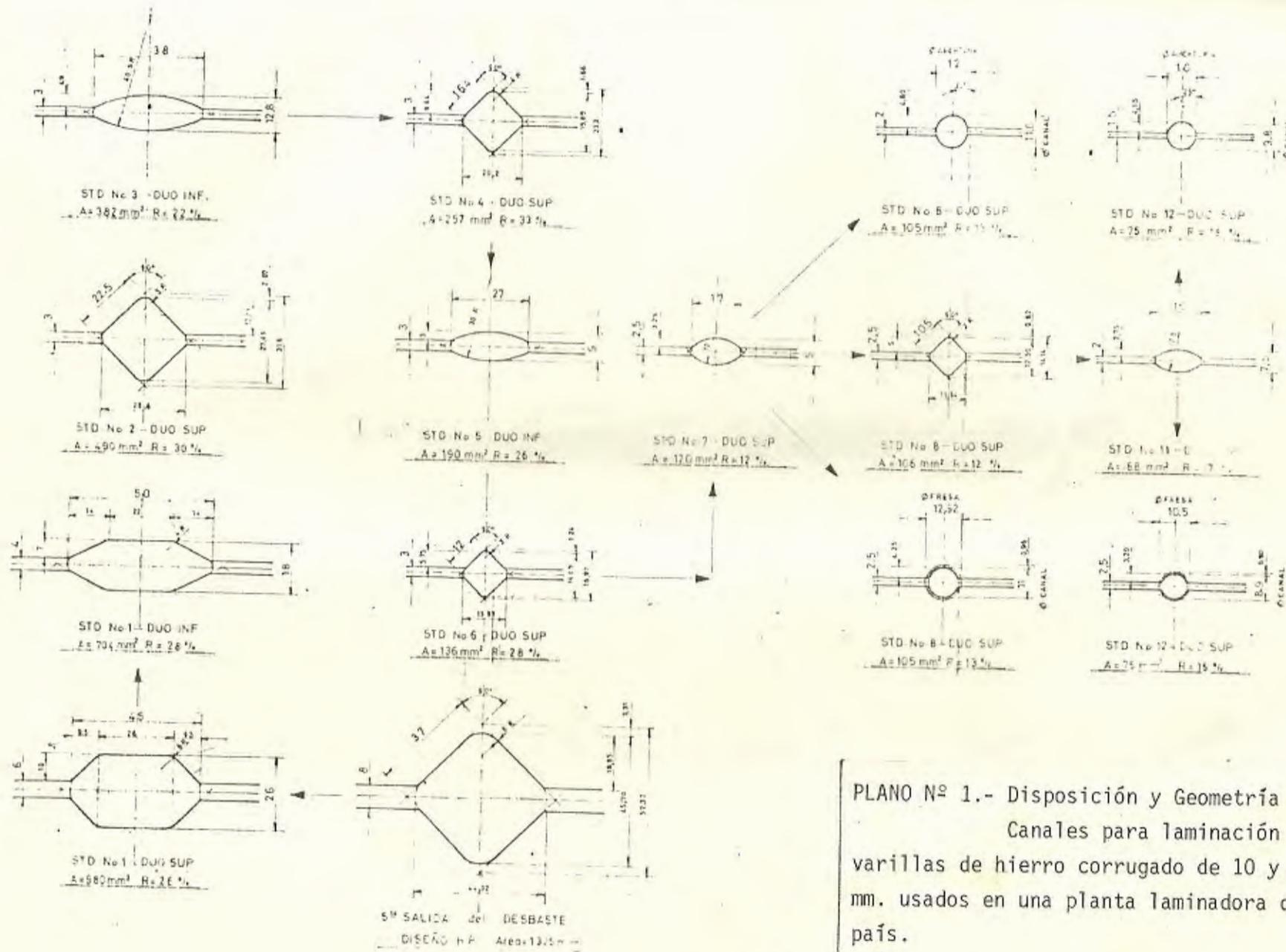
3 Referencias

- (1) Curso de Laminación del Instituto Argentino de Siderurgia por Roberto Villanueva, 1979, Pág. 6
- (2) Curso de Laminación del Instituto Argentino de Siderurgia por Roberto Villanueva, 1979, Pág. 7
- (3) Fundamentos de la Laminación, por W. Trinks.
- (4) Fundamentos de la Laminación, por W. Trinks.

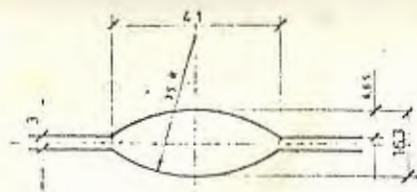


- (5) Fundamentos de la Laminación, por W. Trinks.
- (6) Laminación y razados para Perfiles y Barras por K. Bensen.
- (7) Fundamentos de la Laminación, por W. Trinks.
- (8) Fundamentos de la Laminación, por W. Trinks.
- (9) Laminación Trazados para Perfiles y Barras por K. Bensen.

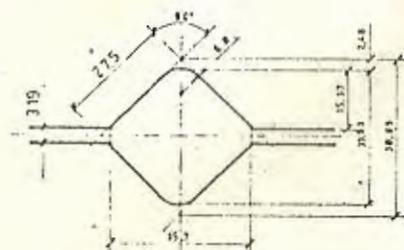




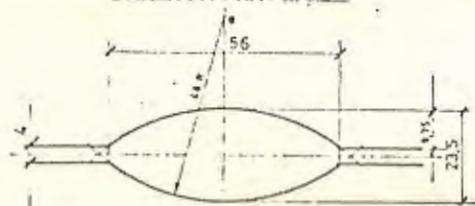
PLANO N^o 1.- Disposición y Geometría de Canales para laminación de varillas de hierro corrugado de 10 y 12 mm. usados en una planta laminadora del país.



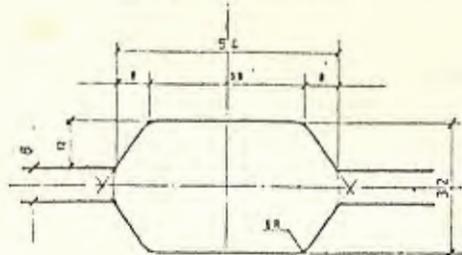
STD No 3 - DUO INF.
A = 525 mm² - R = 29 %



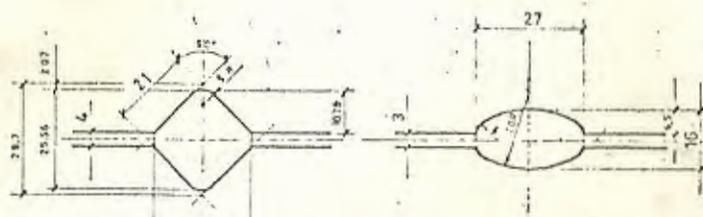
STD No 2 - DUO SUP.
A = 736 mm² - R = 29 %



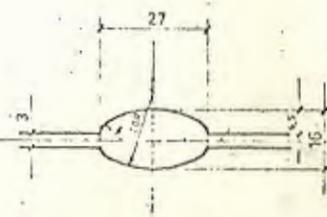
STD No 1 - DUO INF.
A = 1033 mm² - R = 33 %



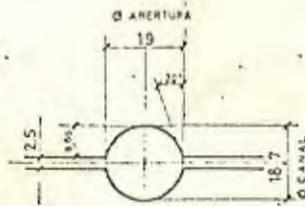
STD No 1 - DUO SUP.
A = 1535 mm² - R = 15 %



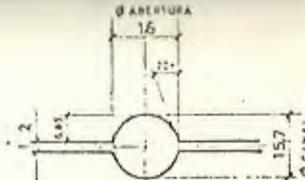
STD No 4 - DUO SUP.
A = 425 mm² - R = 19 %



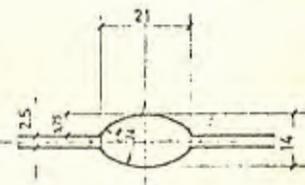
STD No 5 - DUO INF.
A = 339 mm² - R = 20 %



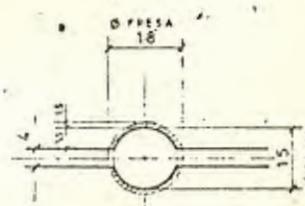
STD No 6 - DUO SUP.
A = 275 mm² - R = 19 %



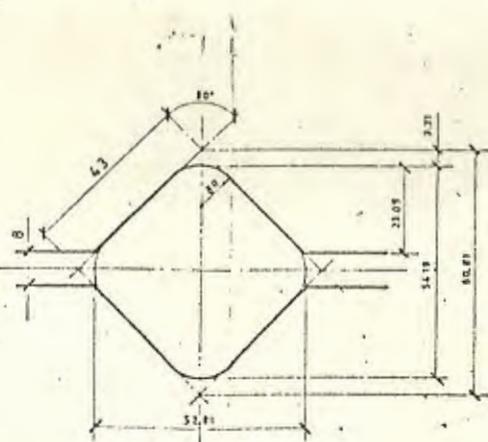
STD No 8 - DUO SUP.
A = 193 mm² - R = 15 %



STD No 7 - DUO SUP.
A = 231 mm² - R = 16 %



STD No 8 - DUO SUP.
A = 176 mm² - R = 24 %



5ª PASADA del DESPASTE
DISEÑO EC Area = 1805 mm²

PLANO Nº 2.- Disposición y geometría de canales para laminación de hierro corrugado de 16 mm. usada en una planta laminadora del país.