

2ej. 3

Universidad Nacional Autónoma de México
FACULTAD DE QUIMICA



LAMINACION DE MATERIALES
METALICOS

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A

CARLOS E. ARTEAGA TELLEZ

MEXICO, D. F.

1979

16314

TESIS DONADA POR
D. B. - UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

LAMINACION DE MATERIALES METALICOS

CARLOS ENRIQUE ARTEAGA TELLEZ

ING. QUIMICO METALURGICO

1979

I.- INTRODUCCION.

El objetivo del presente trabajo, es el de proporcionar una información bibliográfica acerca de uno de los procesos más importantes de la industria metalúrgica, el cual es el proceso de laminación.

Para una mejor comprensión del proceso de laminación, ha sido necesario partir de uno de los componentes que tienen una importancia vital para el desarrollo de tal proceso, en este caso nos referimos al rodillo o cilindro, donde es necesario hablar de sus características físicas que debe tener para desarrollar un buen trabajo de laminación, así también hablamos de una serie de componentes que coadyuvan en dicho proceso, tales como los trenes de laminación en sus diferentes tipos y las ventajas de trabajo que proporcionan, los hornos de precalentamiento, y algunos otros elementos auxiliares en la laminación, así mismo se tratará las técnicas para la elaboración de productos para la industria y de uso, tales como la manufactura de planos, perfiles especiales, barras redondas, cuadradas, hexagonales, acanaladas, y que tubos sin costura, entre otras cosas.

Cada uno de los temas ha sido desarrollado de acuerdo a una serie de información bibliográfica obtenida en diferentes artículos publicados de acuerdo a las experiencias obtenidas -- por cada autor, referido al final de este trabajo.

II.- MATERIAL Y MEDIDAS DE LOS RODILLOS.

Dentro del proceso de la laminación el rodillo tiene vital importancia ya que es el elemento que actúa directamente sobre el material dándole las formas y medidas adecuadas.

Debido a esto el rodillo a sido objeto de un sinnúmero de estudios y experimentos para optimizar sus características físicas (resistencia a la compresión, a la tensión, etc.) - y se ha llegado a ciertas conclusiones respecto al material con que debe ser fabricado y para cada uno de sus empleos las cuales exponemos a continuación:

A.) MATERIALES

1).- ACERO FORJADO es sin duda el material ideal para rodillos, no solamente por su alta resistencia, sino también por sus buenas características en lo que se refiere a la elasticidad de los mismos. Condición para fabricar buenos rodillos de acero forjado, es que el material será forjado hasta el núcleo con el fin de destruir el grano de la fundición, formándose en seguida un grano fino y elástico.

El tratamiento térmico post-forja debe ser el adecuado para compensar tensiones residuales y darles las características deseadas. El material que se usa comunmente contiene - - 0,35 1,00 % carbono y adicionalmente Cromo, Niquel y Molibdeno.

Los rodillos tienen una resistencia a la tracción hasta 90 Kg/mm² y una dureza hasta 66 RC. durante el uso para evitar fisuras, causadas por la dureza y el cambio de temperatura, es muy recomendable un enfriamiento intensivo con agua. De todas maneras la resistencia al desgaste de estos rodillos no es de lo mejor, los trenes de laminación para aceros de alta calidad trabajan muchas veces sin enfriamiento por agua para lograr mejor acabado del material. Con todas las medidas de precaución no es posible evitar las fisuras y es indispensable retornar los rodillos si las fisuras son grandes.

2).- ACERO FUNDIDO SIN FORJAR. Se usa ampliamente para rodillos de tamaño medio. Las características son similares al acero forjado, pero la elasticidad y la resistencia en caso de cargas subitas son menores, comparado con rodillos de acero forjado, su ventaja está en la economía, aunque puede ser sobrecompensada por la falta de calidad, también el enfriamiento mediante agua es esencial. La resistencia llega hasta 70 -- Kg/mm². Otra aplicación ventajosa es un tren preparador donde se trata de trabajo pesado y en donde los rodillos de fierro colado pueden romperse por falta de elasticidad del mismo fierro colado. Como el acero fundido caliente se pega fácilmente con el material que laminar es necesario observarlo y limpiarlo frecuentemente.

3).- FUNDICION SEMI-DURA. La fabricación de las mas se hacen en moldes de arena. Los rodillos hechos de este material muestran buena resistencia al desgaste, son satisfactorios en la elasticidad y agarran en forma satisfactoria el material caliente. Tiene amplio uso en trenes de desbaste y de billets, trenes preparadores y perfiles de grandes dimensiones si el alargamiento (reducción de altura) es relativamente bajo.

3).- FUNDICION GRIS. Material de buenas características de laminación si su uso se limita a rodillos de poco diámetro. El material es de buena resistencia al desgaste, pero se rompen más fácilmente que los de fundición semi-dura. Estos rodillos de fierro fundido no se pueden reparar mediante soldadura eléctrica con resultados satisfactorios.

5).- CHILL-IRON. Es fierro fundido vaciado en moldes de fierro, por el enfriamiento rápido se forma una capa dura cuyo espesor tiene un diámetro aproximado del 10 al 15% del diámetro total.

Rodillos con una dureza de 53-59 RC. su uso correcto es exclusivamente el último paso del laminado. Por su dureza se impide usar mucha presión y por consecuencia solamente poca reducción de altura. Además es importante evitar canales profundos porque existe el peligro de llegar a la zona intermedia

que es suave y no resisten desgaste. Al llegar a esta zona sucede que el acabado del producto no es el correcto ya que queda con cicatrices y disparejo en medidas.

6).- FUNDICION NODULAR. Características en lo que se refiere al desgaste y elasticidad. Muy apropiada para condiciones semi-duras si se requiere al mismo tiempo larga duración.

7).- INDEFINITE. Fundición de análisis variado, la dureza disminuye poco la superficie hacia el núcleo por lo cual es usado en rodillos con calibres profundos y preferentemente en rodillos de menor diámetro. Como todo tipo de fierro colado no se puede reparar con soldadura.

8).- RODILLOS CHAPEADOS. Una técnica moderna permite hacer rodillos con núcleo de material barato sobre el cual se pone (en caliente) un recubrimiento de acero especial. Esta técnica permite hacer rodillos de alta calidad y precisión. Usándose en los castillos de acabado para obtener máxima precisión, mejor acabado y larga duración.

B).- DIMENSIONES.

El diámetro de los rodillos depende del tipo y las medidas del material a laminar. El ángulo de entrada debe ser

de tal magnitud que garantice la fácil entrada del material, - además influye también el tipo de castillo y sus medidas. La-tendencia es usar siempre el mayor diámetro posible que permi-ta instalar el castillo.

Sirven como referencia los datos de la siguiente ta-bla.

TREN DE LINGOTES Y PLANCHONES:

Duos	:	800	-	1450	mm. de diámetro
Trios	:	600	-	950	mm. de diámetro

TRENES PESADOS PARA PERFILES GRANDES Y PRODUCTOS SEMI-TERMINA-DOS:

Duo Reversible	:	600	-	950	mm. de diámetro
Duo Continuo	:	350	-	750	mm. de diámetro
Trio	:	500	-	850	mm. de diámetro

TRENES UNIVERSALES:

Duo Reversible	:	600	-	900	mm. de diámetro
Trio Lauth	:	700	-	850	mm. (Rodillo arriba y abajo)
		500	-	750	mm. (rodillo central)

TRENES PARA TRABAJOS MEDIO PESADOS:

Trio	:	350	-	550	mm. de diámetro
Duo doble	:	350	-	420	mm. de diámetro
Trio preparador	:	650	-	650	mm. de diámetro

TRENES DE ALAMBRO:

230 - 450 mm. de diámetro

TRENES PARA PLANCHA, TRABAJO PESADO:

Duo reversible : 950 - 1250 mm. de diámetro

Cuarto reversible: 800 - 950 mm. (Rodillo de trabajo)

1250 - 1800 mm. (Rodillo apoyo).

TRENES PARA PLANCHA, TRABAJO SEMI-PESADO:

Duo Reversible : 850 - 1000

Trio : 650 - 800 mm. de diámetro

El contacto del rodillo con el material caliente causa un calentamiento superficial, mientras el núcleo del rodillo se mantiene frío. La magnitud de las tensiones causadas por la diferencia de calor superficial y temperatura del núcleo cumplen con:

$$Z = E \cdot r \cdot w \cdot at$$

r = Tensión por diferencia de calor,

W = Coeficiente expansión térmica,

at = Diferencia de temperatura °C exterior, interior,

E = Módulo de elasticidad en Kg/mm².

Estas tensiones por calor pueden causar fisuras en -

la superficie de los rodillos y corrosión por el agua que hace progresar la destrucción de la superficie del rodillo hacia el interior.

C).- TECNICA DE FABRICACION.

La técnica de fabricación de los rodillos es un factor muy importante para el rendimiento y la calidad de los rodillos que se usan para fines de laminación. Claro está que la técnica de fabricación tiene un margen de variación notablemente amplio, ya por el solo hecho de tratarse de materiales básicamente diferentes para los diferentes usos de los rodillos. Pero todos los rodillos sin importar que uso tengan o de que material estén hechos tienen un factor en común que es la vaciada en moldes y sobre este tema en particular se harán algunos comentarios, para todo rodillo de laminación la condición de mayor importancia es tener un material exento de defectos externo e internos (fisuras, fallas, segregaciones, etc.) que podrían debilitar la sección del rodillo causando por los mismos defectos rotura al ser expuesto a las fuerzas extraordinarias durante el trabajo. Esta condición de una fundición limpia y sin fallar externas e interiores rige tanto para material que se forja posteriormente, como también para rodillos hecho de fierro colado en sus diferentes tipos como son fierro colado gris, chill iron fundición nodular y otros.

La mayoría de los rodillos de laminación se funden en moldes de arena, también moldes de fierro, similar a las lingoteras para rodillos de menor tamaño, el éxito y la calidad de un rodillo de laminación depende no solamente de la composición química del material que se usa, aunque este factor es de gran importancia, sino comienza ya en el diseño de los moldes para vaciar. Para obtener un producto limpio de desperfectos se recomienda siempre usar la técnica del vaciado ascendente.

Un esquema de un molde para rodillos aparece en la figura (1) los más notables de esta son los siguientes puntos:

1.) En la parte superior del molde se ha previsto un tramo grande que se recortará posteriormente de casi el 29% de la altura total del molde, siendo este tramo naturalmente material que regresara nuevamente a la fundición, esta medida se toma para asegurar que el rechupe por contracción del material no llegue bajo ningún concepto hasta el cuerpo del Rodillo, además es importante que el cople del rodillo que transmitirá la fuerza motriz esté colocado en la parte inferior del mismo.

2.) Como se observa el vaciado (fundición) no se hace en forma directa sino valiéndose de un embudo, llenándose el molde en forma ascendente. La medida se toma para evitar las turbulencias del material líquido en el cuerpo del rodillo.

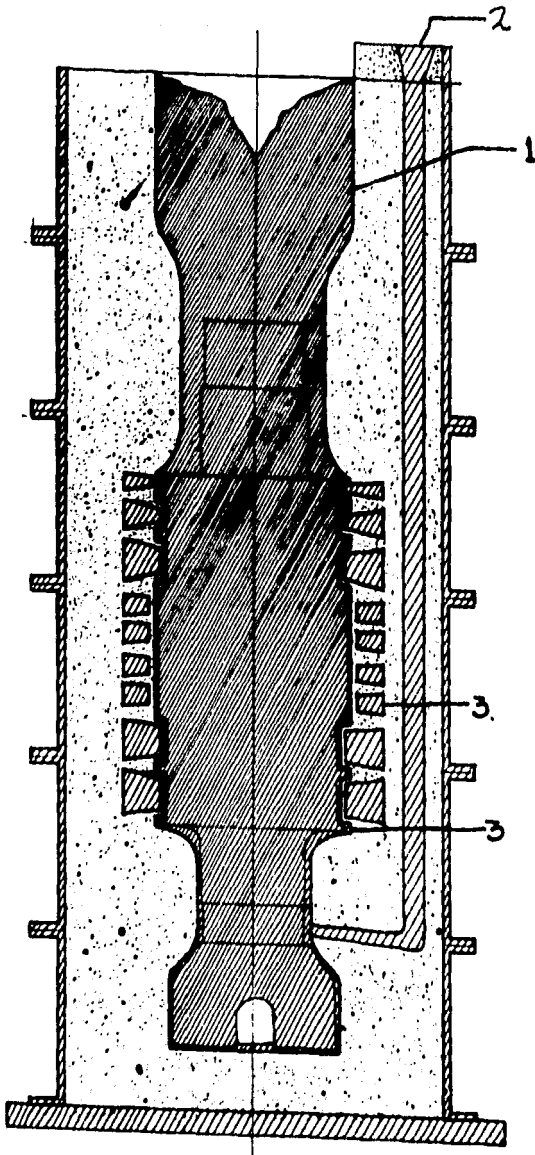


FIG. 1

Estas turbulencias causadas por la caída del acero líquido, -- son una de las razones principales de fallas interiores de un material, porque en la caída del material líquido llevan aire, escoria y otros cuerpos extraños que se incluyen muchas veces en el material al solidificarse. Una vaciada suave y uniforme es indispensable aun vaciando mediante el método de fundición-ascendente. La ubicación de la embocadura del embudo en el -- cuerpo del molde es otro punto que merece atención, porque al tener demasiada altura surgen las temibles turbulencias mien-- tras una colocación demasiada baja puede causar un tapón en el flujo del líquido, como referencia se usa que la entrada del - acero fundido a la pieza será más o menos en el centro del cuello del rodillo.

3.) El uso de injertos metálicos con el fin de tem-- plar localmente la superficie de los rodillos ofrece ventaja - en algunos casos y de preferencia si se pretende elaborar rodillos de Chill Iron. En este caso es muy importante dar al ro-- dillo en el proceso de fundición una forma que se acerca a las formas y medidas finales, debido a la circunstancia que el - - efecto de endurecimiento superficial, efecto buscado en Chill- Iron, es de una profundidad limitada y si el rodillo requiere-- mucha torneada para darle las medidas del acabado se pierde fácilmente la capa endurecida y con ella la ventaja del Chill- - Iron.

A continuación se dan a conocer los análisis de algunos aceros y fierros vaciados usados con éxito en la fabricación de rodillos de laminación.

ELEMENTO	ALEACION Nº 1.	ALEACION Nº 2.	ALEACION Nº 3.	ALEACION Nº 4.	ALEACION Nº 5.
Carbono	3.0-3.12	2.9-3.1	3.35	2.1-2.2	2.1-2.2
Manganeso	.23-.28	.23-.28	0.35	0.30	0.50
Silicio	.58/.62	.60/.62	0.13	0.50	0.50
Azufre	Max.07	0.07	0.06	0.09-.15	0.05
Fósforo	0.20	.15/.25	0.15	0.25	1.03
Molibdeno	0.25 max	0.20 max	0.20	0.20-0.25	-.-
Cromo	-.-	0.25/.35	1.1-1.2	1.00	1.05
Niquel	-.-	1.9-2.1	0.8-1.0	0.5-1.25	1.45

Las características de las aleaciones son en términos generales los siguientes:

Aleación Nº 1:

Fierro colado tipo Chill-Iron. Se espera una profundidad de aprox. 40 mm. de capa dura. Muy usual en reparación de rodillos fundidos.

Frecuentemente se presenta en la práctica el problema de la reparación de rodillos de laminación hechos en material -

fundido. El problema más común es revestir rodillos que han -
 sufrido un desgaste y con las múltiples rectificadas llegaron-
 a un diámetro que ya no permite usarlos. El material de estos-
 rodillos es fundición gris. Fundición blanca, también llamado
 "Chill-Iron" y en algunos casos "Fundición Nodular".

Chill Iron es un fierro colado blanco, generalmente-
 más rico en manganeso y más pobre en silicio que el fierro co-
 lado gris. La diferencia se debe a la circunstancia que el --
 manganeso favorece la formación cementítica^{!!!} fundiciones mien-
 tras que el silicio facilita la formación grafitica, causando-
 el último una tendencia hacia fierro colado gris.

Los rodillos de fundición blanca se elaboran en co--
 quilla de fierro y por el enfriamiento rápido son de una super-
 ficie dura y de un núcleo más suave y más elástico y esta ca-
 racterística los hace propios para ciertos usos en lamina--
 ción.

Fundición nodular es un fierro colado gris pero con-
 características físicas superiores. Su grafito no se precipi-
 ta en forma de hojas sino en forma esférica. El efecto se lo-
 gra mediante una desulfuración estricta aplicando al metal - -
 magnesio para este fin. El análisis químico de la fundición -
 nodular muestra menos de 0.12% de azufre y 0.05 -0.1% de magne-
 sio, junto con cantidades pequeñas hasta 0.5% de níquel.

REPARACION Y REVESTIMIENTO DERODILLOS

El problema de la reparación y del revestimiento de los rodillos fundidos no es nuevo y se han hecho menos intentos de obtener un éxito en este trabajo. Aplicando las más variadas marcas y tipos de electrodos de soldar. El método que en la mayoría de los intentos se ha aplicado es el siguiente:

Los rodillos se limpian superficialmente de grietas y fisuras que se eliminan en un torno. Sobre la superficie limpia y libre de fisuras se deposita una capa de soldadura. Usando -- uno o varios pasos, de un depósito a base de Níquel. Los tres tipos más usuales de soldadura tiene en su depósito el siguiente análisis: Níquel puro de más de 95%, siendo el resto de Carbono, Manganeso y otras impurezas. 2.) Ferro-Níquel con 40 % de Fierro y 60 % Níquel e impurezas de menor importancia. 3.) Depósitos a base de monel con 33% de Cobre y 67% de Níquel, -- también con impurezas ocasionales. Sobre el material base de los rodillos se deposita una capa de uno de los materiales mencionados con un grueso de 6-8 mm, dando al material antes de comenzar con la soldadura un precalentamiento de 100-300°C. El uso de soldadura a base de Níquel en si es justificado debido al hecho de que las aleaciones de Níquel no endurecen al mezclarse con el carbono del material de los rodillos además el Níquel y las aleaciones mencionadas ligan prácticamente con la

mayoría de los fierros vaciados. Como la soldadura de Níquel y de las aleaciones a base de Níquel no son muy resistentes al desgaste se deposita encima del "colchón" otra soldadura que da una dureza de 28 - 35 Rockwell C. en el caso de los rodillos como en muchos otros casos similares no se trata en realidad de un problema de la soldadura sino de un problema que tiene su origen en el comportamiento metalúrgico del propio material de los rodillos y, la soldadura es realmente de una importancia secundaria.

III.- LAMINACION DE BARRAS Y PERFILES.

1.) GENERALIDADES.

Teóricamente es posible fabricar cualquier producto con cualquier tipo de tren de laminación o molino, si la potencia disponible es lo suficientemente alta y el diámetro de los rodillos suficiente para agarrar el lingote. En la práctica no se aprovecha siempre esta posibilidad teórica y el equipo en su diseño se diferencia básicamente, comparando por un lado equipos para acero plano (lámina, plancha, etc.) y por otro lado lámina para material perfilado, incluyendo este último también varilla redonda, alambrón, material exagonal y todo tipo que no sea plano. Esta diferenciación se hace porque la técnica de laminación para material plano, (Cuando la relación entre la altura y el ancho pasa de cierto límite) no considera un ensanchamiento al ser laminado.

La laminación de barras y perfiles incluye una gran variedad de productos terminados de las más diversas formas y medidas.

Los productos de más importancia son los siguientes:

Perfiles de ángulo, Canal, T, I y Zeta

Varilla corrugada y alambrón

Rieles para ferrocarril y tranvías.

Barras cuadradas, hexagonales, redondas y rectangula

res.

Soleras y perfiles especiales.

Por conveniencia y práctica se ha establecido en el transcurso del tiempo efectuar la laminación de barras y perfiles en tres fases sin que necesariamente estas tres fases estén completamente separadas físicamente.

Las tres fases clásicas de laminación de barras y perfiles son:

- 1.) El desbaste.
- 2.) La preparación.
- 3.) El acabado.

Y conforme el trabajo que se ejecuta en cada uno de los trenes se habla del "tren de desbaste" "tren preparador" y "tren acabador", (Fig. 2).

Anteriormente los tres tipos de trenes eran separados no solamente en su denominación sino hasta en su colocación, pero por razones expuestas anteriormente, hoy en día, no siempre es posible decidir con exactitud donde termina un tren y donde comienza el otro.

2.) TRENES DE DESBASTE.

Los trenes de desbaste se usan para reducir las grandes dimensiones de los lingotes fundidos a medidas de 300 x -

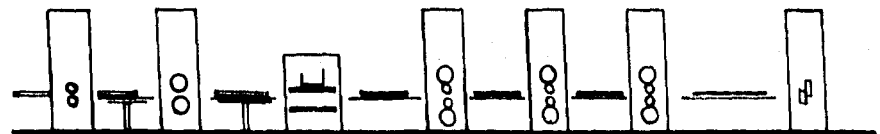
Placas

Desbastes



Hornos continuo

calentamiento 1250 °C



1º desbaste de anchar mesa giratoria laminador mesa giratoria bruto 2º desbaste 3º desbaste 4º desbaste Guillotina volante

desbaste enchado calibreado desbaste corte

FIG. 2

mm. ó más pequeño y al mismo tiempo romper el grano primario - con el fin de obtener una estructura del material que en los - pasos posteriores permite reducciones máximas.

TREN PESADO DE DESBASTE.

Es la forma más antigua de laminación y se compone - de un sólo molino duo, muchas veces duo reversible.

Material de salida: Lingotes de 5000 Kg. o más.

Producto semiterminado que fabricar: Bilet hasta 200 x 200 mm. que sirve de material de salida para tren preparador.

Rodillos 1000 hasta 1400 mm. diámetro normalmente, - hecho de acero forjado.

Los motores tienen un momento par hasta 450 ton. Un - tren reversible puede producir hasta 1,000.000 toneladas de -- productos semiterminados por año.

Para este tipo de trabajo se usan dos diferentes arre - glos para la unidad motriz: o sea usa un solo motor, acoplado - a una caja repartidor con engranes helicoidales para dar el mo - vimiento en sentido contrario y los rodillos o se usan dos mo - tores independientes, uno para cada rodillo (twin Drive). El - segundo arreglo ofrece muchas ventajas por la facilidad de sin - cronización de velocidad de circunferencia entre el rodillo de arriba y el de abajo, los duos reversibles se manejan en tal - forma que mediante un transportador se pone el lingote frente-

al canal que corresponde al paso y se empuja hacia el, hasta que los rodillos lo agarren. Después de cada segundo o cuarto paso se invierte el sentido de los motores y en el siguiente paso el lingote regresa al lado donde comenzó la operación. Después de cada segundo o cuarto paso se voltea el material A 90° para tra bajar todos los lados en forma adecuada.

Forma de canales, reducción de altura, secuencia de - volteo etc. Un ejemplo de una secuencia de calibración para -- desbaste de lingotes fundidos de 600 x 600 mm, usando el método americano es el siguiente, efectuado en duo reversible. (ver si guiente página).

PASO	CANAL #	ALTURA MM	ANCHURA MM	OBSERV.
0	t	600	600	
1	O	530	626	
2	O	460	652	VOLTEAR 90°
3	O	528	486	
4	O	512	512	
5	O	442	538	
6	O	372	564	VOLTEAR 90°
7	O	494	398	
8	O	424	424	
9	O	354	450	
10	O	284	476	VOLTEAR 90°
11	A	406	310	
12	A	336	310	
13	A	266	310	
14	A	196	310	VOLTEAR 90°
15	B	230	210	
16	B	150	210	VOLTEAR 90°
17	C	150	150	

NOTA: O: Significa Tablilla Plana.
A: Canal de 310 mm. ancho.
B: Canal de 210 mm. ancho.
C: Canal de 150 mm. ancho.

La altura se ajusta mediante una variación del rodillo superior que de acuerdo a la altura del material se mueve hacia arriba o hacia abajo.

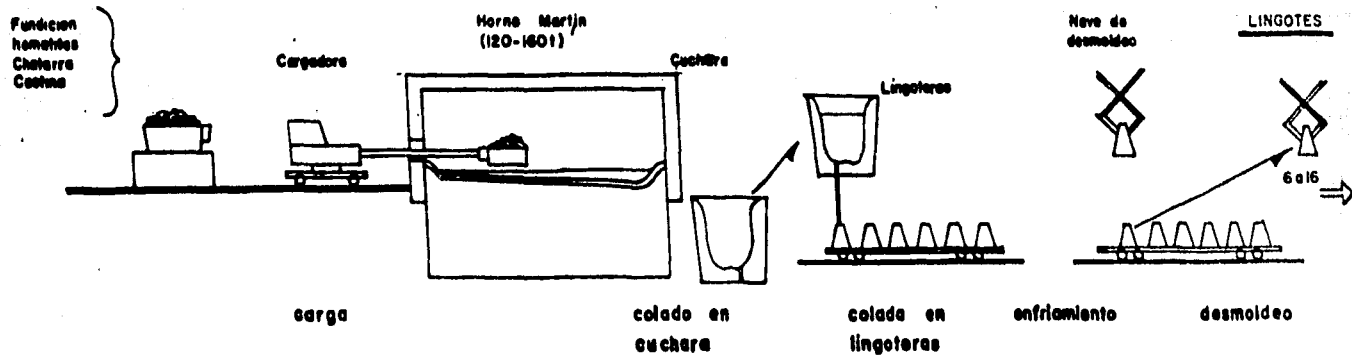
Una de las ventajas del método americano está en que se usan menos canales en un rodillo y así se hace el equipo -- más versátil.

El problema del método está en la metalurgia porque la libertad de ensanchamiento en los pasos del 1 al 10 existe el peligro de fisuras en las caras laterales. Precisamente -- aquí en donde se hace más notable la influencia del método de la elaboración del acero. Material elaborado en un proceso -- Siemens-Martin, (la gran mayoría del acero americano se fabrica con este método) no es tan delicado en cuestión de fisuras -- que los Aceros Thomas muy usual en Europa. Igual o similar al acero Siemens-Martin se consideran los aceros elaborados en el horno eléctrico de arco y los elaborados con lanza de oxígeno (LD), mientras el Acero Bessemer hoy de poco uso es similar -- al acero Thomas o posiblemente más delicado. Ultimamente (1967 renació el Acero Bessemer con una variación que usa en lugar -- del aire el oxígeno para refinaciones y este material probable -- mente tiene buen futuro).

TREN DESBASTE, TRABAJO MEDIANO.

Se usan para lingotes de 2 - 5 tons. produciendo bi-

Primeras materias



lets que sirven como materia prima en trenes preparadores y de acabado. Su producción es hasta de 200 Tns/hora, depende del número de pasos necesarios para lograr la medida con la cual - se puede entrar en el tren preparador. Casi exclusivamente se usan duos o duos reversibles con un momento par en los rodillos hasta 300 TM. el diámetro de los rodillos fluctua entre 800 - hasta 1000 mm. también el trabajo en trenes para trabajo media no requiere que el material se voltee después de máximo cuatro pasos, por razones metalúrgicas en este tipo de trén el motor-independiente para cada rodillo es poco usual y lo común es el uso de la caja repartidora con engranes heliocoidales.

TREN DE DESBASTE, TIPO LIGERO.-

En este trabajo se usa tanto el duo como el trio para laminado de lingotes de un peso hasta 2500 Kg. su rendimiento es de 20 hasta 100 Tons/hora y la potencia motriz alcanza hasta 175 TM. momento par, los rodillos de laminación que se usan son hasta 850 MM. de diámetro. El tren de desbaste para trabajo liviano, equipado con tres rodillos es muy usual para laminadoras de capacidad mediana. El molino trío tiene la ventaja que no se necesita motor reversible para cambiar el sentido de revolución, por el otro lado, existe la desventaja que los rodillos muchas veces son fijos y no se pueden adaptar en una -- forma tan fácil a las diferentes medidas de lingote, además de

e tomarse en cuenta que en un molino trio el rodillo del centro esta expuesto a doble desgaste que los demás rodillos exteriores.

TRENES CONTINUOS DE DESBASTE.-

Los trenes de desbaste mencionados hasta ahora son todos del tipo no continuo porque los pasos necesarios se efectuan en el mismo castillo, regresando el lingote después de cada paso, sin duda esta es la forma más común y versátil de trenes de desbaste, pero no es la única forma de trabajar los lingotes. Especialmente en los EE.UU. se desarrolló la técnica de trenes continuos de desbaste. Una de las plantas más famosas, no solamente por su arreglo sino también por la calibración, es la de Gary (indiana) que elabora productos semi-terminados y rieles de FF.CC. y cuyo trén de desbaste en la línea de producción de rieles aparece esquemáticamente en la gráfica a continuación: (Fig. 3).

El trén usa lingotes fundidos de 603 x 603 mm. y en cuatro pasos, equivalente a cuatro molinos, se obtiene ya el Bilet que después será convertido en riel. En este arreglo -- también es notable que después de cada paso se voltea la pieza en 90° y de esta manera se logra muy buena calidad del producto, además se permite una reducción rápida de altura. La velocidad del avance es relativamente lenta porque el primero y el

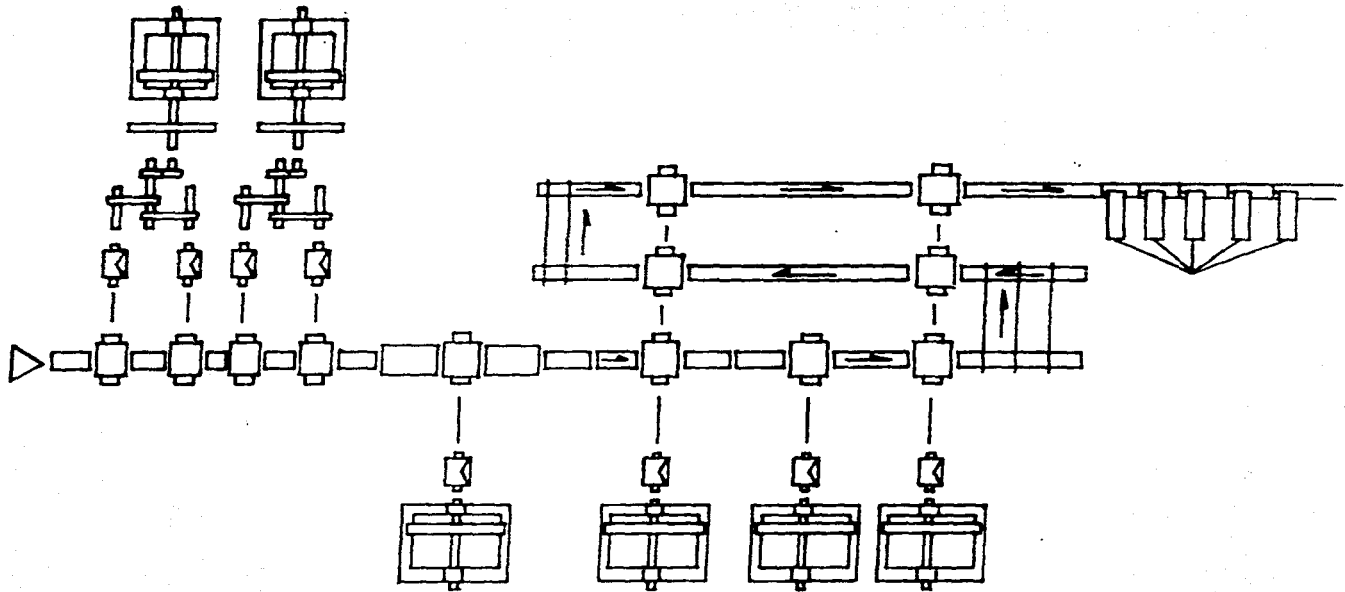


FIG. 3

segundo molino giran a $6 \frac{1}{3}$ RPM, mientras los dos últimos molinos (paso 3 y 4) giran a $10 \frac{1}{2}$ RMP. La velocidad de avance - de la circunferencia, al fondo del calibre, es de 12.3 M/Min. - en el molino 1, y de 26.3 metros/min. en el molino 4 que corresponde a un rendimiento de 3000 Kg. por minuto de trabajo efectivo de la máquina.

El ejemplo de la planta de Gary se menciona para demostrar que también en los trenes de desbaste no hay reglas rígidas sino la meta debe ser siempre adaptarse a las necesidades y a la producción que se pretende sacar. Bajo el mismo arreglo hay que ver los trenes no continuos y su programa de laminación que no solamente incluye material para barras y sus derivados - sino, principalmente en plantas de tamaño mediano, además una parte de material plano.

RODILLOS Y CALIBRACION DE TRENES DE DESBASTE.

Por el tamaño y el peso del lingote usado como materia prima en un tren de desbaste para perfiles, el trabajo en esta fase de laminación es uno de los más pesados, como se ha mencionado para el trabajo pesado deberá usarse los mejores materiales para los rodillos, siendo casi siempre acero fundido, - muchas veces forjado y bonificado. El rodillo de acero de dos capas no es recomendable para perfiles porque por la profundidad de los canales que siempre hay que hacer, debilitaría mucho

el espesor de la capa exterior que es la que resiste el desgase. Este tipo de material se usa principalmente en la elaboración de aceros planos. En algunos casos se usan también rodillos de fierro colado y de fundición nodular, pero se debe tomar en consideración que el material es más delicado y por su elasticidad reducida puede romperse fácilmente al ser expuesto a esfuerzos exagerados.

Para la calibración, que es la secuencia de pasos -- con sus respectivas medidas, usada en los trenes de desbaste -- para la elaboración de perfiles se conocen dos secuencias bajo el nombre de "calibración americana" y "calibración alemana". La diferencia entre una y otra forma de trabajar esta en el detalle de que la calibración americana efectúa la mayoría de -- los pasos para el desbaste en una tabla sin canales (tablilla plana) y solamente los últimos pasos, más o menos los últimos- 5 ó 6, se efectúan en canales. La calibración alemana efectúa los primeros pasos, 5 ó 6 aproximadamente en tablilla plana, -- mientras el resto hasta llegar a la medida deseada, se efectúa en canales.

La existencia de las dos calibraciones se debe por -- un lado que en los EE.UU. la gran parte del acero se elabora -- con el método Siemens-Martin, mientras en Europa se usa principalmente el proceso Thomas. El segundo punto de importancia es que en las laminadoras americanas que no se dedican exclusiva-

mente a un sólo tipo de perfiles, sino que muchas veces surten a varios trenes preparadores la demanda en material de forma rectangular es más elevado que en plantas europeas de un tipo-comparable.

Es importante hacer constar que una razón imperativa y obligatoria no existe y ambos métodos dan a fines de cuenta-el mismo resultado, si se toma en consideración la característica propia del material.

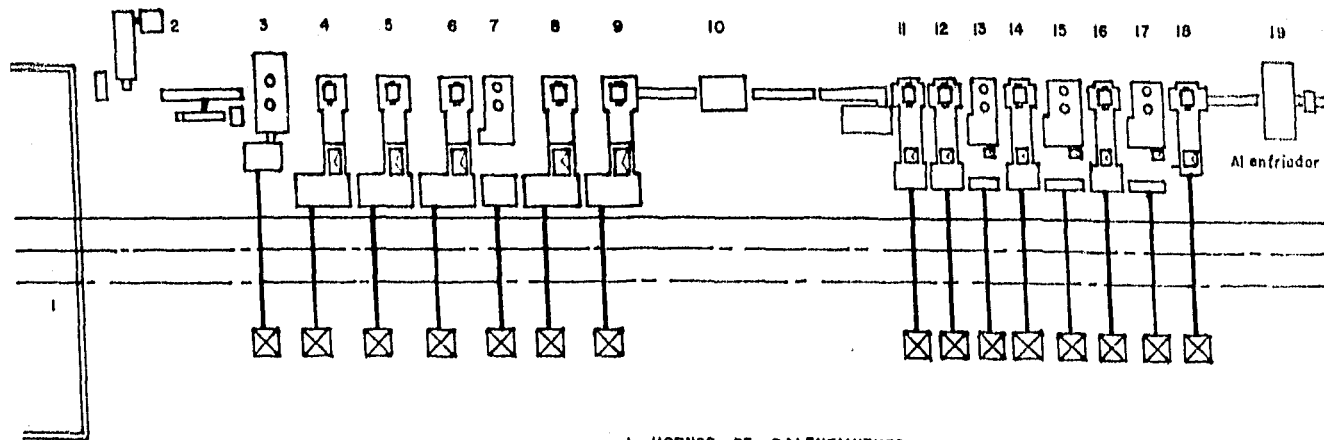
"TRENES PREPARADORES"

La elaboración de productos semi-terminados, o como se debería decir con más exactitud, la elaboración de material de salida para productos terminados, desempeña un papel importante dentro del ramo de la industria de laminación. El objetivo de esta fase de laminación es darle al material, que se recibe del tren de desbaste, forma y medidas que permiten elaborar el producto final en un mínimo de tiempo pero con exactitud de medidas, además otra finalidad de los trenes preparadores, nombre común para equipo que elabora material semi-terminado, es tener en su línea de calibración un número de diferentes medidas que permiten ser usados sin ningún cambio en la calibración para los diferentes productos terminados.

En esta parte de la laminación se distinguen diferentes formas del arreglo de las plantas de laminación los arre-

glos más usuales para trenes preparadores. Básicamente que se conocen son los trenes continuos y los trenes no continuos. -- Los primeros son de mucha ventaja si el programa es delimitado en la variedad de tipos y medidas, pero con una producción alta en toneladas en este tipo de planta se colocan todos los molinos en serie. La velocidad entre un molino y el siguiente se controla mediante motores de velocidad variable o variadores de velocidad. En plantas modernas se hace la sincronización de los molinos entre si con controles electrónicos, como no solamente en el desbaste sino en todo proceso de laminación es necesario voltear el material, se usan en trenes continuos molinos verticales (con los rodillos en posición vertical) o guías que dan al material entre un molino y el que sigue un -- volteo por 90°. El último método con guías requiere más experiencia y cuidado en el manejo del tren porque el volteo por 90° puede lastimar la superficie del material, debido a que -- las piezas en proceso se están laminando entre dos o más pares de rodillos al mismo tiempo y la distancia entre dos molinos -- es realmente reducido por no ocupar demasiado espacio.

Una distribución del equipo correspondiente a un -- tren continuo como se ve en la figura No. 4, en el proceso de laminación se alarga el material conforme se reduce de altura, para evitar una acumulación de material entre dos molinos se -- usa muchas veces una velocidad un poco más alta en el siguien-



- 1.- HORNOS DE CALENTAMIENTO
- 2.- CIZALLAS
- 3.-9.- CAJAS DEL TREN DESBASTADOR
- 10.- CIZALLA VOLANTE P/DESPUNTAIR
- 11-18.- CAJAS DEL TREN ACABADOR
- 19.- CIZALLA VOLANTE

DISPOSICION DEL EQUIPO DE UN LAMINADOR CONTINUO DE PERFILES DE 350.

FIG. 4

te molino para evitar la acumulación. La sobrevelocidad origina una fuerza de tracción en el molino anterior y por desplazamiento de la zona neutra se permite una reducción de altura mayor de lo que se logra con trenes no continuos en molinos del mismo tamaño. La sobrevelocidad entre los molinos varía del 1 al 3% de la velocidad teórica que se necesitaría para laminar en el mismo tiempo la cantidad del material despachado del molino anterior.

LOS TRENES NO CONTINUOS.

En trenes no continuos se usan varios arreglos en la colocación de los molinos y la característica común de todos estos trenes es que los molinos se colocan uno junto al otro en dirección axial.

Los arreglos pueden ser en un sólo eje o en varios ejes, dependiendo de la forma de colocación se denominan los diferentes trenes. Por ejemplo:

Trenes abiertos, se caracterizan por el hecho que todos los castillos, duos o tríos o combinación de los mismos, se encuentran en un eje, propulsado por un sólo motor. Este es el arreglo más antiguo de un tren de laminación. Llamado también "Tren Belga" la revolución es la misma en cada uno de los molinos y una diferencia en velocidad se logra únicamente mediante el uso de rodillos de diferentes diámetros. En --

trenes abiertos se usan tanto duos como tríos y hasta nueve -- castillos en serie.

Una variación del tren abierto es el tren tipo alemán que consiste en un tren abierto pero con los castillos divididos en dos grupos independientes con su motor por separado. También en estos trenes se usan castillos duo y trio, una innovación son los trenes con más de dos grupos de castillos y con sus respectivos motores.

El diseño de los arreglos diferentes se ha desarrollado a través del tiempo conforme a las necesidades de la industria.

TRENES DE ZIGZAG.

Mientras los trenes abiertos se desarrollaban en Europa en los EE.UU. se buscaba una solución con los trenes de zigzag. Desde de los castillos que se usen se habla de molinos "Crosscountry", al usar castillos trio y de molinos Staggered (Staggered Mill).

El uso de ambos tipos de laminadores es de gran ventaja en la producción de material de perfiles y barras porque en estos molinos sale el material completamente de un molino - antes de entrar en el siguiente y lógicamente la deformación - del material al voltearlo en 90° es menos.

TRENES COMBINADOS.

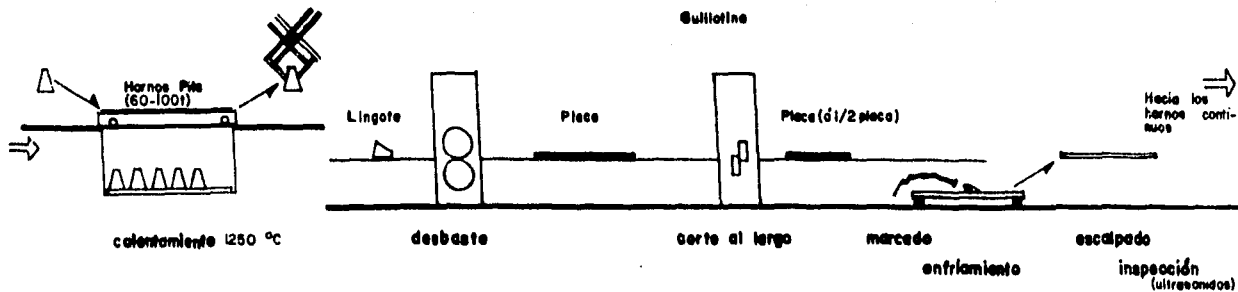
Ya en 1960 aproximadamente se hicieron varios arreglos de combinación de un tren continuo para el desbaste o para tren preparador acoplando después un tren abierto, no continuo. Los llamados trenes "semi-contínuos" son de mucho uso, especialmente en casos de producción variable o en plantas de tamaño mediana y hasta grande, donde se pretende obtener una buena producción con un costo de inversión más reducido.

INSTALACIONES Y ARREGLOS EFECTUADOS.

El primer ejemplo muestra un equipo Cross-Country para la elaboración de billets, partiendo de lingotes fundidos, desde luego es posible acoplar este arreglo también a una fundición con vaciado continuo. En el primer castillo se elabora con uno o varios pasos el billet grande de la forma como lo muestra la Fig. 5. Después, depende del producto final, se corta en dos, tres o más tramos y así entra en la segunda parte del tren. El número de tramos que cortar va de acuerdo con el largo disponible en las salidas de los últimos molinos. A este tipo de molinos se critica que al tener que recortar el lingote original en dos o más tramos resultaba que el último tramo del mismo lingote tendrá menos temperatura que el primero y por razones metalúrgicas serán diferentes las condiciones de laminación para el primer tramo comparándolo con el último,

Lingotes

Placas



F14.5

tanto en potencia requerida como en el aspecto metalográfico al variar la temperatura final. Desde luego esta crítica si es -- justificada, mientras se parte de lingotes individuales, pero -- al combinarse este molino con vaciado continuo y no habrá tal -- diferencia. Este tipo de laminación de biletts es el arreglo -- más común para una producción mediana y variada.

MOLINO CONTINUO DE BILETS.

Para alta producción se usan liminatoras de biletts -- del tipo continuo como aparece en la Fig. 5.

El arreglo compacto, y por consecuencia la poca dis-- tancia entre los castillos, no permite un volteo de los biletts-- y este detalle hace necesario agregar molinos verticales después de cada segundo paso. Como el arreglo fue diseñado para alta -- producción se han previsto canales de reserva en los diferentes rodillos y con un equipo hidráulico se permite desplazar late-- ralmente las guías, cambiando de esta manera los canales desgag-- tados inmediatamente sin tener tiempo muerto. Desde luego la -- variedad de medidas que se pueden elaborar con un molino conti-- nuo es grande y depende de la calibración de los diferentes cas-- tillos.

Muchas veces no se usa solamente un tipo de secuen-- cias, sino varias en el mismo tren con el fin de tener amplias-- posibilidades de elaborar el producto final deseado. Partiendo

de un lingote de 190 mm x 190 mm por ejemplo se elaboran hasta 130 diferentes tamaños de Bilets en Gary, Indiana, U.S.A. el tren en cuestión se compone de los grupos con 6 castillos cada uno. Los Bilets de sección cuadrada están marcados con sus -- respectivas medidas.

IV.- PRODUCCION DE ACERO PLANO.

En la elaboración de acero plano se usa como materia-prima un lingote fundido en lingoteras individuales o lingotes hechos con el método del vaciado contínuo. La diferencia básica entre lingotes para lámina (acero plano) y perfiles está en su medida mientras que en la composición química no exista necesariamente una diferencia, es más, para aceros planos se usa mayor variedad en los tipos de los aceros, que para material perfilado, esto se debe al hecho de que la mayor parte de la producción mundial de aceros se usa en forma de planchas, láminas y hojalata.

PROCESO DE TRABAJO.-

Aunque el proceso de trabajo para la elaboración de acero plano tiene muchos puntos comunes con el método de laminación de material perfilado, si existen diferencias notables entre un proceso y otro, debido al uso de ambos productos finales.

Igual a la laminación de perfiles el proceso de laminación de aceros planos comienza con el debaste, pero mientras para perfiles se pretende dar ya desde el principio al lingote un máximo de alargamiento, en la elaboración de acero plano la primera meta es obtener el ancho final o por lo menos un ancho aproximado a la medida final. Esta tendencia se refleja también en las medidas de los lingotes; su ancho es dos y medio veces -

o más la medida de la altura y esta forma especial del lingote se llama "Slab". El peso de estos Slabs es en algunos mayor que el de los lingotes más pesados para material perfilado y alcanza hasta más de 40,000 kg. De acuerdo al peso y medidas del material también el equipo es más pesado. Principalmente en plantas que se dedican a la elaboración exclusiva de acero plano, el proceso de trabajo para laminar acero plano se desarrolla -- por lo regular en la siguiente secuencia sin que este represente la forma obligatoria: el slab se lamina en el primer paso en dirección longitudinal para romper la escoria que se a formado en el horno de calentamiento y también para emparejar la conicidad de los slabs, para facilitar el agarre por los rodillos los slabs cónicos entran por su parte angosta al molino, dependiendo de la conicidad puede hacerse en dos pasos hasta que desaparezca completamente la conicidad. Cuando el slab tiene un espesor constante es indispensable voltearlo en 90° y ponerlo de -- canto, con la finalidad de romper la escoria en los lados (cantos), emparejar la conicidad y forzar la refinación del grano -- también en los cantos. No observar esta regla tendrá como consecuencia el que se agrieten las partes laterales de la futura -- plancha. Estos defectos que se deben recortar posteriormente, -- pueden ser hasta el 45% del peso original de Slab.

Una vez sin escama y sin conicidad se da el ancho deseado o por lo menos una medida aproximada al ancho final, para

lograrlo se hace pasar el slab en posición transversal por el molino, que quiere decir que el largo se convierte en ancho, -- mientras el ancho original en esta fase de laminación es el lar go del Slab. Desde luego es indispensable calcular bien el lar go de los Slabs para no sobrepasar los límites en anchura que - marca el equipo. Después de varios pasos, normalmente de 2 a 4, se voltea otra vez en posición longitudinal y se reduce el espe sor del Slab a la medida deseada.

Por razones de calidad y para controlar un exceso de- merma en los cantos de la plancha es necesario darle uno o va- rios pasos al Slab en posición vertical o de canto, mientras se da el ancho deseado. Para poderlo hacer, los molinos de lamina- ción para aceros planos permiten abrir los rodillos hasta 2,500 mm. efectuándose el movimiento de los mismos rodillos a razón - de 300 mm por segundo.

MOLINOS PARA ACERO PLANO.-

Planchas de acero se laminaron anteriormente en moli- nos duos reversibles o bien en molinos trio. Estos trios se -- usan con el fin de ahorrar el equipo de inversión del sentido - de revolución de los motores. El cambio en la estructura de la- industria moderna, que cada día exige más producción a un costo más bajo y de mejor calidad, se refleja en el cambio del equipo- preferido para la elaboración de aceros planos. Con el fin de -

obtener productos en grandes cantidades y con tolerancias reducidas en medidas y al mismo tiempo con una superficie de un acabado de buena calidad, se introdujo desde hace más o menos 15 -- años el molino cuarto reversible como el equipo normal para la elaboración en caliente de aceros planos. La principal ventaja del molino cuarto esta en el hecho de que dos rodillos sirven -- de rodillos de trabajo, mientras otros dos, más grandes de sus diámetros, sirven de apoyo los rodillos de trabajo. Esta tendencia aparentemente está en contra de lo que se mencionará más adelante referente a los trenes de alto rendimiento (High Life) -- equipo que se compone de duos reversibles exclusivamente. Pero esta contradicción es de apariencia solamente porque los trenes de High Life no son molinos para aceros planos sino un equipo -- que produce planchones que sirven de material de salida en la -- elaboración de aceros planos de diferentes dimensiones y se considera como un equipo en la producción de planchas de acero. -- Desde luego si es posible usar los trenes High Life en la producción de acero plano y siempre y cuando se trate de material de gran espesor.

En cuanto a la técnica de elaboración de acero plano en medidas comerciales, que fluctuan entre los 250 mm. hasta -- 3 mm. de espesor y hasta 3000 mm. de ancho, se distinguen dos -- clases de productos: por un lado el material delgado con un máximo de 5.5 mm. que se fábrica en rollos grandes y por el otro

lado la plancha de acero con grueso desde 5.5 mm hasta 2500 mm. laminado en piezas individuales hasta 25 metros y más de largo, depende del peso del Slab que se uso básicamente se aplican dos métodos para dar las medidas finales a las planchas.

a) Se usan Slabs prelamados, proporcionados por los trenes High Life. Esta técnica hace uso de un segundo calentamiento después de haber salido del tren de Slabs High Life.

b) Se usan Slabs fundidos y el mismo calor de la fundición sirve para laminar o si antes de laminar se deja enfriar y posteriormente se lleva a cabo un recalentamiento, que se --- aprovecha para el desbaste y terminado del producto. La diferencia principal está en el uso de Slabs prelamados y Slabs fundidos como material de salida.

Una decisión de cual será el método más adecuado solamente se puede tomar si se consideran los diversos factores, como son la producción deseada, el equipo existente, la calidad y el tipo del material que se pretenden fabricar y otros más, los cuales cambian en cada uno de los casos específicamente.

Un índice de orientación es el peso de los Slabs que sirven de material de salida: para Slabs hasta 20 toneladas de peso puede ser conveniente usar uno de los dos métodos, y para Slabs con un peso arriba de las 20 toneladas (hasta 45 tons. máximo) es más recomendable la aplicación del método de partir de un material fundido, aprovechando el calor restante de la fundi

ción.

La limitación del método por el peso de los Slabs no es tanto cuestión de la técnica o del equipo sino en primer término es un problema de orden económico, por que Slabs de un peso por ejemplo 30 toneladas requieren mucho tiempo y mucha --- energía para ser recalentados después de haberse enfriado, y la instalación de los hornos adecuados sería tan costosa que se pondría en peligro toda la economía del proceso. Muchas plantas trabajan en ambos métodos, incluyendo tanto la laminación en el tren de acabado partiendo de Slabs fundidos, como la técnica a partir de Slabs que se obtienen de un molino de desbaste High Life y similares. También en este aspecto se refleja la gran flexibilidad de la técnica de laminación.

TRENES DE DESBASTE PARA SLABS.

En la elaboración de Slabs prelamados, se usan en plantas modernas duos reversibles, llamados trenes High Life.- Estos equipos en su diseño más avanzado están calculados para producciones hasta de seis millones de toneladas de Slabs por año. El material del cual se parte es el lingote o bloque fundido con un peso hasta máximo 45 toneladas.

Como unidad motriz se instala exclusivamente el Twin Drive, consistente este en un motor independiente para cada rodillo, convencionalmente esta equipado solamente con un par de

rodillos en posición horizontal. Los primeros pasos se efectúan con el Slab en posición del canto con el objeto de trabajar primeramente los lados. Después el Slab se pone en posición hori--zontal, dando ancho y grueso deseado.

Un plan de trabajo para un tren de Slabs tipo convencional se puede apreciar en la tabla No. 9. Es difícil el manejo de los Slabs en posición de canto y causa una pérdida de --- tiempo por la necesidad de dar al material cierto número de pa--sos, para obtener cantos de buena calidad sin obtener práctica--mente reducción de altura. Hace ya algún tiempo la construcción de los llamados "Trenes Universales" para Slabs que están equi--pados además de los rodillos horizontales con un par, y en algu--nos casos con dos pares de rodillos verticales. De esta manera--se logra en el mismo paso no solamente trabajar los cantos, si--no también se da en el mismo paso una reducción de altura (Fig. 10), la consecuencia es, que estos trenes universales son mucho más rápidos comparados con el tiempo necesario para elaborar el Slab prelamado de las mismas medidas y partiendo del mismo ta--maño del Slab fundido. Pese a la posibilidad de poner mediante--los rodillos verticales trabajar ya desde un principio los cua--tro lados de un Slab al mismo tiempo no se usa esta técnica gene--ralmente, por que al hacer los primeros pasos en posición de .-canto se logra una deformación más fuerte y como consecuencia - una afinación del grano.

PERFIL ACABADO	20#	25#	30#	42#	50#	60#	20#	25#	30#	40#	55#	30#E	30#D	40#B	55#B	80#B	100#B
Sección inicial	100#	.	.	130#	.	.	100#	.	130#	.	.	100#	.	.	.	.	130#
Peso de los patenquillas	840	.	.	1580	.	.	840	.	1580	.	.	840	.	.	.	.	1580

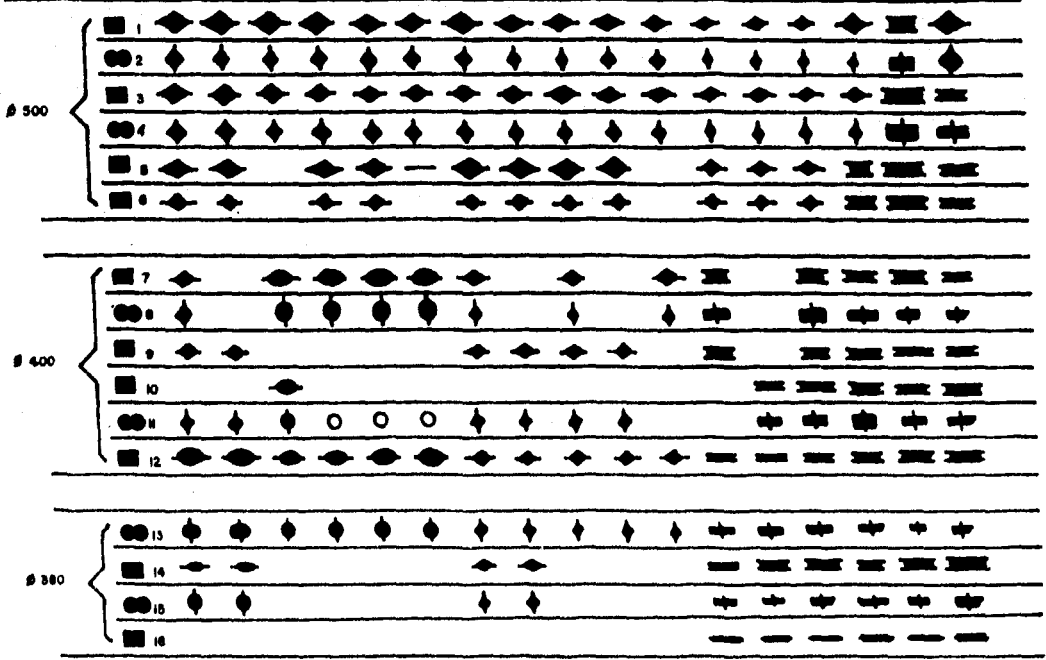


Fig. 9

MERMAS Y CHATARRA.-

Uno de los factores de mucha importancia es la merma que aparece en el proceso de laminación, esta merma se compone de ambos extremos de una plancha que están fuera de medidas y de los recortes laterales que hay que hacer para lograr las medidas deseadas la cantidad de merma depende mucho de la planeación, del equipo y del material inicial que se vaya a usar. Para hacer más clara la influencia del material de salida y del equipo, utilizaremos una tabla donde el porcentaje de merma en relación con el ancho del material, del equipo que se usa, y también en relación con el tipo de material de salida que se usa para elaborar el producto final.

% DE MERMA EN LAMINACIONUSANDO SLABS FUNDIDOSUSANDO SLABS LAMINADOS

ANCHO/ACABADO	DUO	TRIO	CUARTO	UNIVERSAL	DUO	TRIO	CUARTO
1000	34	34	30	28	24	24	18
2000	36	36	32	30	26	26	20
3000	28	--	34	32	28	--	22
4000	40	--	36	34	30	--	24

Basándose en las mermas según la tabla anterior debe-

fijarse el peso del Slab que se va a laminar. El peso total del Slab debe ser el de la plancha terminada más las pérdidas conforme al proceso y equipo como aparece en la tabla. Desde luego estos porcentajes son únicamente datos de referencia que pueden variar de acuerdo con la práctica y se pueden reducir, principalmente si se hacen consideraciones a la calidad y la exactitud del producto terminado.

Uno de los factores que influye mucho en el control de mermas es la deflexión de los rodillos a causa de la presión del material contra los mismos y una medida para contrarrestar esta deflexión, que se refleja en el producto en una medida más gruesa en el centro de la plancha que en sus orillas es el mencionado uso del molino cuarto. Además se usan rodillos cuyo diámetro en el centro es un poco más que en los lados. Esta medida se aplica principalmente en molinos que están destinados al acabado y cuya plantilla es de 2500 mm o más. Los rodillos se rectifican de tal manera que el centro del rodillo entre 0.1 y 0.2 mm más de diámetro en sus respectivos lados. Naturalmente esta medida solamente rinde frutos si se encuentran las chumaceras en un estado perfecto por que una desigualdad de los mismos puede hacer inefectivo el centro del aumentado diámetro. También es necesario mencionar que esta sobremedida se conserva solamente durante un tiempo limitado conforme con el desgaste de los rodillos. En cálculos se considera que después de 72 horas de -

trabajo el rodillo requiere una nueva rectificadora para obtener otra vez la medida correcta.

PLAN DE TRABAJO Y CALCULO.

Un plan de trabajo para laminar aceros planos se distingue básicamente de un plan de trabajo para trenes que elaborar perfiles o biletas, porque en la producción de acero plano se usan exclusivamente rodillos lisos y las formas complicadas de canales y todo lo relacionado con calibración, que tanto problema causa en perfiles, no se necesita en este proceso. Un plan de trabajo para un molino de acero plano se limita a mencionar la apertura de los rodillos y la posición en la cual entra el Slab en el molino y que puede ser longitudinal plano, longitudinal de canto y transversal plano. De todas maneras el trabajo en estos trenes no es sencillo, principalmente por la alta velocidad, los trenes modernos para desbaste de Slabs rinden hasta 6,000.000 toneladas por año y un error en la elaboración o en el cálculo del plan de trabajo puede tener consecuencias de consideración.

Las reglas básicas y la secuencia normal, que desde luego si permite variaciones, es el siguiente en lo que se refiere a los cálculos que hacer.

1).- Los primeros pasos, aproximadamente hasta el 5º o 6º paso, se limitan por el ángulo de entrada que permite un agarre seguro del material de los rodillos. Naturalmente se de-

ben considerar también las características del material, que al ser delicado posiblemente no permita la reducción máxima de altura que se podría lograr con el equipo disponible, caso común en la laminación de aceros efervescentes y semi-muertos.

2).- La segunda fase del plan de trabajo esta limitado por el de par disponible en los rodillos, característica propia del equipo y se puede calcular a partir de la definición de momento par que es la siguiente:

Cuando dos fuerzas paralelas dirigidas en sentidos -- contrarios y del mismo módulo se aplican a un cuerpo de manera que no coincida sus rectas de acción no pueden componerse para dar una sola fuerza resultante.

Sucede muchas veces que la reducción de altura es menor de lo que permite el ángulo de entrada y esto se debe a que con el aumento de ancho y el enfriamiento del material aumenta la presión del sistema, limitando a la vez la reducción de altura por la fuerza motriz disponible; aparte del cálculo es indispensable verificar en la práctica que el límite permisible -- no se sobrepase, esto no es con el fin de evitar sobrecarga --- constante de los motores.

V.- LAMINACION DE ALAMBRON.

Alambrón es material redondo de 5.5. Hasta 15 mm y en algunos casos hasta 25 mm de diámetro, en rollos. El alambrón se usa para la elaboración de alambre, estirándolo en frío, y muchos productos se fabrican a base de alambre como son tornillos, clavos, grapas y una infinidad de productos más. Además se usa alambrón laminado en caliente en la construcción de concreto para amarrar los castillos hechos de varilla corrugada.

La laminación de alambrón es uno de los procesos más problemáticos en la laminación en caliente por las siguientes razones:

1).- Por tratarse de un producto semi-terminado, destinado a la fabricación de artículos de gran consumo y poco valor comercial su precio en el mercado es reducido.

2).- Por el bajo peso por metro se necesitan altas velocidades en la elaboración, con el fin de no tener que recargar gastos elevados en amortización y mano de obra.

3).- El costo para la instalación de equipo es alto, porque por lo delgado del alambrón se necesitan muchos pasos para reducirlos a la medida. Partiendo de un bilet por ejemplo de 80 x 80 mm. Se necesitan 24 - 25 pasos para obtener alambrón de 5.5 mm.

4).- Por lo delgado, el alambre se enfría rápidamente

y solo con alta velocidad de trabajo se logra una temperatura - aceptable en el último paso, pero el material liviano requiere - por falta de peso y falta de rigidez un cuidado extra al ser -- conducido de un molino al otro.

Las características propias del alambón causaron un - desarrollo muy especial en el diseño de las plantas laminadoras. Anteriormente se usaron trenes continuos para el preparado y el tren abierto en los últimos 8 a 11 pasos. Por razones técnicas - fue necesario hacer el cambio de un molino al otro manualmente - (Tenacero) y así se limitó la velocidad a 9 - 10 m. seg. Una -- elevada demanda y el aumento del costo de mano de obra causó - que en lugar de usar un sólo hilo se laminaron hasta 8 hilos de alambre al mismo tiempo y en el mismo molino. Lo más usual son - 4 hilos paralelos.

Con este método se alcanzan hasta 300 Ton/Turno, pero está productividad no da abasto a las necesidades. El avance de la técnica permite hoy en día construir plantas, las cuales pue den laminar alambón con una velocidad hasta 40 M/Seg. En el úl timo paso. Desde luego estas plantas son completamente conti--- nuas y automáticas.

En EE.UU. se desarrollaron plantas con alto rendimien to dando menos importancia a la exactitud de las medidas, mien tras en europa el punto primordial fueron tolerancias reducidas a costo del rendimiento máximo. La particularidad en la elabora

ción del alambión incluye el problema, causando por la calibración, dar al material un volteo por 90° entre un paso y el siguiente con un equipo de guías de Torsión.

Este volteo es necesario porque las secuencias en calibración son rombo - cuadrado - rombo y ovalo - cuadrado - ovalo bien ovalo-rombo - ovalo y al entrar un material ovalado en el cuadrado siguiente se le debe dar un volteo por 90° . En forma general y sin medidas se aprecian las secuencias más usuales en la Fig. No. 6.

En Europa se logro el volteo por 90° no mediante guías que causan una torsión al material, sino se usan de preferencia trenes con molinos verticales y horizontales.

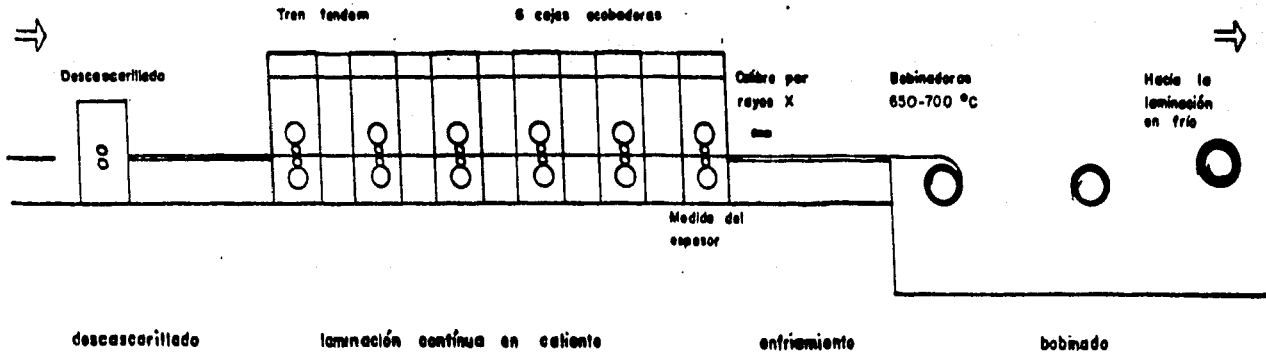
Otro problema que se presenta es que en el proceso de laminación se alarga el material y los últimos molinos deben de tener una velocidad más elevada que los molinos al principio del tren. Con motores y variadores individuales, con la técnica moderna de sincronización ya no es tan problemático, pero hay que ver un punto importante: una sincronización perfecta entre dos molinos es difícil en la práctica por variaciones del material se usan dos métodos de trabajo: en EE.UU. Se da al molino siguiente un poco más de velocidad de lo que realmente se necesita (Max. 1 - 2 %) causando una ligera tracción, mientras que en los trenes europeos no se permite por lo menos en los últimos pasos, trabajar con varios hilos en el mismo molino, sino se necesita para cada hilo un tren acabador por separado. Con

120x8		120x30		40x4		□ 40		L 40		Características de los motores		Características de las cajas							
				100□		100□		100□											
				940		940		940		N (KW)		Margen de Transmisión		Velocidad de los ejes en r.p.m.		β de los ejes		Longitud de fud de table	
					800	150-400-1000	14,86	18,87	728-187-4878	500	900								
					800	150-400-1000	14,86	18,88	828-214-53,88	500	900								
					800	150-400-1000	14,86	18,88	10-28,68-66,8	500	900								
					800	150-400-1000	14,86	14,83	13,2-35,3-68,24	500	900								
					800	150-400-1000	14,86	17,08	21,25-66,6-141,73	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	15,44	27,6-73,8-183,90	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	14,81	32,6-86,7-219,86	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	13,83	41,3-103-275,86	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	13,59	41,9-111,4-278,48	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	13,33	45-120-300	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	12,89	51,9-136,2-346,02	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	12,48	61,6-164,2-410,95	400	850								
					800	150-400-1000	14,86	11,83	82-203,5-545,8	380	650								
					800	150-400-1000	14,86	11,68	89,9-238-594,91	380	650								
					800	150-400-1000	14,86	11,38	106,5-288,5-725,68	380	650								
					800	150-400-1000	14,86	11,37	109-290,5-728,02	380	650								

Fig. 6

Desbastes

Rollos



el método americano no se permite el uso de pasos porque el volteo a 90° sería más problemático todavía, pero si se permiten varios hilos en el mismo castillo. Para obtener buenas características del alambón es necesario observar que la temperatura en el último paso este arriba del punto Ac_3 y también controlar la rapidez del enfriamiento. Este control del enfriamiento es necesario para reducir la cantidad de escama, que sin control alcanza hasta 2% mientras con control baja hasta 0.3% y para obtener una micro-estructura del material uniforme. El problema del enfriamiento es más notable en rollos de pesos elevados, -- porque en el equipo de embobinados se forma un rollo que en el núcleo se enfría más lentamente que en las caras exteriores y con esta diferencia del enfriamiento varían los datos físicos considerablemente. Para esto se diseñaron camas de enfriamiento controlado, no solamente para aceros de calidad sino también para alambón común.

Un enfriamiento no adecuado causa problemas en la elongación de alambre al estirarlo en frío.

EJEMPLO DE UNA PLANTA INSTALADA.

Con el fin de dar una idea de como se ve la instalación de un equipo completo de laminación con un programa vasto de productos de tamaño pequeño y mediano se presentan los datos más importantes de una instalación realizada en el año 1967 en Italia.

Material 100 x 100 mm y de 130 x 130 mm de sección, -
 cada medida de un largo de 12 metros. El volumen total de la --
 planta fluctua entre 87 y 120 tons. Por hora y la capacidad ---
 anual ha sido calculada por 400,000 Tons.

EL PROGRAMA ESPECIFICO PARA ESTE TREN ES EL SIGUIENTE:

Material redondo de	20	a 60 mm 0
Material cuadrado de	19	a 55 mm 0
Material solera de	30 hasta	30 de grueso
Angulo de 40 x 40 x 4 mm hasta	60 x 60 x 6 mm	
Pérfil T de 40 hasta	60 mm.	
Pérfil canal (u) de	40 a 65 mm.	

(Datos proporcionados en la revista DEMAG No. 183).

En la Fig. No. 7 aparece la disposición del equipo cu
 yas dimensiones se pueden imaginar si se sabe que la nave marca-
 da con "C" tiene una longitud de 635 metros. Las instalaciones-
 más importantes son las siguientes:

- 2).- Equipo de inspección de las palanquillas
 - 3).- Horno de calentamiento (F) con su equipo carga--
 dor (E) y su equipo para sacar los billets calientes (G. Y B.)
 - 4).- Tren de desbaste de 6 castillos (F).
 - 5).- Tren preparador de 6 castillos (G).
 - 6).- Tren de acabado de 4 castillos (R).
- Además la línea esta equipada con tijeras (N Y P), --

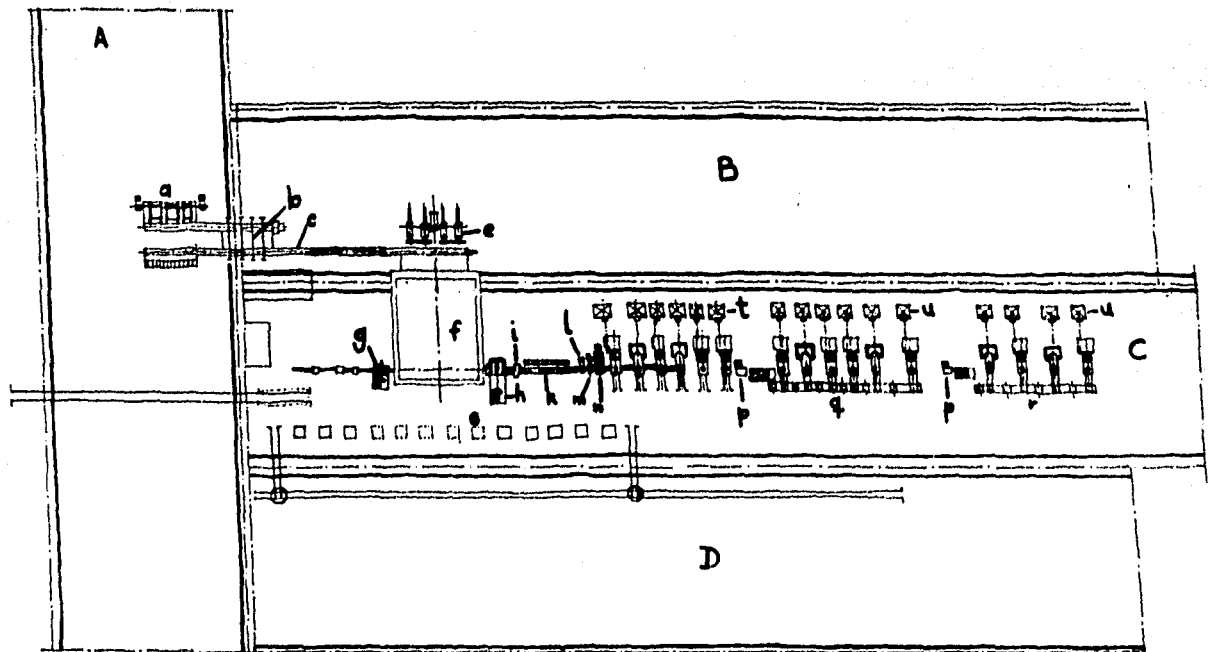


Fig. 7

PLANTA INSTALADA.

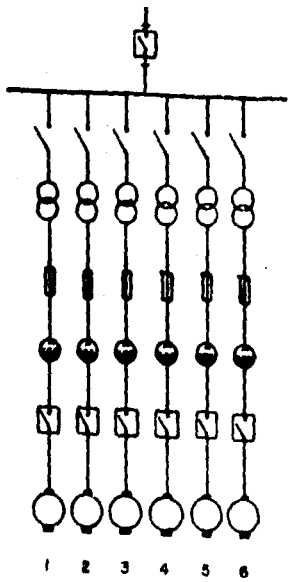
equipo para quitar escama (I) y los medios de transporte necesario. En la (Figura 8) se aprecian los pasos, su forma, su posición y los datos más sobresalientes de los motores, transmisiones y datos de los rodillos. Como se ve en la primera columna - los castillos Nos. 2, 4, 8, 11, 13, 15 son verticales, mientras el resto son castillos horizontales.

Con esta disposición se evita el problema de torceduras por giro a 90° que en caso de usar aceros delicados ha causado problemas en algunas ocasiones. Entre el castillo No. 5 y 6 se encuentra, además un equipo de guías para dar vuelta al material en 90° y que según el plan de trabajo son usados en los programas.

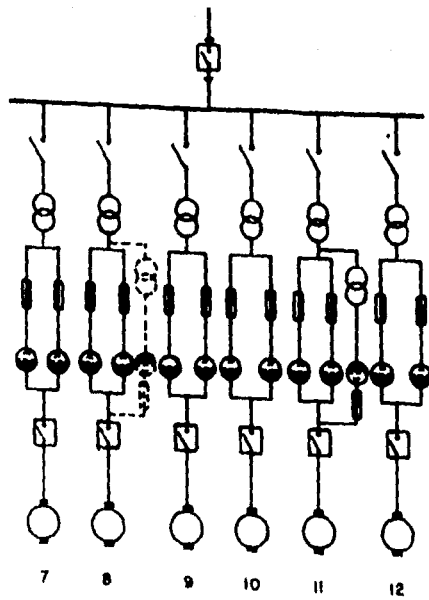
La solución esta en la velocidad del laminado que es mucho más bajo, en los primeros pasos, en la misma figura No. 7.

Se puede apreciar el esquema de la instalación eléctrica de los motores de corriente continua.

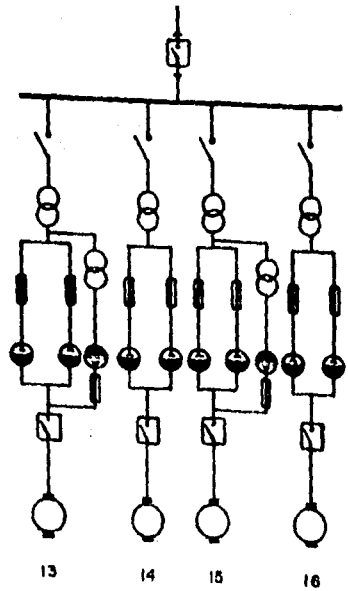
Para frenar rápidamente el tren se usa en los castillos Nos. 11, 13 y 15 un sistema de corriente con polaridad invertida (contra-corrientes), dispositivo que se puede instalar también en el castillo No. 8 (Líneas Punteadas)



6 x 600 KW



6 x 800 KW



6 x 800 KW

Fig. 8

VI.- TUBOS SIN COSTURA:

A fines del siglo pasado los hermanos Mannesmann desarrollaron una nueva técnica para la fabricación de tubos, aprovechando para esto el método de laminación en caliente. Poco -- después H. Ehrhardt inventó otro proceso para la fabricación de tubos sin costura por el mismo método de laminación en caliente. Otras personas desarrollaron un gran número de métodos todos -- ellos diferentes en muchos de sus aspectos y de los cuales hoy-- todavía están en uso.

EL METODO MANNESMANN.-

El descubrimiento de la técnica de laminación por los hermanos Mannesmann vino a dar un gran auge en las innovaciones de las técnicas utilizadas en la fabricación de tubos. Las laminadoras Mannesmann consisten en un par de rodillos cónicos que giran en el mismo sentido y además están inclinados uno contra-otro en tal forma que los ejes de los rodillos forman un ángulo de 3 a 6 grados y en uno de los casos excepcionales hasta 12 -- grados. Además el equipo esta provisto con un punzón que tiene la tarea de reforzar el efecto de los rodillos y al mismo tiempo emparejar la cara interior vea Fig. 11.

Con los rodillos que giran en el mismo sentido se da un movimiento giratorio al material, mientras la inclinación -- de los ejes de los rodillos causa el movimiento hacia adelante-

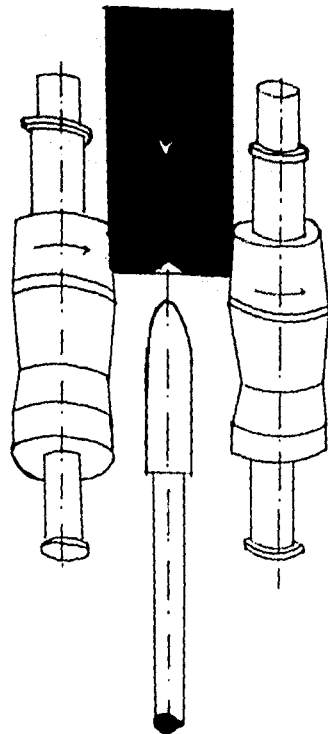
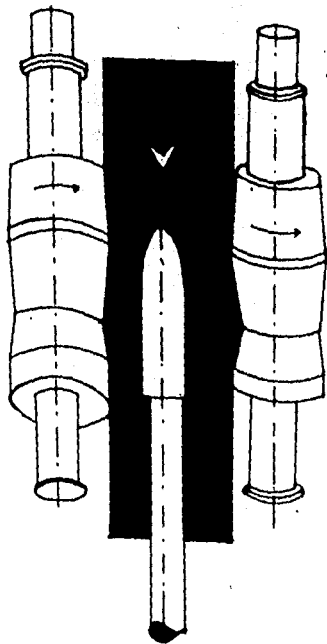
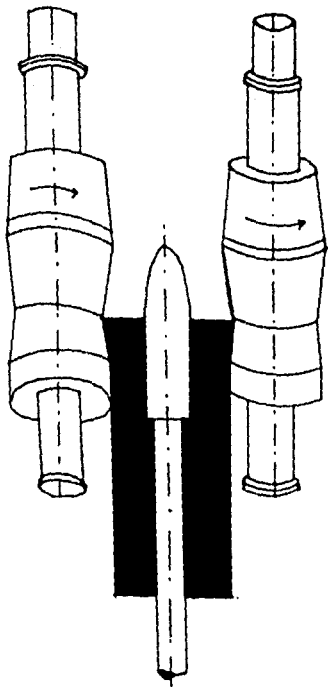


FIG. 11

METODO MANESSMANN

del mismo bloqueo.

Con el movimiento giratorio se expone el núcleo del lingote a una tensión mayor que la superficie del mismo y pronto se logra aflojar la liga de las partículas metálicas en el núcleo. Este aflojamiento se manifiesta en originar fisuras finas que posteriormente se convierten en un agujero. El mecanismo de la formación de tubos sin costura fue aclarado alrededor de 1925 por Siebel y Noel. La velocidad del movimiento hacia adelante depende del ángulo de inclinación entre ambos rodillos. La velocidad de ellos fluctua entre 1.5 hasta 6 metros por segundo. Claro está que este método exige un material de primera calidad porque los esfuerzos que debe aguantar un lingote destinado a la fabricación de tubos sin costura es mucho mayor que el esfuerzo en laminación común. Por esta razón no se permiten aceros con poros, segregaciones o desperfectos para la elaboración de tubos.

A causa de los esfuerzos necesarios la preparación de los lingotes tiene mucha importancia en la elaboración de tubos sin costura, la necesidad de dar importancia al material se refleja entre otras cosas en las normas que indican una especificación más rígida referente al material que se usa para la fabricación de tubos sin costura.

Aceros de alta calidad se tornean antes de ser usados. Quitando así posibles fallas en la cara exterior y en algunos -

casos por ejemplo para tubos de vapor de alta presión, se barre na también un agujero piloto en el interior del tubo. El método Mannesmann usa aceros con un contenido de carbón hasta de 1% por que aceros de más carbón causan dificultades en la elaboración del tubo. También otros elementos aleantes, como son el cromo - y el molibdeno, limitan la aplicación del método por los esfuerz os necesarios para su elaboración.

EL METODO EHRHARDT.

El método inventado por H. Ehrhardt a fines del siglo XVIII se distingue básicamente del método Mannesmann por lo siguiente:

Mientras el método Mannesmann parte de un lingote redondo y en su método original sin agujero piloto, el método --- Ehrhardt uso después en principio un lingote cuadrado al cual - se perforo con una prensa convirtiendo al mismo tiempo el lingote cuadrado en redondo como lo muestra la figura No. 12, en caliente y mediante un punzón es el lingote que llega cerca del - piso del mismo pero sin perforar por completo el material, el - diámetro del agujero es aproximadamente igual a la superficie - de los sectores del círculo que no esta llenado con el material. Si el largo del lingote no sobrepasa siete veces el diámetro -- del punzón se obtienen de esta manera lingotes perforados relativamente bien centrados. Con esta condición se reduce el largo

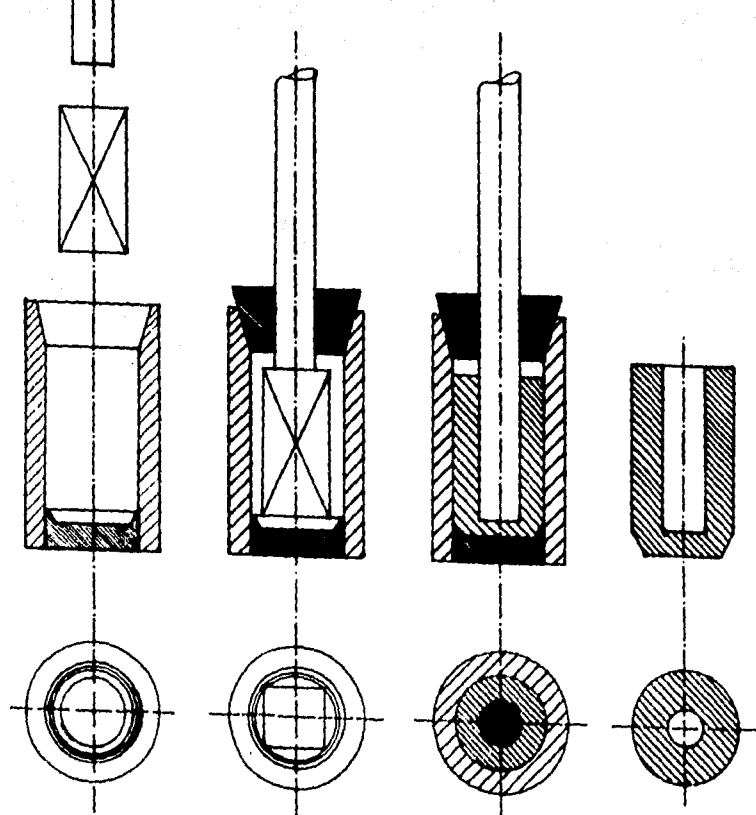


FIG. 12

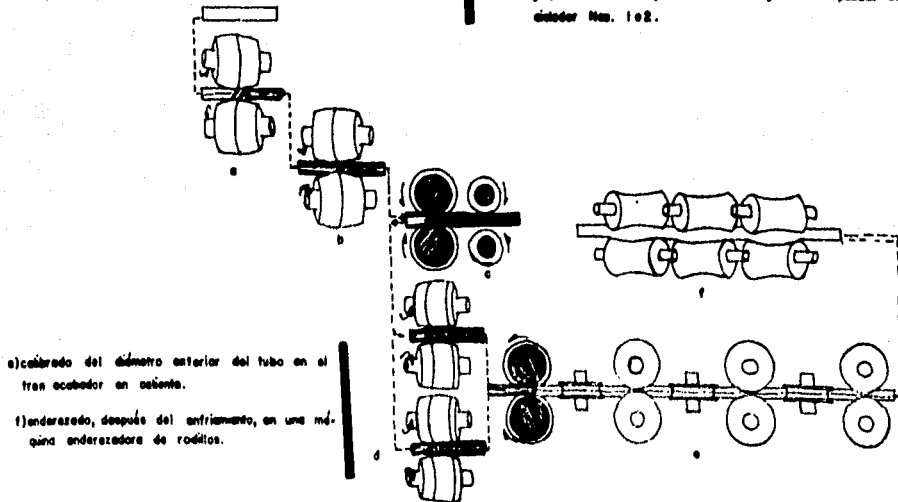
МЕТОД ХЕРХАРДТ.

del tubo obtenido por medio del método Ehrhardt. Además es muy importante que los lingotes que se usen tengan una temperatura uniforme en toda su área. El lingote hueco se pasa después a -- una laminadora con punzón. Similar al método Mannesmann, donde se da la medida y el acabado final. En los últimos años se hicieron varias investigaciones cuyo resultado ha sido que el método Ehrhardt en su forma original es demasiado alto en su costo de operación.

ACABADO DE LOS TUBOS.

Estos lingotes perforados se someten después al proceso de refinación y acabado con el fin de dar medidas y tolerancias que se exigen en el producto terminado. Desde luego este proceso esta acoplado en la mayoría de los casos a la planta -- donde se esten elaborando dichos lingotes perforados. Conforme a la calidad y las tolerancias deseadas se usan varios métodos de acabado de los cuales el método de "Paso de Peregrinación" -- es posiblemente el más conocido. En este proceso se alarga el lingote perforado y para obtener la medida deseada en el interior se usa un perno central con el fin de impedir una reducción del diámetro interior fuera de lo deseado y al mismo tiempo sirve para obtener un mejor acabado. (Ver. Fig. 13). Las exigencias modernas en cuestión de medición en la precisión son estrictas, por lo tanto, se debe tener cuidado al hacerlo para po

- a) punzonar el rodado para formar una "botella" en el laminador de punzonar N°1.
- b) aumentar el diámetro y disminuir el espesor de la pared de la botella en el laminador de punzonar N°2.
- c) laminación para obtener una pared uniforme a lo largo de toda la longitud del tubo en un laminador automático.
- d) alineación parcial de los espesores de pared alrededor de una circunferencia y obtención de superficies interior y exterior pulidas del tubo en el trafilador Nos. 1 y 2.



e) calibre del diámetro exterior del tubo en el trafilador en caliente.

f) enderezado, después del entramado, en una máquina enderezadora de rodillos.

Fig. 13

der cumplir con este tipo de exigencias se han desarrollado va
rios métodos, especialmente estirado en frío y laminadoras es-
peciales para satisfacer la exigencia de la industria.

VII.- LAMINACION DE ACEROS FINOS.

Aceros finos incluyen un gran número de aceros aleados también los aceros inoxidable. Generalmente no se diferencia el método de laminación y las reglas que rigen para la elaboración de productos de aceros finos de los métodos y reglas que se aplican en la elaboración de aceros comunes.

La única diferencia esta en el calentamiento de los lingotes y en la calibración de los rodillos.

Para poder eliminar fallas en el producto, terminado es de suma importancia tener cuidado en el proceso del calentamiento. Hay muchos tipos de acero que son delicados cuando se trata de calentarlos rápidamente. Fisuras y grietas son una consecuencia fatal de un calentamiento demasiado rápido como también en un enfriamiento rápido. Como regla general de la cual si hay excepciones se recomienda calentar a una temperatura de 800°C lentamente, después se puede llevar el material a temperaturas más elevadas para laminarse. El calentamiento rápido en la última fase es de interés también para la economía del proceso porque una estancia más de lo necesario a temperaturas elevadas arriba de 800°C causa un notable deterioro por la superficie, aparte de todo esto sufre también una pérdida de carbón en las superficies.

Un proceso que se recomienda para el calentamiento de-

aceros finos es el de calentamiento por inducción aunque este -- proceso es un poco caro se considera uno de los más adecuados pa
ra la laminación de aceros finos. En la elaboración de aceros fi
nos es importante limpiar los lingotes fundidos antes de someter
los al proceso de laminación, por que solamente así se pueden --
evitar pérdidas grandes de material por desperfectos en la su---
perficie. Si el equipo de limpia es a base de flama de oxiaceti
leno es indispensable precalentar ligeramente a 200 ó 300 C los
aceros que contienen arriba del 9.35% de carbono. Si no se obser
va esta regla existe el peligro de que se formen fisuras al tra
tar de limpiar con la flama. El mismo cuidado necesita el mate--
rial después de haber sido laminado.

Un enfriamiento al aire libre es común en aceros comer
ciales lo cual no se puede permitir nunca tratándose de aceros--
finos.

El consumo de energía para elaborar este material lógi
camente es mayor que para aceros comerciales, debido a la eleva
da resistencia del material. Aceros con una resistencia a la ---
tracción arriba de 60KG/mm^2 demuestran una resistencia específi
ca a la deformación a temperaturas elevadas (arriba de 900°C) --
que es un tercio más que la resistencia correspondiente a los --
aceros comunes, y los aceros inoxidables llegan regularmente a -
tener hasta cuatro veces la resistencia de los aceros comunes. En
relación con el aumento de la resistencia se reduce la posibili-

dad de la reducción posible en un solo paso. En la práctica se--
consideran estos detalles usando otro tipo de secuencia en la --
laminación y también más pasos para obtener la reducción deseada.

VIII.- HORNOS DE CALENTAMIENTO.

1). GENERALIDADES.

Los hornos representan un equipo de mucha importancia para las laminadoras porque del buen funcionamiento de ellos depende una buena parte de la calidad y del rendimiento de las plantas. Aparte de darle el calor necesario a los lingotes y billets para poderlos laminar en caliente, los hornos cumplen con otra tarea más que es la uniformización del calor. Solamente material que tenga el mismo calor en la superficie y en el centro se presta para una laminación correcta. El diseño moderno de los hornos de calentamiento hay en día es tan perfeccionado que no hay problema en lograr las metas, si es que el equipo se maneja conforme con las indicaciones del proveedor.

En el manejo, y especialmente en la carburación de los quemadores se pueden cometer errores graves que se reflejan después en material de mal acabado, pérdidas elevadas por oxidación y escamas y consumo exagerado de combustible. Como regla general se recomienda dar lo suficiente de aire para obtener la flama azul, sin punta amarilla, evitando un exceso innecesario de aire.

Una carburación pobre con exceso de aire causa una oxidación del material que calentar y un consumo exagerado de combustible porque el aire que entra al horno en exceso debe ser calentado también, originando un consumo de gas adicional sin

beneficio para el calentamiento del material. Un exceso de combustible es gasto perdido del mismo y por no alcanzar la temperatura máxima en la flama, una carburación que aplica combustible (gas, petróleo, diesel) en exceso reduce considerablemente la eficiencia y el rendimiento del horno en toneladas por hora, además el exceso de combustible es muy peligroso porque llega o puede llegar a tal grado que se acumula en el interior del horno gas o vapores de combustible líquido que tarde o temprano, al tener acceso al aire, explotan y puede ser la razón de la destrucción del equipo o por lo menos causan un flama que pone en peligro al personal que manejó el equipo. La formación de neblinas dentro del horno son un índice casi infalible de exceso de combustible y del peligro inminente de una explosión próxima. Muchos hornos están equipados con compuertas amortiguadoras que se abren en caso de una explosión interior sin destruir el horno.

El consumo de combustible depende naturalmente del tipo de material y del tiempo que se necesita para mantenerlo a la temperatura de laminación para lograr uniformizar la temperatura en toda la sección del material.

Además depende también de la temperatura inicial con la cual será alimentado el horno. Lingotes o material que entran con el calor residual de la fundición son más económicos en consumo de combustible. Como dato de referencia se puede considerar

que lingotes fríos necesitan 400- 500 KCAL. Por cada kilo de -- material, mientras que los lingotes que entran con el calor residual de la fundición absorben entre 100 y hasta 250 KCAL/KG, -- conforme con el calor que todavía queda de la fundición. Lógica-- mente es recomendable usar de preferencia los lingotes con su-- calor residual de la fundición, especialmente en material de -- gran consumo, pero no siempre es posible, especialmente al tra-- tarse de lingotes de aceros finos o para la elaboración de mate-- rial de calidad. En todo tipo de hornos aporta una economía no-- table el precalentamiento de aire de combustión mediante inter-- cambiadores de calor.

2). HORNOS DE FOSA.

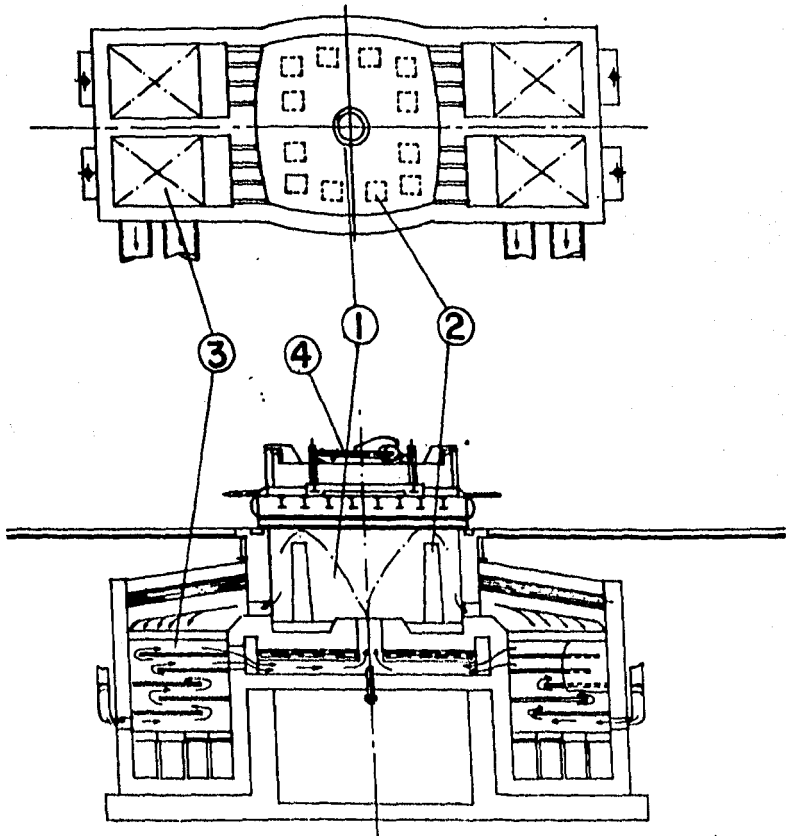
Hornos de fosa se usan para el calentamiento de lingo-- tes y planchones fundidos o en menor grado para lingotes y plan-- chones prelamados. La de estos hornos esta en el detalle que-- permiten calentar unidades sin limitación ninguna del peso, en-- una calefacción muy uniforme y un control relativamente sencii-- llo del equipo. Las desventajas del equipo son que no se pres-- tan para un proceso continuo (los hornos se cargan, después se-- vacían y se cargan de nuevo.) por la falta de la continuidad en-- estos hornos es necesario tener una capacidad suficiente para -- dar abasto a las demandas de los molinos y una instalación de -- este tipo si requiere mucha inversión.

Anteriormente se construyeron los hornos de fosa con varias secciones (cámaras) que tenían cada una, una capacidad para uno hasta 4 lingotes grandes. Todos estos hornos tenían el problema de la uniformidad del calor debido al gran número de quemadores necesarios, la restricción de la circulación de calor en el interior de los hornos, y también por la corta distancia de los quemadores del material que calentar que en algunas ocasiones causó un sobrecalentamiento local en el lugar donde mas pegó la flama directa.

Estas desventajas causaron un cambio radical en el diseño de los hornos de fosa y hoy se construyen casi exclusivamente hornos sin cámaras interiores. Una disposición general de un horno de fosa, diseño moderno, se ve en la figura 14.

El diseño muestra un horno de fosa con doble quemador, uno (o un juego) en cada lado corto del horno. Las flechas indican el flujo de gas y aire. Existen ademas hornos con un solo quemador o juego de quemadores en un lado del horno pero este arreglo incluye el peligro de que los lingotes que esten mas lejos no se calientan en la misma forma que los lingotes mas cercanos del grupo de quemadores.

Hornos de este tamaño llevan un recubrimiento de refractarios de magnesita de 200 MM y mas de espesor. El control de la temperatura se hace automáticamente. Escencial para una calefacción uniforme es un control exacto de la presión en el interior--



HORNO PIT (DE FOSA) PARA EL CALENTAMIENTO DE LOS

LINGOTES:

1) fosa

2) lingotes

3) calentadores

4) mecanismo de carga y descarga

FIG. 14

del horno.

Los hornos de fosa se usan exclusivamente en plantas-- laminadoras que manejan lingotes de grandes dimensiones por ejemplo para la elaboración de material plano, todos los hornos de-- fosa se cargan desde arriba mediante un equipo de gruas.

3). HORNOS CONTINUOS.

Hornos continuos sirven para el calentamiento de lingotes, billets planchones y todo tipo de material semi-terminado en una forma continua que permite un flujo constante en el proceso de laminación. Los hornos continuos estan equipados con una máquina empujadora que mediante fuerza hidráulica empuja los --- billets al horno. La entrada del material es siempre en el lado-- frio del horno y la colocación de los billets es siempre transver-- sal a la dirección de avance. El ancho del interior del horno -- (claro) limita necesariamente el largo del material que se puede calentar en un horno y en equipo moderno encontramos hornos con un claro hasta 14 metros. La figura 15 adjunta muestra el lado-- de entrada de un horno colocado en Italia cuyo ancho permite calentar billets de 12 metros de largo y hasta 130 x 130 MM de sección. La capacidad de los hornos depende del largo disponible -- y del grueso del material de billets que un centimetro de espe-- sor requiere 15 minutos de tiempo para lograr una temperatura -- uniforme en el lingote.

HORNO CONTINUO PARA RECOCIDO DE CHAPA

1) entrada

2) salida

3) quemadores

4) chimenea

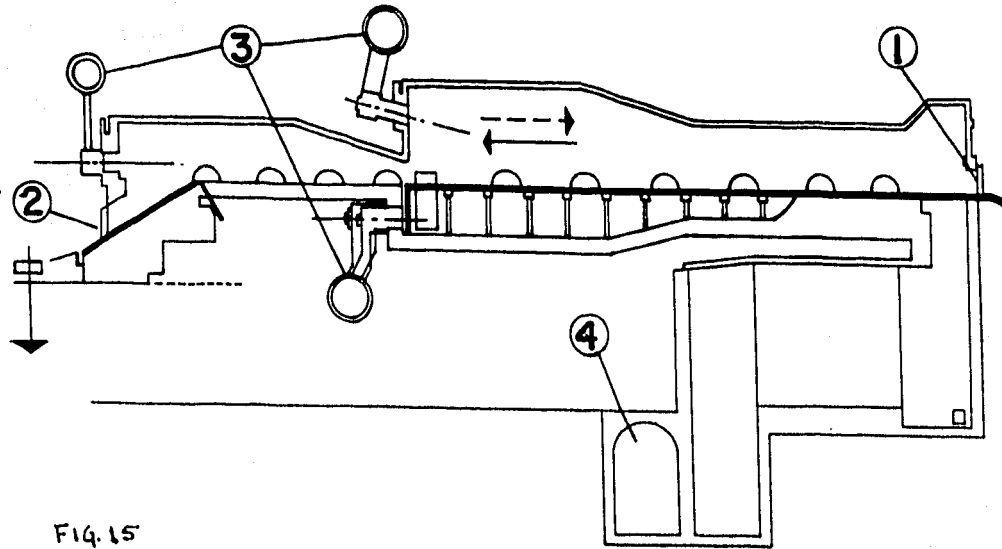


FIG. 15

HORNO DE EMPUJADORES PARA EL CALENTAMIENTO DE SEMIPRODUCTOS

1) entrada

2) salida

3) quemador de gas

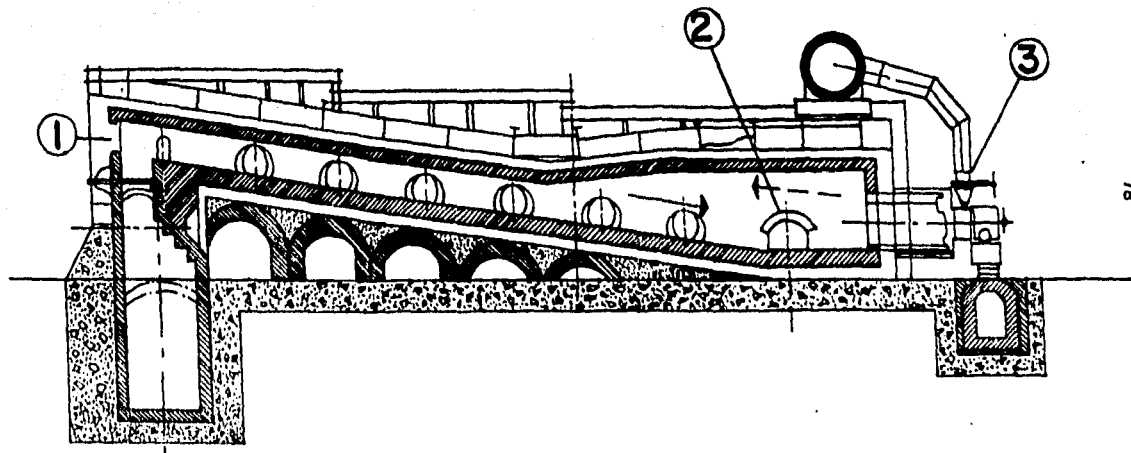


Fig. 16

4). HORNOS EMPUJADOR.

Son los hornos de mas uso en laminación de material de dimensiones medianas y reducidas. Conforme con las necesidades-- y la capacidad de material caliente que se pretende sacar de un horno se usan diferentes tipos y los más usuales son:

a).- Hornos con una zona de calefacción, caracteriza-- dos por tener solamente una zona de calentamiento con un grupo-- de quemadores. Los diseños recientes colocan los quemadores en -- la cara de salida del horno, axialmente al movimiento de los lin-- gotes normalmente no se recomienda este tipo para billets de mas-- de 90 MM de diámetro. Su rendimiento es poco (hasta 15 TON/HORA) pero costo y manejo son también muy sencillos. En modelos anti-- guos se usan en lugar de los quemadores solamente en los lados-- paralelos a la dirección de los billets. Esta colocación es poco-- adecuada porque el calentamiento no es uniforme.

b).- Hornos de dos zonas.- Estos hornos estan equipa-- dos con dos grupos de quemadores: un grupo para el precalenta -- miento y el segundo para calentamiento final. Colocación de los-- quemadores normalmente un grupo en el frente y otro grupo mas -- arriba. Este arreglo es posible porque hornos para material del-- gado hasta 120 MM diámetro estan inclinados (promedio de Inclina ción lado frio), facilitando de esta manera el transporte de los billets a traves del horno.

c.- Hornos de tres zonas.- Son de capacidad mediana.-

En la figura No.16 aparece el corte de un horno de tres zonas,-
diseñado en 1958, con los siguientes datos:

ANCHO APROVECHABLE 6.5 MT.
 ANCHO APROVECHABLE 117 MT²
 LARGO APROVECHABLE 18 MT.
 COMBUSTIBLE: GAS CON 1400 CAL/MT³
 TEMPERATURA GAS: 350°
 TEMPERATURA AIRE: 600°
 RENDIMIENTO MAXIMO: 55 TO/HORA.
 RENDIMIENTO NORMAL: 45 TO/HORA.
 CONSUMO DE ENERGIA: 350 CAL/KG.
 MATERIAL CON 45 TON/HORA

La descarga en este tipo de hornos se hace lateralmente mediante una máquina diseñada especialmente para este trabajo. Realmente es esta la mejor forma como descargar los billets de un horno empujador porque la salida del material que puede ser la entrada de aire incontrolable y frío es muy reducido y se puede sellar fácilmente. Aparte de la descarga lateral si existen también hornos que permitan sacar los billets calientes en dirección axial al avance de los mismos. Los hornos de tres (y hasta más) zonas de calentamiento ofrecen aparte de la ventaja de alto rendimiento también la ventaja de un calentamiento bien controlable y un régimen de calor muy suave y por esta razón se ---

ofrecen para la elaboración de aceros finos y aceros inoxidable.

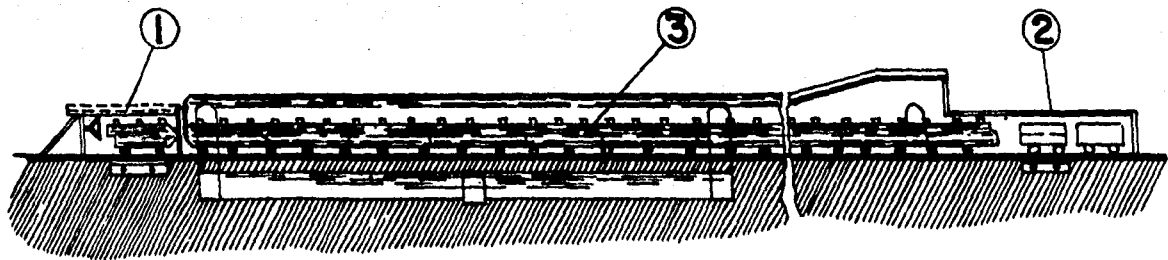
d.- Hornos con mas de tres zonas de calentamiento son de mas alto rendimiento. Con estos hornos se pueden calentar hasta 150 toneladas de bileta. Naturalmente su instalación es muy costosa y solamente se justifica en plantas grandes. En estos casos muchas veces se instalan dos hornos, cada uno con menos capacidad en lugar de un solo horno de grandes capacidades por razones de flexibilidad y también para correr menos riesgos en caso de una reparación que pone fuera de servicio toda la planta si esta equipada con un solo horno.

HORNOS DE PISO MOVIL. Sin duda alguna el mejor tipo de hornos para el calentamiento de lingotes. Su principal ventaja-- esta en el detalle de que los lingotes pasan uno por uno por el largo del horno sin tocarse entre sí. Así se logra un calentamiento muy uniforme en todo el material. Un corte de la bóveda-- de un horno de piso movil se ve en la figura No.17.

La parte central del piso se levanta y el mismo tiempo hace un movimiento hacia adelante. Los lingotes serán transportados en esta dirección y el centro del piso regresa a su posición inicial pero abajo del nivel de los tramos laterales. El horno -- cuyo corte aparece está instalado en la planta de las fábricas-- Rochling en la ciudad de Volkingen/Alemania.

Sus datos mas sobresalientes son:

RENDIMIENTO: HASTA 15 TONS. POR HORA.



82

HORNO DE SOLERA MOVIL PARA EL CALENTAMIENTO
DE SEMIPRODUCTOS:

- 1) entrada
- 2) salida
- 3) plataforma sobre ruedas

Fig. 17

ANCHO (CIARO) DEL HOGAR: 3.5. MTS.

LARGO APROVECHABLE: 12.4 MTS.

CONSUMO CALORIFICO: 350 KCAL/KG.

COMBUSTIBLE: GAS CON 1400 KCAL/M³, PRECALENTADO -
A 350°C.

AIRE: PRECALENTADO A 600°C.

ANCHO DE LA PARTE CENTRAL MOVIL: APROX.1700 MM

AREA APROVECHABLE DEL HORNO: 43 M².

Los hornos de piso movil son de un alto precio de instalación pero indispensable en caso de aceros finos. Su buen rendimiento también permite el uso en los cuatro pasos levantar, avanzar, bajar y regresar se logra hoy con sistema hidráulico, mientras en modelos mas antiguos se aplicó un sistema mecánico con excéntricos.

5.) HORNO GIRATORIO. Se puede considerar como un diseño variado de los hornos de fosa. Su sistema de funcionamiento se ve claramente en la figura 18.

Estos hornos unen la ventaja de los hornos de empuje o piso movil con las ventajas de hornos estacionarios de fosa. Las cargas en las diferentes secciones no se tocan y así se logra un calentamiento muy uniforme del material. Similar a los hornos empujadores también los hornos giratorios la calefacción es un sentido contrario al movimiento del material. Un factor que muchas veces impide la instalación de este tipo de horno --

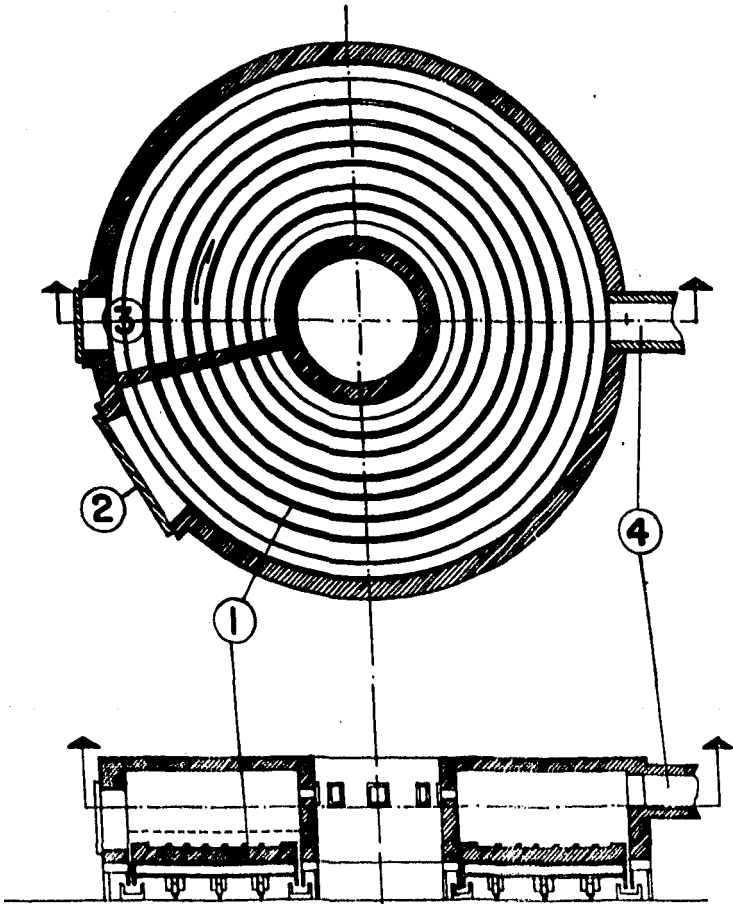


Fig. 10

HORNO DE SOLERA GIRATORIA PARA EL CALENTAMIENTO DE SEMIPRODUCTOS:

1) solera

2) entrada de productos

3) 4) tomas de gases.

aunque para un caso dado tenga mucha ventaja es aparte del alto-costo el hecho de que ocupa un espacio considerable.

6.) DATOS BASICOS DE CONSTRUCCION.

El dato mas importante de un horno es la energía calorífica que aporta para poder calentar en un tiempo aceptable el material. Para la práctica pueden considerarse las siguientes---capacidades de los quemadores:

Hornos empujadores necesitan aprox. 150,000 KCAL/HORA-para cada metro cuadrado del área calentada.

Hornos de piso móvil necesitan 100 000 KCAL/HORA por--cada metro cúbico del volumen del horno en vacío.

Hornos giratorios requieren una calefacción de 150 000 KCAL/HORA por cada metro cuadrado de área de calefacción.

El cálculo de los quemadores debe ser conforme con las necesidades de los hornos, basándose en los valores caloríficos-mencionados. Como todos los quemadores tienen un rango de regu--lación (quemadores de aceite por ejemplo hasta 1:10) se recomienda calcular el volumen instalado de los quemadores a una capacidad de 66% (2/3) de la capacidad nominal.

El largo del horno sobretexto de suficiente capacidad en quemadores y la capacidad del mismo en toneladas por hora estan relacionadas estrechamente uno con otro según la ley:

$$L = \frac{J}{4,71} \cdot D \text{ (METROS)}$$

Donde significan:

L EL RENDIMIENTO DEL HORNO EN TONELADAS/HORA.

J EL TIEMPO PREVISTO PARA CALENTAMIENTO EN MIN/CM DEL ESPESOR.

D EL LARGO DEL HORNO (ZONA APROVECHABLE) EN METROS.

l EL LARGO (O ANCHO) DEL MATERIAL QUE CALENTAR EN METROS.

Las bóvedas causan una presión horizontal que debe--- ser tomada en consideración para la dimensión correcta de las-- anclas y soportes que sostienen esta bóveda. La magnitud de la-- fuerza horizontal H que es el máximo que debe de aguantar el -- marco del horno según gráfica es:

$$H = f \cdot \frac{B S}{2}$$

Donde significa:

F: FACTOR DE SEGURIDAD, INCLUYENDO TENSIONES DESCONOCIDAS. BAJO- CIRCUNSTANCIAS NORMALES $f = 3$ (MIN).

B: LARGO DEL ARCO EN METROS.

S: ESPESOR DE LA BOVEDA EN METROS.

Peso del material para bóveda en $\text{grados}/\text{CM}^3$.

Angulo de la bóveda en grados.

La parte que mas fuerza debe de resistir son las --- anclas que unen ambas partes del marco. Las fuerzas estan mar- cadas con K_0

Y K_u y la tensión de ellos en bajo carga:

$$K_u = \frac{H}{\frac{b}{a} + 1} \quad (\text{Kg})$$

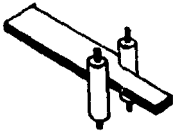
$$K_o = \frac{b}{a} - K_u \quad (\text{Kg})$$

Refractarios se usan con un grueso de Min 500 MM para hornos de fosa y de 250 MM mínimo para hornos empujadores, de piso móvil y giratorios. Aparte se pone como capa exterior un espesor de 124 MM (5") mínimo de ladrillos aislantes para hornos de fosa y de 250 MM (10") para hornos empujadores, giratorios y piso móvil. Por razones de peso se usan en hornos de piso móvil -- y más todavía en los hornos refractarios y aislantes de peso liviano. En estos casos se reduce el espesor de los refractarios-- a la mitad y se usa igual espesor (o poco más) de refractarios y/o aislante liviano. La expansión de los refractarios se considera en tal forma que por cada 100°C de temperatura arriba del-- ambiente se prevé una fuga de 1 MM en cada metro de pared. Al-- erigir el horno se pone un papel o cartón del espesor necesario-- entre los ladrillos. El calor hacer quemar pronto este injerto y queda la fuga de expansión. Para lograr la estabilidad necesaria de todo refractario no se debe exceder mucho una altura de la pared arriba de 10 veces el espesor de la misma.

Paredes de gran extensión se anclan con la estructura metálica del mismo horno, igual a los techos si no son de bóveda.

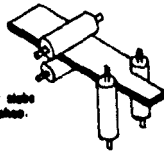
Este anclaje se usa tanto para paredes como para techos y solamente es uno de los múltiples arreglos posibles.

El material de los refractarios es a base de minerales, especialmente silicatos y carbonatos de magnesio y calcio. Aparte se usan refractarios hechos de óxido de cromo y otros óxidos de alta resistencia a la temperatura como son TiO_2 y ZrO_2O .



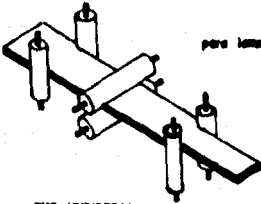
redondeo lateral
del metal laminado

CAJA VERTICAL



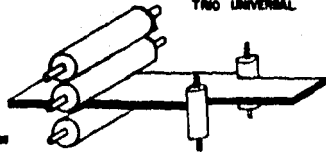
para laminar alabe
y placas anchas.

DUO VERTICAL (c/Am per de cilindros verticales)



para laminar placas anchas

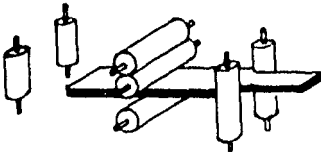
DUO UNIVERSAL



TRIO UNIVERSAL

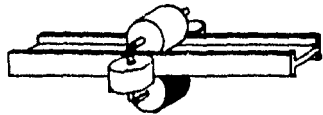
para laminar placas anchas

para laminar placas anchas



TRIO UNIVERSAL

para laminar vigas de ala ancha de
300 a 1200 mm de altura



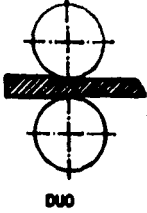
VIGAS UNIVERSALES

a) Laminadores reversibles para laminar perfiles grandes vigas, carriles y chapas gruesas

b) Trenes de gran producción para laminar semiproductos y secciones

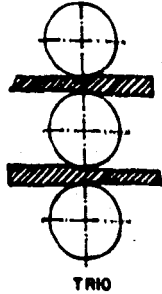
c) Laminadores de banda (método antiguo)

d) Laminadores de reducción en frío para bandas anchas y estrechas

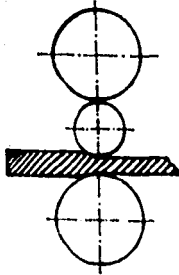


a) Para laminar vigas, carriles, semiproductos, lingotes y otros.

b) Para laminar perfiles en pequeños talleres.

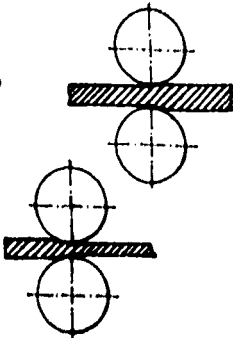


Para laminar chapas medianas, gruesas y a veces delgadas

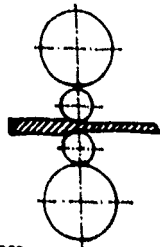


TRIO RODILLO FLOTANTE (TREN LAUTH)

DOBLE - DUO

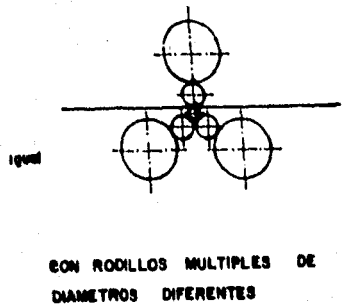
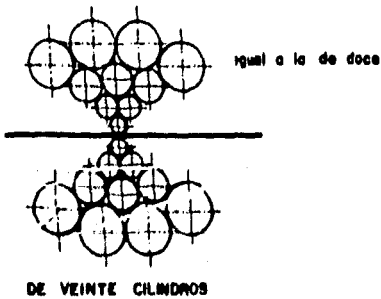
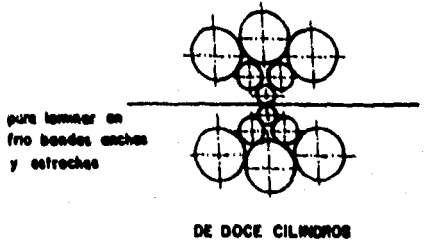
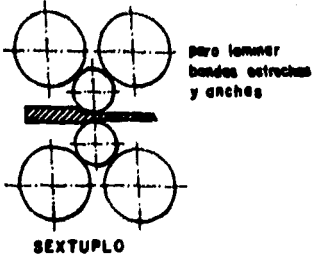


Para laminar perfiles ligeros y pequeños tonelajes



CUARTO

Para laminar en caliente y frío chapas, bandas estrechas y anchas





hacer tubos con
diámetro de 60
a 680 mm.

LAMINADOR PUNZONADOR CON
CILINDROS DE FORMA DE BARRIL.



hacer tubos con
diámetro de 60
a 200 mm.

LAMINADOR PUNZONADOR CON
CILINDROS CONCOS



hacer tubos con diámetro de 60 a 180 mm.

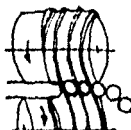
LAMINADOR PUNZONADOR
CON CILINDROS DE FORMA
DE DISCO.

TREN DE LAMINACION
DE BOLAS.

alargamiento de tubos
con reducción en su
espesor de pared.



LAMINADOR FIJO ASSEL



laminar bolas
con diámetro de
18 a 125 mm

EPILOGO

Al término de esta tesis y de acuerdo a las experiencias obtenidas en las referidas publicaciones se concluye que la industria siderúrgica dentro del proceso de laminación debe seguirse investigando ya que las necesidades requeridas por la industria son cada vez más exigentes.

Ahora bien, un trabajo bibliográfico no es concluyente - ya que día a día la investigación descubre nueva tecnología, de hecho el estudio realizado para calibración de rodillos, elaboración de perfiles especiales, barras redondas, cuadradas, hexagonales, acanaladas, y de tubos sin costura.

Es un problema que es resuelto en la industria de acuerdo a su capacidad de técnica y situación económica con esto se requiere decir que algunas veces no solamente es necesario la información para reformar, reparar u optimizar un proceso sino que depende de un sin número de factores, sin que la información técnica pierda su valor.

BIBLIOGRAFIA.

Las letras entre () indican el idioma y en particular significa:

e Español, i Inglés, a Alemán, f Francés. En libros y Publicaciones se menciona primero el nombre del autor, después el título del libro o de la publicación y finalmente el editor.

A). REVISTAS.

- (1). Stahl Und Eisen (a) Editor: Verlag Stahleisen, Dusseldorf, Alemania.
- (2). Revista Demag (e) Editor: Demag Ag, Duisburg, Alemania.
- (3). The Iron Age (i) Chilton, Company, New York.
- (4). Iron And Steel Engineer (i) Asociación Of Iron And Steel Ing. Pittsburg.
- (5). Steel (i) Steel, Cleveland/Ohio.
- (6). Archiv Fur Eisenhüttenwesen (a) Vdeh, Dusseldorf, Alemania.
- (7). Blast Furnace And Steelplant Pittsburg/USA.
- (8). Control Engineering (i) McGraw Hill, New York.
- (9). Iron And Steel, (i) London Inglaterra.
- (10). Jerkontor Ann. (Sueco) Uppsala, Suecia.

Reth: Nuevo Tren Continuo de Laminación. Revista (2) No. 182
1967.

Steinhauer y Jauch: Untersuchung Uber Die Verarbeitung Von ----
Stranggusshalbzeug (Revista (1) 1967, pág. 374-383.

Engelmann-Voss-Kolb: Experience With The Workability Of Conti--
nuos Cast Semi-Products Edición en Ingles-
de Revista (1) 1967, pág. 1020, 1030.

Von Euw: Metalurgia física de los productos Siderúrgicos, repor-
te especial del 3o. Congreso Nal. de la Ind. Siderúrgi-
ca, México.