

Universidad Nacional de Ingeniería
Programa de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica

Laminación en Caliente de Productos Planos

Tesis para optar el Título de
INGENIERO METALURGISTA

Víctor Granados Rivas

Promoción '67 «Pedro H. Tumalián»

LIMA - PERU
1970

A los Ingenieros
RENE BARBIS Y ENRIQUE MONGE G.
Forjadores de la Industria
Siderúrgica Nacional

INDIGE GENERAL

| | <u>Pag.</u> |
|--|-------------|
| CAPITULO I | |
| LINGOTES DE ACERO | 6 |
| A. Lingotes y Lingoteras | 6 |
| B. Tipos de Estructura de Lingotes | 8 |
| C. Control de la Estructura del Lingote | 15 |
| D. Defectos de los Lingotes | 20 |
| CAPITULO II | |
| CONSTRUCCION Y OPERACION DE LAMINADORES | 30 |
| A. Clasificación General | 30 |
| B. Arreglos de los Laminadores | 32 |
| C. Laminadores Especiales | 33 |
| D. Accesorios de los Laminadores | 35 |
| E. Diseño y Manufactura de los Rodillos de Laminación | 46 |
| 1. Partes de los Rodillos | 46 |
| 2. Diseños de los Rodillos de Laminación | 46 |
| 3. Fundición de los Rodillos de Laminación | 49 |
| a. Rodillos de Acero | 50 |
| b. Rodillos de Fierro | 55 |
| CAPITULO III | |
| HORNOS DE FOSO | 61 |
| A. Hornos de Foso | 61 |
| B. Tipos de Hornos de Foso | 62 |
| C. Equipos Auxiliares | 66 |

| | <u>Pag.</u> |
|---|-------------|
| D. Objetivos en los Diseños de Hornos de Foso | 71 |
| E. Prácticas de Calentamiento | 73 |
| CAPITULO IV | |
| PRODUCCION DE TOCHOS Y PLANCHONES | 77 |
| A. Tochos y Planchones | 77 |
| B. Producción de Tochos y Planchones | 78 |
| 1. Características de los Laminadores de Tochos y Planchones | 79 |
| 2. Actividades Primarias | 80 |
| 3. Tipos de Laminadores Primarios | 82 |
| 4. Operaciones Unitarias | 88 |
| C. Diseño de la Caja de Rodillos Laminadores | 91 |
| D. Diseño de Rodillos y Procedimiento de Laminación | 93 |
| CAPITULO V | |
| PRODUCCION DE PLANCHAS LAMINADAS EN CALIENTE | 101 |
| A. Planchas Laminadas en Caliente | 101 |
| B. Tipos de Laminadores de Planchas | 102 |
| C. Operaciones Unitarias en la Laminación de Planchas | 108 |
| BIBLIOGRAFÍA | 123 |

INTRODUCCION

La presente tesis tiene como objetivo presentar, de modo general, el proceso de laminación en caliente de productos planos.

En los capítulos I, II y III se define y describe los elementos necesarios para el proceso de laminación: lingotes, hornos de foso y laminadores; así tenemos:

En el capítulo I se define y se clasifica los lingotes de acuerdo al método de desoxidación del acero. Se menciona las variables que intervienen en la obtención de un lingote, así como los defectos más comunes que se presentan en ella.

El capítulo II trata de la clasificación de los laminadores de productos planos. Describe los accesorios comunes a los laminadores y trata sobre el diseño, fundición y manufactura de los cilindros de laminación.

El capítulo III describe los tipos más comunes de hornos de foso, las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Asimismo las consideraciones que se deben tener en el calentamiento de lingotes de acero al carbono.

Por su parte los capítulos IV y V definen los términos de tochos, planchones, palanquillas y planchas de acero. Describen las laminadoras utilizadas y las operaciones unitarias que se desarrollan en la fabricación de estos productos.

Las fotos que se presentan fueron tomadas durante la etapa de prueba de la Planta de laminación Planos de la Sociedad Siderúrgica de Chimbote S.A., SOGESA, durante los meses de abril y mayo del presente año.

LINGOTES DE ACERO

CAPITULO ILINGOTES DE ACEROA.- LINGOTES Y LINGOTERAS1.- LINGOTES

Después de que la carga de sustancias ferrosas (arrabio, chatarra, etc.) ha sido transformada en acero en hornos de hogar abierto, convertidores, hornos eléctricos, el acero fundido es vaciado en un recipiente (cuchara) de tope abierto de acero revestido de material refractario. La cuchara tiene un orificio en el fondo provisto de una boquilla, un dispositivo taponador con varilla y mecanismo para la elevación y descenso del dispositivo taponador. La cuchara es movida por una grúa puente a una plataforma de colada donde el acero es entonces descargado o vaciado en moldes llamados lingoteras. El acero se solidifica dentro de las lingoteras formando piezas fundidas llamadas lingotes. Durante el curso de la solidificación y enfriamiento, la superficie del lingote se encuentra a una temperatura menor que su interior. Así tenemos que, en algunos tipos de acero, el interior de los lingotes se encuentran todavía fundido al efectuarse la subsiguiente operación de deslingoteado, en las cuales los lingotes de acero sólido son extraídos de las lingoteras.

Los lingotes son colocados en hornos de foso herméticamente cerrados y equipados con quemadores de petróleo

para suministrar calor. Allí, los lingotes son calentados a la temperatura deseada para la laminación y mantenidos durante un tiempo apropiado para uniformar la temperatura en todas las zonas del lingote.

Un lingote ideal para laminación es aquel que es homogéneo tanto física como químicamente. Un producto en estas condiciones está formado por pequeños cristales equiaxiales, encontrándose libre de segregaciones químicas, inclusiones no metálicas y cavidades. Infortunadamente, las leyes que gobiernan la solidificación del metal líquido, operan contra la obtención de estas condiciones por lo que los lingotes presentan en su interior una serie de defectos como rechupes, segregaciones químicas, segregaciones no metálicas, estructura de cristales columnares y fisuras internas. Además de estas manifestaciones de falta de uniformidad interna se presentan diversos defectos superficiales como grietas, fisuras y pliegues.

2.- LINGOTERAS

Las lingoteras son recipientes de fierro fundido, de mayor altura que las otras dimensiones; cuyos pesos varían entre 1 y 1 1/2 veces el peso de los lingotes fundidos en ellos. La cavidad del molde o lingotera es usualmente cónica o piramidal para facilitar el deslingoteado. La forma de la conicidad determina los dos tipos principales: Lingoteras derechas y lingoteras invertidas, como se muestra en la figura 1.

Las lingoteras derechas están a su vez clasifica-

das como lingoteras de tope abierto y tope de tipo de botella.

Las lingoteras invertidas pueden ser de fondo abierto, de fondo cerrado y de fondo con tapón. La base del molde sirve como cierre inferior de la cavidad en las lingoteras derechas y en las invertidas de fondo abierto. En las lingoteras invertidas de fondo cerrado, no se utiliza base. En la lingotera invertida con el fondo con tapón, el interior se estrecha hacia el fondo, terminando en una pequeña abertura circular la cual es cerrada por un tapón de material refractario antes de que se efectúe el vaciado del metal. (Fig. 1) Esta abertura circular servirá para introducir una varilla de presión para aflojar el metal que pudiera haberse adherido en las lingoteras; actualmente se emplea para facilitar la limpieza del molde.

Este tipo ~~es~~ preferido a las lingoteras de fondo cerrado.

Las paredes interiores de las lingoteras pueden ser planas, corrugadas o estriadas.

B.- TIPOS DE ESTRUCTURA DE LINGOTES

A medida que se llena la lingotera con acero líquido, el metal próximo a las paredes y a la base del molde se enfría por contacto con la superficie y se solidifica formando una corteza o piel del lingote. Al principio de la solidificación, la corteza formada se contrae gradualmente dejando una zona de aire entre el lingote y las paredes de

la lingotera. Esta zona de aire por su pequeña capacidad de transferencia térmica reduce la velocidad de paso de calor desde el acero al molde y desde el molde a la atmósfera. El espesor de la corteza o piel del lingote incrementa rápidamente al principio, pero a medida que progresa la solidificación, este incremento se hace cada vez más pequeño hasta anularse.

La solubilidad de los gases disueltos en el acero fundido disminuye con la temperatura, particularmente al pasar el acero de la fase líquida a la fase sólida. Durante la solidificación de los lingotes, la liberación se efectúa de acuerdo a la cantidad de gases originalmente disueltos en el acero fundido. El principal gas disuelto en el acero líquido, es el oxígeno en la forma de FeO . Este elemento reacciona con el carbono contenido en el acero para producir el monóxido de carbono.

Las condiciones de equilibrio entre el oxígeno y el carbono varían con la disminución de temperatura, de modo que los dos elementos reaccionan exotérmicamente para formar monóxido de carbono, reacción que se desarrolla a medida que el sistema trata de alcanzar un nuevo estado de equilibrio.

La adición de agentes desoxidantes al acero líquido disminuye la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto, el grado de desoxidación determina la formación de tipos de aceros calmados y efervescentes, los cuales serán discutidos posteriormente.

El acero fundido no se solidifica a una temperatura definida sino dentro de un rango de temperatura, de manera que los gases liberados de una porción del acero todavía líquido, pueden ser atrapados en las interfaces sólido-líquidas produciendo sopladuras.

La cantidad de gases, principalmente oxígeno, disueltos en el acero líquido y la cantidad de gases liberados durante la solidificación, determinan la clasificación en: Lingotes calmados, lingotes semicalmados, lingotes tapados y lingotes efervescentes. La cantidad de oxígeno, disuelto en el acero fundido, depende del contenido de carbono y de la cantidad y tipo de desoxidante adicionado al acero líquido.

La figura 2 ilustra diagramáticamente ocho lingotes típicos comerciales, fundidos en lingoteras idénticas del tipo de tope de ~~botella~~, en la que se muestra el grado de liberación de gas. La línea punteada indica la altura original a la cual el acero fue vaciado en cada lingotera. El rango de estructura del lingote varía desde un lingote completamente calmado (1) a un lingote violentamente efervescente (8). Las diferencias entre estas estructuras son el resultado de las diferentes cantidades de gases liberados del acero durante su solidificación.

El lingote completamente calmado (1) no libera ningún gas, su tope, se muestra ligeramente cóncavo y presenta la típica cavidad de contracción, llamada "rechupe". Los aceros completamente calmados son casi siempre colados en

lingoteras invertidas con mazarotas, para confinar enteramente el rechupe en la porción superior del lingote, la que más tarde es cortada y desechada. El ejemplo es incluido con propósitos de comparación.

El lingote 2 representa el tipo semi-calmado típico. En este lingote, solamente se libera una ligera cantidad de gas; sin embargo, las sopladuras resultantes alcanzan volumen suficiente para compensar completamente la contracción producida por la solidificación. La acción de la presión ferrostática impide la formación de sopladuras en la mitad inferior del lingote. La presión ejercida por los gases atrapados es suficiente para pandear la superficie superior del lingote, produciendo así un tope convexo.

El lingote 3 desarrolló, durante la solidificación, mayor cantidad de gases que el lingote 2; las sopladuras resultantes ~~tienen~~ un volumen mayor que el requerido para compensar la contracción producida por la solidificación. Algunas de las sopladuras se forman muy próximas a la superficie de las paredes del molde en la mitad superior del lingote. Las sopladuras situadas muy cerca a las superficies del lingote son indeseables, porque pueden originar defectos superficiales durante las operaciones subsiguientes de calentamiento y laminación. En este tipo de lingote, la presión ejercida por los gases llegó a fracturar la superficie superior del lingote, inicialmente solidificada, forzando el acero líquido hacia arriba, a través de las fracturas, produciendo el fenómeno llamado "sangrado".

El lingote 4, liberó tanto gas que la superficie superior del lingote no llegó a solidificarse inmediatamente después del vaciado y, en cambio, se produjeron numerosas sopladuras muy cerca de las paredes del lingote, las que se extendieron desde el tope hasta el fondo. La liberación de gases inmediatamente después del vaciado hace que el acero líquido ascienda produciendo una acción de ebullición de la que se deriva el término "efervescente". Esta acción es detenida por una tapa de metal asegurada al tope de la lingotera.

El lingote 5, representa un lingote tapado. En este tipo se produce tal liberación de gases que la fuerte corriente ascendente, producida a los lados de la mitad superior del lingote, arrastra hacia afuera las burbujas de gases que podrían haber formado sopladuras. Igualmente, en la mitad superior del lingote, las sopladuras no se llegaron a producir hasta que la evolución del gas se hubo moderado parcialmente. Como resultado de lo anterior, se formó un revestimiento sólido delgado seguido por la zona de metal que contenía las sopladuras. De esta manera, las cavidades de las sopladuras no se encuentran expuestas a la acción oxidante durante los períodos de calentamiento y uniformización. Debido a que en este lingote 5 se formaron menos sopladuras que en el 4, el acero ascendió menos rápidamente a la tapa instalada en el tope de la lingotera.

El lingote 6, así como el 7 y 8, son del tipo efervescente. En el primero, la evolución de gas es aún más grande que en el 5; pero insuficiente para prevenir que el

enjambre de sopladuras exceda en volumen la cantidad requerida para compensar las contracción producida por la solidificación. Por eso, la superficie del tope del lingote se eleva solo ligeramente a medida que las paredes del lingote se solidifican.

El lingote 7, es típicamente efervescente; la evolución de gas es tan fuerte que la formación de sopladuras está confinada a solo un cuarto inferior del lingote. El incremento aparente en volumen por causa de las sopladuras compenza la contracción producida en la solidificación originando que el tope del lingote ni se eleve ni descienda apreciablemente durante la solidificación.

El lingote 8, ilustra un lingote de efervescencia violenta, típico de aceros con bajos contenidos de metaloides; se forman enjambres de sopladuras y la superficie del tope del lingote asciende marcadamente durante la solidificación.

Las ocho estructuras precedentes fueron seleccionadas solo para ilustrar una serie de estructuras de metal, variando desde un acero francamente calmado hasta un acero completamente efervescente. Incluidos en la serie se encuentran los siguientes tipos de lingotes producidos comercialmente: acero calmado (1); acero semicalmado (2), acero tapado (5), y acero efervescente (7).

Como se mencionó anteriormente, el oxígeno es el principal gas disuelto en el acero. Es este gas el que determina la producción de varios tipos de lingotes al reac-

cionar en la forma de FeO, del acero, con el carbono durante el enfriamiento y solidificación, según la siguiente ecuación:



La reacción hacia la derecha, se debe a que a la temperatura de colado, los contenidos de óxido de hierro y carbono en el acero líquido se encuentran esencialmente en equilibrio. Sin embargo, a medida que el metal se enfría, el equilibrio se modifica y la reacción procede hacia la derecha de la ecuación para restaurar el equilibrio del sistema.

Como el enfriamiento del acero en el molde se realiza de una manera continua, es imposible alcanzar un nuevo estado de equilibrio, por lo que la producción de gases es continua. Los últimos gases producidos no pueden ser capaces de elevarse fuera del lingote, y se agrupan como burbujas formando sopladuras.

Desde que la cantidad de oxígeno disuelto en el acero líquido disminuye con el incremento del contenido de carbono, es evidente que los lingotes efervescentes o tapados, que requieren la evolución de grandes cantidades de gases, no pueden resultar de aceros de alto contenido de carbono. El límite práctico, máximo, de carbono para tales aceros es de 0.30 por ciento. Los lingotes calmados y semicalmados pueden ser producidos a partir de aceros de bajo carbono y alto contenido de oxígeno adicionando desoxidantes en el acero líquido para formar escorias. Sin embargo,

en los aceros de bajo contenido de carbono, la adición de grandes cantidades de desoxidantes no solamente incrementa el costo de producción, sino que también produce gran cantidad de inclusiones no metálicas. Por eso, existen ventajas prácticas en la producción de lingotes de acero de bajo contenido de carbono siguiendo el método de efervescencia o tapado y los aceros de alto contenido de carbono por el método de calmado y semicalmado.

C.- CONTROL DE LA ESTRUCTURA DEL LINGOTE

Las discusiones precedentes han demostrado, que la estructura final de un lingote es determinado casi enteramente por el grado de desoxidación del acero con que se moldeó el lingote. Cada tipo de acero requiere una práctica diferente como se describe brevemente a continuación.

1.- ACEROS EFERVESCENTES

Para estos aceros una apropiada acción de efervescencia en la lingotera ha sido descrita como necesaria para producir un lingote con una estructura y superficie óptimas. El control de la escoria está dirigido al ajuste de la relación sílice - cal y del contenido de óxido ferroso para obtener el nivel de oxidación deseado en el baño de metal cuando la hornada está preparada para la colada. El procedimiento a seguirse dependen del porcentaje de carbono en el rango más alto (0.12 a 0.15 % C), en el rango intermedio (0.06 a 0.10 % C), o en el más bajo 0.06 % C.

Usualmente, en los aceros efervescentes, para con

tar con suficiente cantidad de oxígeno para el desarrollo de los gases, solo se adicionan pequeñas cantidades de desoxidantes. La adición se efectúa en la cuchara, no realizándo se adición alguna cuando el acero se encuentra en el horno.

El ferromanganeso puede ser añadido dentro del horno antes de la colada; pero es usual hacer esta adición dentro de la cuchara.

El aluminio, el ferrotitanio, u otros desoxidantes pueden ser añadidos en pequeñas cantidades en la cuchara cuando es necesario.

Este tipo de acero, cuando se opera adecuadamente, produce lingotes con un mínimo de rechupes y una buena superficie, aunque presenten segregación. Cuando el metal en la lingotera empieza a solidificarse hay una rápida evolución de gas formándose una corteza exterior de metal relativamente limpio. Para muchas aplicaciones como la fabricación de planchas laminadas a frío para la fabricación de carrocerías de automóviles, refrigeradoras, etc., donde se requiere un buen acabado superficial, este tipo de acero es usado en una extensión considerable.

El espesor de la corteza exterior, la ausencia de sopladuras y la magnitud de oxidación dependen de las condiciones en que se lleven a cabo las operaciones.

Para obtener las mejores condiciones, es preciso observar la acción de efervescencia del primer lingote y efectuar, si se desea, un ajuste en la acción de efervescen-

cia en el lingote subsiguiente adicionando perdigones de aluminio o materiales gasificadores (escamas de laminación) si la proporción de oxígeno es demasiado alta o demasiado baja. Si el acero se encuentra sobre desoxidado (contenido de oxígeno demasiado bajo), la acción de efervescencia será lenta al principio e incompleta debido a que la evolución es pequeña en volumen.

2.- ACEROS TAPADOS

Este tipo de acero es una variante de la seguida con los aceros efervescentes. El acero es vaciado en lingoteras derechas con topes de tipo botella que facilita la operación de tapado. El método, al igual que en el acero efervescente, empieza con la acción de efervescencia, pero al transcurrir un minuto o más, esta acción es interrumpida por la cobertura de la lingotera con una tapa de fierro fundido. La adición de solo una pequeña cantidad de perdigones de aluminio durante el vaciado asegura que el nivel del acero ascenderá para ejercer presión contra la tapa. Es recomendable que la proporción de oxígeno del acero vaciado en la lingotera no sea mayor, y en lo posible, ligeramente menor que el nivel deseado para los aceros efervescentes. El lingote tapado tiene una zona exterior que se encuentra relativamente libre de sopladuras, y una zona central que tiene menos segregación que la que presenta un lingote de acero efervescente del mismo volumen. En los aceros que tienen un contenido de carbono mayor que 0.15 % C, se usa con ventaja, la práctica de lingote tapado.

Los aceros de este tipo son utilizados para la

producción de bandas, planchas, flejes para tubos, planchas estañadas, alambres y barras.

3.- ACERO SEMICALMADO

Este acero es menos desoxidado que el calmado; en el metal fundido hay suficiente oxígeno para reaccionar con el carbono y formar gases después de que el acero es vaciado en las lingoteras. Los aceros semicalmados encuentran una amplia aplicación como formas estructurales, planchas, y barras mercantiles. Este acero tiene generalmente un contenido de carbono dentro del rango de 0.15 a 0.30 % C.

La práctica usual es reducir el contenido de carbono del acero dentro del horno al nivel deseado. El ferromanganeso puede ser añadido en el horno, en la cuchara, o a ambos lugares. El carbono, el ferrosilicio y el aluminio pueden ser añadidos a la cuchara. Usualmente, la mayor desoxidación se produce en la cuchara, de manera que solamente unas pocas decenas de gas de aluminio por tonelada de acero son añadidas en la lingotera.

4.- ACERO CALMADO

El término "calmado" indica que el acero ha sido desoxidado suficientemente como para que no produzca eferescencia cuando es vaciado en una lingotera. En este caso, no se produce evolución de gases en la lingotera, y la superficie superior del lingote se solidifica con relativa rapidez. El acero calmado se utiliza generalmente cuando se requiere que el metal terminado posea una estructura ho-

mogénea. Los aceros de aleación, los de forjado y los de carburización pertenecen a este tipo. En general, todos los aceros con más de 0.30 % C. son calmados.

La práctica usual en estos casos es disminuir el contenido de carbono del baño al nivel deseado y luego "bloquear" la hornada adicionando arrabio de alto contenido de silicio (15 a 25 % Si), ferrosilicio de 50 % Si, o silicio-manganeso; o también colar sin bloqueamiento, dependiendo sólo de la desoxidación que se produce en la cuchara. El bloqueamiento disminuye el contenido de oxígeno del metal líquido, previniendo la oxidación del carbono y de los elementos de aleación susceptibles de oxidación, éstos son añadidos después del bloqueamiento de la colada.

En la parte final del período de refinación, el contenido de carbono habrá sido bajado al nivel requerido para el colado. El contenido de fósforo y azufre se encontrará por debajo del máximo especificado, el manganeso usualmente estará debajo del mínimo requerido, y la temperatura del baño será la apropiada para la composición y el grado del acero a producirse. El metal está entonces en condiciones de recibir las ferroaleaciones necesarias.

La susceptibilidad a la oxidación determina que la adición de la ferroaleación sea hecho en el horno ó en la cuchara. El manganeso puede ser añadido al horno ó a la cuchara o dividido entre los dos lugares, teniendo en cuenta que no sea tan grande como para enfriar el metal demasiado. Después de la colada, se pueden hacer otras adiciones

al acero en la cuchara. Estas completan la desoxidación del acero al grado deseado hasta el vaciado en las lingoteras. En la cuchara se agrega esencialmente ferrosilicio, aluminio y algunas veces aleaciones especiales como calcio - silicio que contienen elementos con fuerte afinidad por el oxígeno. La adición de desoxidantes puede ser hecha a los moldes según el tipo de acero. En la producción de ciertos aceros de extra - estampado profundo, un acero de bajo contenido de carbono (menos de 0.1 % C) es calmado generalmente con una cantidad sustancial de aluminio añadida sea en la cuchara o en la lingotera.

Casi todos los aceros calmados son colados en lingoteras invertidas provistas de mazarotas. Este tipo varía en las diferentes plantas y de acuerdo a los diversos grados de acero producidos en la planta. El tamaño de los lingotes varía de acuerdo a las limitaciones y capacidades de las plantas, la segregación aceptable que pueden ser tolerados y la aplicación del acero.

D.- DEFECTOS DE LOS LINGOTES

1.- RECHUPES

La cavidad de contracción o rechupe, localizada en la parte superior del lingote, es más grande y más profunda en los lingotes 1 y 8 en la fig. 2. Las estructuras menos extremas (lingotes 2 semicalmado y 7 fuertemente efervescente) presentan rechupes en grado menor, mientras que las estructuras intermedias (lingote 5 tapado) se encuentran práctic

ticamente libres de rechupes después de la laminación. Los lingotes calmados vaciados en lingoteras sin tapa, tienen frecuentemente la porción más baja de la cavidad de contracción, suficientemente libre de oxidación como para ser cerradas y soldadas completamente por la acción de presión y deformación de la laminación.

Si se requiere obtener lingotes en los cuales los rechupes estén concentrados en una zona dada, se emplea el método del acero calmado, utilizando lingoteras invertidas con mazarotas, como está demostrado en la figura 3. Esta figura también ilustra la extensión del rechupe en lingotes colocados en lingoteras con mazarotas o sin mazarotas y de los tipos derechos o invertidos. El material refractario con que se construye o reviste la mazarota es menos conductor del calor que la fundición de fierro con que está fabricada la lingotera, esta disposición permite que el acero, en el tope del lingote, permanezca fundido hasta que el regto del lingote se haya solidificado. El reservorio de metal líquido superior alimenta en esta forma las cavidades de contracción, sopladuras y espacios interdendríficas. Esta alimentación es más efectiva cuando se utilizan lingoteras invertidas.

Cuando se utilizan lingoteras con mazarotas, los esfuerzos para asegurar la alimentación del metal líquido durante la última parte de la solidificación del lingote son dirigidos a mantener fundido el acero el mayor tiempo posible, para lo que se emplean métodos siguientes:

Para lingoteras con mazarotas:

- Utilizando un refractario altamente aislante;
- Utilizando materiales exotérmicos como cubrimiento sobre el tope del lingote.

Para lingoteras sin mazarotas:

- Empleando un arco eléctrico en el tope del lingote.

2.- SOPLADURAS

En todos los lingotes, excepto en los de acero calmado, la evolución del gas produce, cerca a la superficie, cavidades de forma toscamente cilíndrica; y, en la parte profunda del lingote, cavidades de forma esférica. Con excepción de las sopladuras localizadas a una distancia de algunos centímetros del tope del lingote, las cavidades de soplado se encuentran generalmente exentas de oxígeno y suficientemente limpios como para soldarse completamente por presión durante la laminación. Cuando las sopladuras se extienden hacia la superficie de un lingote, o se encuentran cerca de ellas, pueden llegar a ser oxidados por el escamado de la superficie del lingote, durante el calentamiento en los Hornos de Foso.

La oxidación de las cavidades impide que puedan soldarse durante la laminación, produciendo en cambio numerosas fisuras que afectan los productos laminados.

En los lingotes preparados adecuadamente, la evolución de gases durante la solidificación es controlada de tal manera que se forma una corteza limpia y de suficiente espesor sobre las sopladuras más cercanas. Es conveniente

mencionar la utilidad de las sopladuras al prevenir o disminuir la formación de rechupes y al mejorar el rendimiento del lingote.

3.- SEGREGACION

El grado de segregación que se produce en un lingote depende de varios factores, entre los que pueden citarse: la composición química del acero, el tipo de lingote (calmado, semicalmado, tapado o efervescente) y el tamaño del lingote. Los detalles de la segregación, de la formación de cristales, y de la velocidad de solidificación de los lingotes no son considerados en este trabajo. En general, el metal que se solidifica más rápidamente cerca de la pared de la lingotera, posee aproximadamente la misma composición química que el metal líquido que penetra a la lingotera. A medida que la velocidad de solidificación decrece, el mecanismo de cambio de estado determina que los cristales más puros solidifiquen primero o sea que contengan menos carbono, manganeso, fósforo, azufre y otros elementos que el acero líquido que les dió origen; el líquido restante se enriquece por lo contrario continuamente con estas impurezas; de manera que el último material en solidificarse contiene la mayor cantidad de elementos no solidificados: La segregación se expresa frecuentemente como una desviación de la composición química promedio; así, cuando el contenido de un elemento es más grande que el promedio, la segregación es positiva y, cuando es menor que el promedio, la segregación es negativa.

Algunos elementos en el acero tienden a segregarse más fácilmente que otros; así, por ejemplo, el azufre es el que se segrega en mayor grado. En menor grado y en orden descendente, tenemos: fósforo, carbono, silicio y manganeso. La tendencia de los elementos a segregarse durante la solidificación del lingote aumenta con el tiempo de solidificación, de manera que un lingote grande exhibe mayores segregaciones que un lingote pequeño.

De la misma manera, el movimiento del acero líquido producido por corriente de convección o por turbulencias, debido a la evolución de los gases en una lingotera durante la solidificación, incrementa la tendencia de los elementos a segregarse, debido a esto los aceros calmados presentan menos segregaciones que los aceros semicalmados; y los aceros semicalmados a su vez, menos que los aceros tapados o efervescentes. En un lingote efervescente, la zona de hervido exhibe segregación negativa, mientras que la zona del núcleo exhibe segregación positiva. La interface entre las zonas central y de hervido en un lingote efervescente, es muy reducida. Estas zonas son tan diferentes con respecto a la composición química promedio que parecen corresponder a diferentes aceros.

4.- ESTRUCTURA COLUMNAR

El acero al solidificarse adquiere una estructura cristalina. Durante el vaciado el contacto del metal fundido con las paredes de la lingotera, relativamente frías, lo hace solidificarse rápidamente con una estructura caracte-

rística de pequeños cristales orientados al azar, esta es la llamada zona templada superficial de aproximadamente 12 milímetros de espesor. Después que se ha formado esta zona inicial, se comienzan a desarrollar cristales alargados llamados dendritas, que se caracterizan por su estructura típica ramificada. El crecimiento de estas dendritas individuales ocurre principalmente a lo largo de ejes perpendiculares a las paredes del lingote. Estos cristales alargados pueden llegar a extenderse hasta el centro del lingote y aquellos lingotes en los que predominan estos cristales grandes alargados son considerados como lingotes de estructura columnar. Si la estructura es exageradamente alargada es referida como "lingotismo". Los lingotes, exhibiendo "lingotismo", presentan una excesiva tendencia a la fractura durante la laminación. En la mayoría de los lingotes, sin embargo, la estructura columnar se detienen hacia el centro del lingote en que se producen cristales equiaxiales poco grandes y orientados al azar que presentan estructuras típicamente dendríficas. La proporción relativa de la cristalización dendrífica equidimensional y la cristalización de tipo columnar parece depender de muchas variables, entre las que pueden citarse: composición del acero, temperatura de la lingotera, temperatura de lingoteado, contenido de gases en el acero.

5.- FISURAS INTERNAS

Los esfuerzos mecánicos que se producen en el lingote durante el calentamiento, enfriamiento y laminación del metal pueden producir fisuras y cavidades internas, al-

gunas de gran tamaño. Cuando estas fisuras no se extienden a la superficie, pueden soldarse completamente durante la laminación posterior siempre y cuando que la cantidad de trabajo efectuado en caliente sea suficiente.

6.- GRIETAS

Cuando las fisuras, producidas por el esfuerzo de tensión, se extienden hacia la superficie o se originan en ella, producen defectos reconocibles a simple vista llamados grietas de lingote. La acción posterior del oxígeno atmosférico oxida las superficies expuestas de las grietas impidiendo que éstas puedan soldarse durante el proceso de laminación y produciendo fisuras alargadas en los productos laminados.

7.- INCLUSIONES NO METALICAS

Todos los lingotes de acero contienen inclusiones no metálicas principalmente en la forma de óxidos, en menor proporción en la forma de sulfuros. Las inclusiones provienen particularmente de las reacciones de oxidación, de los procesos de refinación y desoxidación de los materiales adicionados al metal en el horno, cuchara o lingotera. Algunas inclusiones pueden provenir de la erosión de los refractarios de la cuchara de colada.

8.- GOTAS FRIAS

En los primeros momentos, durante el colado de lingotes por el tope, el flujo de metal líquido choca con la base o fondo del molde produciendo salpicaduras contra

las partes más bajas de las paredes de la lingotera. Muchas de estas salpicaduras se adhieren y solidifican formando una masa continua en las partes más bajas de las paredes de la lingotera. La acción de salpicado disminuye a medida que se forma una masa suficiente de metal en el fondo de la lingotera. A medida que transcurre el tiempo, las salpicaduras adheridas a las paredes se enfrían rápidamente y su superficie resulta oxidada. Si el enfriamiento y la oxidación de la costra han progresado demasiado durante el tiempo en que el metal alcanzó el nivel de la costra, ellas no serán incorporadas al lingote, sino que permanecerán como costras adheridas e imperfectamente unidas a la superficie sólida del lingote. Cuando las costras son delgadas, pueden, posteriormente, sufrir oxidación al ser escamadas en el horno de foso. Cuando las costras son gruesas, resisten a la "acción de escamado" produciendo un defecto similar en los productos laminados. La capa de salpicaduras al enfriarse tiende a doblar sus bordes hacia dentro; mientras que el acero líquido asciende en la lingotera las salpicaduras son inundadas y cubiertas. Esto produce grietas horizontales llamadas "grietas de tope" que corren debajo y paralelamente a las dobladuras o pliegues y éstos pueden producir fisuras en los productos de laminación.

Los defectos resultantes de las salpicaduras, pueden ser reducidos llenando la lingotera más rápidamente, de manera que el nivel ascendente del acero líquido cubra las salpicaduras antes que éstas puedan enfriarse y oxidarse. Esto se logra usando boquillas más grandes o múltiples. Esta

práctica, sin embargo, produce dificultades mecánicas cuando se aplica en una forma extrema. El colado por fondo tiene también a disminuir estos defectos ya que el acero fundido entra a la lingotera desde un conducto vertical y tubos de distribución a través del fondo de varias lingoteras. El efecto de salpicado es pequeño, comparado con la práctica de colada por el tope.

Otro método de reducir los efectos del salpicado y contribuir, de esta forma, al mejoramiento de la superficie del lingote, es cubrir el interior de la lingotera con alguna sustancia que se volatiliza y que evita la producción de salpicaduras. Muchas sustancias han sido propuestas o probadas con este propósito, entre las que pueden citarse: el alquitrán, la brea pulverizada, el grafito, y la pintura aluminica. El alquitrán es probablemente el repelente de salpicaduras más efectivo pero tiende, bajo ciertas condiciones, a producir gases molestos. La brea pulverizada posee algunas características propias del alquitrán, y los gases que se producen son menos molestos. La gibsonita tiene igual efecto que el alquitrán y cuando se aplica apropiadamente produce un mínimo de gases.

Cuando se usan revestimientos carbonáceos, tales como: alquitrán, brea pulverizada o gibsonita, es muy importante el control de la temperatura de la lingotera. Así, por ejemplo, cuando las lingoteras están demasiado calientes, el revestimiento se descompone y la capa residual carbonizada no posee efectos beneficiosos.

Por el contrario, cuando están demasiado frías, el revestimiento es extremadamente pesado, y la excesiva cantidad de gas producido por la descomposición del revestimiento da lugar a que se produzca sopladuras en la subsuperficie del lingote.

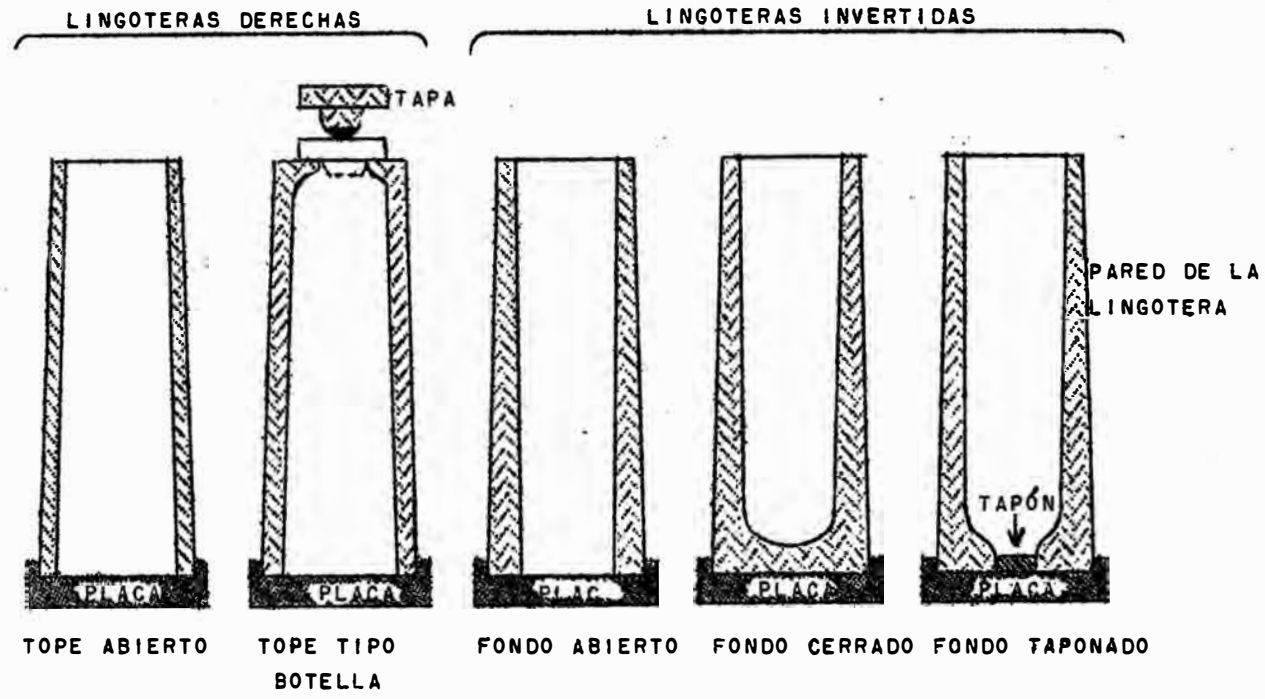


FIG. 1: SECCION RECTA DE LOS 5 PRINCIPALES TIPOS DE LINGOTERAS

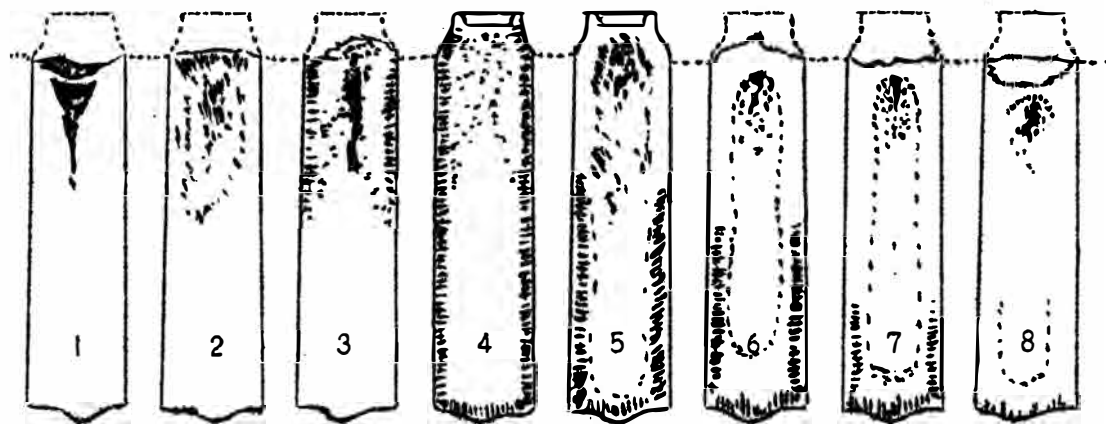


FIG. 2: SERIE DE ESTRUCTURA DE LINGOTES

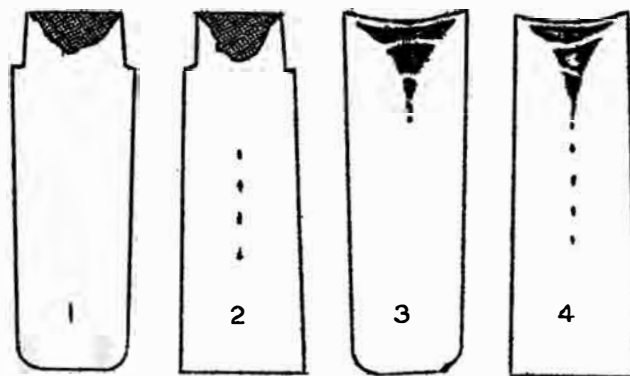


FIG. 3: TIPOS DE LINGOTES CALMADOS

LAMINADOR DUO REVERSIBLE

*Planchones producidos en un laminador
Duo Reversible*



CAPITULO II

CONSTRUCCION Y OPERACION DE LAMINADORES

A.- CLASIFICACION GENERAL

Los tres principales tipos de unidades utilizadas para laminar acero son los siguientes: Laminadores Duo, Laminadores Trío y Laminadores Cuarto, que se ilustran esquemáticamente en la figura 4. La clasificación está basada en el número de rodillos utilizados en las cajas del laminador. Un laminador Duo utiliza dos rodillos; un laminador Trío utiliza tres rodillos; y un laminador Cuarto tiene cuatro rodillos, todos los rodillos se encuentran uno encima de otro.

Cuando el laminado se realiza en una sola dirección, en un laminador Duo, y la pieza es retornada al lado de alimentación por encima del rodillo para ser laminada nuevamente, la unidad es conocida como del tipo Duo Simple.

Este tipo de laminador fué utilizado antiguamente, para la producción de planchas delgadas y planchas estañadas, y todavía es usada en instalaciones comerciales para el laminado de herramientas y aceros aleados.

En los laminadores Duo Reversibles, la dirección de rotación de los rodillos es reversible y el laminado puede realizarse alternativamente en direcciones opuestas. Las grandes mesas de trabajo con que cuentan los laminadores modernos reversibles, hacen posible la manipulación de piezas

de grandes longitudes que serían imposibles de ser trabajadas en los laminadores Duo Reversibles ordinarios o en los laminadores Trio provistos de mesas de trabajo en cada lado elevables. El laminador Duo reversible es ampliamente utilizado y con el uso de manipuladores, es posible producir planchones, tochos, palanquillas, barras redondas y secciones semiterminadas que pueden ser laminadas posteriormente a formas terminadas en otros laminadores.

En los Laminadores Trio cada uno de los tres rodillos gira continuamente en una sola dirección, los rodillos superior e inferior giran en el mismo sentido y el de enmedio en sentido opuesto. La pieza es elevada desde un nivel inferior a un nivel superior de retorno por medio de mesas de trabajo que se elevan horizontalmente, o por medio de mesas de acceso inclinables.

Usualmente los rodillos grandes, superior e inferior, son accionados mientras que el rodillo pequeño medio es movido por fricción. Este rodillo medio es aproximadamente dos tercios del diámetro de los rodillos externos para permitir su cambio a través de las ventanas de la caja de laminación.

Los laminadores cuarto son utilizados para producir materiales planos, semejantes a planchones, planchas y láminas, y representan un tipo especial de unidades para la laminación en caliente y en frío, en los cuales los rodillos superior e inferior son empleados para reforzar o absorber la carga de los rodillos pequeños de trabajo. En este tipo

de laminador, cualquiera de los rodillos de soporte o de trabajo pueden ser accionados. Los rodillos de soporte permiten operar a los rodillos de trabajo sin flexionarse, reduciendo su diámetro y haciéndolos más eficientes para la producción de planchas, bandas anchas laminadas en frío o en caliente, de medidas uniformes.

B.- ARREGLOS DE LAMINADORES

Una unidad simple de laminación puede ser de tipo Duo, Trío, o Cuarto reversible o no reversible, y representa el laminador más común para obtener un amplio rango de producción, incluyendo tochos, planchones y planchas.

Un laminador continuo consiste en varias unidades dispuestas en línea recta (una detrás de otra), los rodillos en cada unidad giran con una velocidad tangencial más grande que los rodillos de la unidad anterior: La reducción se efectúa en forma continua de manera tal que la pieza emerja de la última unidad de rodillos como un producto terminado. Este tipo de laminador es usado comúnmente para laminar bandas y planchas.

Una instalación semicontinuo incluye también un Laminador Desbastador Cuarto Reversible para la reducción previa de las piezas antes de que penetren al laminador continuo para la producción de formas terminadas. Estas instalaciones de laminación tienen una gran capacidad de producción con un costo más bajo que una instalación continua.

C.- LAMINADORES ESPECIALES

Entre los laminadores especiales podemos mencionar los siguientes:

El laminador Universal, el cual es una unidad combinada de rodillos horizontales y verticales, usualmente montados en la misma caja. Estas unidades son construídas de dos pisos (ocasionalmente de tres pisos) con grupos de rodillos verticales colocados a cualquiera de los dos o a ambos lados de la caja. Los rodillos verticales son usualmente accionados. La operación de laminación se efectúa alternadamente en ambas direcciones, invirtiendo la dirección de rotación de los rodillos. El Laminador Universal es usado ampliamente para la producción de productos planos que requieren bordes laminados.

El Laminador Planetario Zendzimir (Figura 5) para laminación en caliente, él fué proyectado para reducir planchones a bobinas. Rodillos alimentadores impulsan los planchones a través de guías, hacia el grupo de rodillos planetarios donde se efectúan las principales reducciones. El laminador Planetario es seguido por un Laminador Duo o Cuarto de acabado y enrollado de bandas.

El grupo planetario, que consiste de dos rodillos soportes rodeados, cada uno por un número de pequeños rodillos de trabajo, montados en "jaula" en los extremos. Las "jaulas" están sincronizadas de modo que cada par de rodillos de trabajo opuestos pasan a través de la línea central vertical del rodillo a un mismo tiempo y de modo que los

ejes de los rodillos de trabajo sean siempre paralelos a los ejes de los rodillos de soporte. La velocidad angular de las "jaulas" es un poco menos que la mitad de la velocidad angular de los rodillos soportes. Según se indica en la figura 5, las "jaulas" rotan en la misma dirección que el rodillo soporte correspondiente, mientras que los rodillos de trabajo rotan en dirección opuesta. En la construcción se usan diferentes relaciones entre los diámetros y en diferentes números de rodillos de trabajo por rodillos de soporte en laminadores existentes en la actualidad se emplean 18, 20, 24, 26, y 30 rodillos de trabajo por rodillo de soporte.

El proceso de laminación es cíclico. Los rodillos de trabajo hacen contacto con la porción no trabajada del planchón, luego gradualmente ejercen su acción hacia abajo, efectuando un pase de laminación en la zona de formación y finalmente rompen el contacto con el material donde éste ha alcanzado el espesor final y cuando ya el próximo par de rodillos de trabajo se encuentra en contacto con el planchón. Las fuertes reducciones capaces de ser desarrolladas por este laminador, permiten la laminación de planchones a una temperatura más baja que en las operaciones convencionales en caliente.

El Laminador Zendzimir en frío (llamado también Laminador Z) se caracteriza por diversas disposiciones de rodillos de las cuales la predominante es la 1 - 2 - 3 - 4. En este diseño particular cada rodillo de trabajo es soportado, completamente en toda su longitud, por dos rodillos intermedios primarios que son, a su vez, soportados por o-

tros tres rodillos intermedios secundarios a través de los cuales se mueven los exteriores. Estas transfieren las fuerzas de separación de los rodillos a una caja rígida de acero fundido a través de cuatro grupos de soporte. Los rodillos de trabajo son movidos por cuatro rodillos accionados por fricción a través del contacto con los primeros rodillos intermedios. El descenso de los rodillos es operado mediante la rotación de anillos excéntricos primarios dispuestos sobre los ejes de los cojinetes de los dos grupos de apoyo centrales superiores. Los montajes de los dos cojinetes centrales inferiores son equipados similarmente para permitir la ubicación del rodillo de trabajo para equilibrar la línea de paso. Los dos pares siguientes de ejes excéntricos a la izquierda y derecha, son también ajustables para mantener la capacidad de entrada del laminador y al mismo tiempo para compensar el desgaste del rodillo. En la mayoría de los laminadores Zenzimir de laminación en frío son posibles semejantes arreglos durante la operación de laminación. El ajuste axial lateral de los primeros rodillos intermedios provistos de rebajes cónicos en los extremos opuestos hace posible que el montaje del laminador sea adaptado rápidamente para la producción de bandas de varios anchos, espesores y durezas.

D.- ACCESORIOS DE LOS LAMINADORES

La mayoría de los accesorios utilizados en los laminadores son comunes a todas las máquinas de este tipo, diferenciando en diseño y operaciones para amoldarse a las condiciones particulares de laminación. Además de los rodillos,

las partes esenciales incluyen el sistema de accionamiento, ejes transmisores, piñones, cajas de piñones, acoplamientos de ejes; chumaceras de impacto, tornillos de ajuste y mecanismos de descenso de rodillo, canteadores, mesas de trabajo de entrada y salida, manipuladores y resguardos laterales, guías de laminación, dispositivos para cambio de rodillos, etc. Los laminadores modernos también pueden estar equipados con diversos mecanismos de control como medidores de presión y mecanismos automáticos de balance de rodillos. A continuación se describen los accesorios principales con que cuenta un laminador. La figura 6 muestra el diagrama de una sección recta de un laminador desbastador reversible de alta carga.

1.- EJES DE ACCIONAMIENTO

Son utilizados para conectar el motor primario con los piñones, y puede ser de tipo universal, también de acoplamiento corto o largo con cojinetes portadores, dependiendo de la posición del motor en el equipo.

El eje de accionamiento es unido al piñón inferior de los Laminadores Duo, y al piñón central en los Laminadores Trio. La conexión a cualquier extremo del eje puede ser hecha mediante una caja de acoplamiento. La caja de acoplamiento es ubicada deliberadamente en un lugar de poca resistencia ya sea sobre el eje de accionamiento o los ejes en el extremo del cilindro. En caso de una extremada sobrecarga del laminador, el acoplamiento se rompe desconectando el motor del laminador.

2.- PIÑONES

Los piñones sirven para transmitir la potencia del eje de accionamiento entre dos o tres rodillos, moviendo el rodillo adyacente en dirección opuesta. Si se emplean motores gemelos no se requiere el uso de piñones debido a que la potencia es transmitida directamente a cada rodillo. Antiguamente se usaban piñones provistos de dientes rectos, pero actualmente se ha generalizado el uso de dientes helicoidales dobles. Los engranajes helicoidales dan un movimiento más uniforme y continuo, ya que, en todo momento, alguna parte de la superficie de sus dientes, se encuentran en contacto entre sí. Cuando se utilizaban piñones de diente recto, la operación de laminación se caracterizaba por la continua vibración del sistema de transmisión, la cual, al transmitirse a los rodillos, producía marcas en las piezas sujetas a laminación.

Los piñones de acero fundido y forjados son montados en cojinetes con metal antifricción babbit encerrados en cajas similares a aquellos usados para los terminales de rodillos. La caja de piñones debe poseer resistencia suficiente para que pueda soportar el efecto de sobregiro y torque transmitido por el motor. Las cajas deberán ser selladas para eliminar la introducción de costras e inmundicias proveyéndose de lubricación forzada para los piñones. Exceptuando los laminadores de planchas de accionamiento directo y universales, la distancia entre los centros de los piñones determinan el tamaño de los rodillos de laminación. Los piñones absorben alrededor de 6 % de la potencia transmiti-

da por el motor.

3.- E J E S

Los ejes son usados para conectar los piñones con los rodillos en el caso de que los laminadores no sean del tipo de accionamiento directo; en el caso de que el laminador sea de accionamiento directo, el eje es conectado directamente a los motores.

Los ejes son hechos de acero fundido y forjados, y son ajustados en cada extremo con acoplamientos similares a aquellos utilizados en los rodillos o con acoplamientos universales, dependiendo del tipo de laminador. El eje inferior gira sobre soportes balanceados por resortes y el eje superior es soportado en su centro de gravedad por barras soportes balanceadas hidráulicamente o mediante contrapesos. Los ejes son soportados por cojinetes de metal babbit y otra aleación y su inclinación debe ser limitada formando un ángulo con la horizontal, tan pequeño como sea posible para prevenir excesivas pérdidas de potencia.

La operación de laminación presenta dificultades si se opera con un eje cuya inclinación respecto a la horizontal, es mayor de 15 grados. Esta condición debe ser mantenida dentro de los límites deseados, incrementando en caso necesario la longitud de los ejes. Cuando el ángulo que hace el eje es mayor que 6 ó 7 grados, se usará un acoplamiento universal, en cuyo caso los extremos de los acoplamientos de transmisión angular son labrados en forma de una porción de esfera para darle la forma redondeada que pueda

permitirles trabajar a diferentes ángulos, y el eje es soportado por el asiento de la chumacera en un soporte que pueda subir o bajar con el rodillo superior manteniendo uniforme el accionamiento.

4.- COJINETES

Los cojinetes tienen como finalidad soportar el muñón del cilindro y enderezar los rodillos, y pueden ser de dos tipos generales: Cojinetes de rodillos "a Ruleman" o el viejo cojinete relleno con metal antifricción tipo chock.

El cojinete "a ruleman" fue usado por primera vez en laminadoras en Checoeslovaquia en 1921 y en Suecia en 1922. En América, el uso del Cojinete de rodillos se aplicó en general a los laminadores de trabajo en frío para bandas y chapas, y su adopción se hizo extensiva desde 1932. El desarrollo de este tipo de cojinete fue lento, debido a las dificultades que tuvieron que ser vencidas a saber:

- 1.- Obtener el diámetro adecuado de los muñones de los rodillos para que puedan resistir el peso de los rodillos.
- 2.- Mantener los muñones de los rodillos libres de deterioro.
- 3.- Adecuar los cojinetes para permitir rápidos cambios de rodillos.
- 4.- Lograr que los cojinetes permitan ajustar los rodillos

lateral y verticalmente.

- 5.- Lograr que los cojinetes sean auto-ajustadores para compensar pequeños cambios en la forma de los rodillos causados por calentamiento y por doblado.
- 6.- Ampliar la capacidad de arrastre de los cojinetes.
- 7.- Tomar provisiones para, en caso de ruptura de un rodillo, defender los cojinetes sanos de aquellos que se estaban dañando.

El uso de los cojinetes "a Ruleman" es ahora común en los nuevos laminadores, sin embargo, no han podido reemplazar enteramente a los cojinetes tipo "chock", los cuales poseen la ventaja de una construcción más simplificada. Los modernos cojinetes a ruleman están demostrando una larga vida, con el resultado de un bajo costo por tonelada de producto. Se puede esperar que los laminadores equipados con cojinetes a ruleman utilicen de 15 a 20 por ciento menos potencia que los laminadores que utilizan cojinetes convencionales de bronce o metal antifricción. Asimismo, el uso de cojinetes a ruleman, determina una reducción en el servicio de mantenimiento del laminador.

Los cojinetes chock usualmente son construídos en dos partes, el cojinete con la superficie de su revestimiento en contacto con el muñón del rodillo y el bloque de impacto (chock) que mantiene el cojinete contra el muñón del rodillo. Los cojinetes pueden ser rellenados con babbit, pueden ser hechos de latón o bronce insertado o también pueden

ser contruidos de materiales no metálicos o de resinas fenolíticas.

Los cojinetes que emplean resinas fenolíticas son de tipo laminado y operan utilizando agua como lubricante. Estos cojinetes han reemplazado a los que emplean bronce y babbit en diversos tipos de laminadores, como desbastadores, laminadores de planchas, laminadores de productos estructurales y laminadores trío de chapas. Cojinetes de madera dura que utilizan agua como lubricante, han sido usados también exitosamente por ciertos laminadores. Las ventajas de los cojinetes de resina fenolítica y los cojinetes de madera son: su mayor duración, facilidad para su lubricación y menor requerimiento de potencia. La conductibilidad de calor en tales cojinetes es muy baja, y el calor generado por fricción deben ser eliminados continuamente con un adecuado enfriamiento por agua.

5.- CAJAS

Las cajas de laminadores pueden ser hechos de fundición de fierro o de acero dependiendo del tamaño de la unidad y de la resistencia requerida. Generalmente las cajas son contruidas de acero fundido recocado o de planchas y planchones de acero.

Las cajas del laminador están provistas en sus columnas de aberturas llamadas ventanas, las cuales sirven para alojar los cojinetes. Las cajas del laminador pueden ser de tope cerrado (O) o de tope abierto (U). En el primero, la base, las dos columnas y el tope, constituyen una so

la pieza, mientras que, en el último, el tope forma una parte separada la cual puede ser cambiada. La base de la caja del laminador tiene un resalte en cada lado para formar las patas y, en la parte inferior de cada pata existe un canal, las cuales encajan en zapatas de dirección paralelas a los rodillos. Las columnas de las cajas son fijadas a las zapatas por medio de pernos especiales. A su vez, las zapatas son fijadas firmemente a la base del laminador por medio de pernos largos. Este método permite que la caja del laminador sea movida lateralmente, y facilita el alineamiento de los laminadores. Varillas de tensión mantienen en posición firmemente los topes de las cajas. En el caso de cajas abiertas en la parte superior, el tope puede ser fundido en una sola pieza para las dos columnas. Similarmente se pueden colocar varillas de tensión en la parte inferior de la caja.

Canales u otras aberturas en el lado interior de cada columna de la caja del laminador, sirven para recibir el soporte para los resguardos y guías, estos soportes están usualmente en la forma de barras de descanso cuadradas, las cuales se extienden desde una a otra columna en el frente de los rodillos. La inmensa presión aplicada a los rodillos entre el tope y el fondo de las cajas actúa como una fuerza de tracción o tensión vertical en las columnas o postes del laminador. La resistencia que ofrecen las columnas a este tipo de esfuerzos constituye un factor en la capacidad de reducción que puede ser efectuada en una pasada y también el grado de precisión del espesor de la pieza.

6.- TORNILLOS DE PRESION

Es usado en los laminadores para mantener el rodillo superior en una posición correcta, durante cada pase de laminación, excepto en los laminadores continuos y en los laminadores Trio en los cuales se usa un solo paso directo. El rodillo superior es ajustado por tornillos que se extienden hasta el tope de cada columna del laminador. Los cojinetes adaptados a los tornillos de presión son del tipo antifricción. La transmisión de la potencia se realizaba al principio por acción hidráulica, pero en los laminadores actuales, la velocidad de operación ha sido incrementada mediante el uso de accionamiento eléctrico. Así, por ejemplo, en una instalación moderna, la velocidad de elevación o descenso del rodillo superior es del orden de los 10 metros por minuto; mientras que en los laminadores antiguos no pasaba de un metro por minuto.

7.- CANTEADORES O RODILLOS DE CANTEAR

Los canteadores o rodillos de cantar son usados para laminar los bordes de la pieza. En el caso del laminador Universal la unidad de cantar puede ser una caja de rodillos separados o unidos a la caja horizontal. La unidad de cantar consiste de dos rodillos, montados verticalmente, que son manipulados por tornillos de ajuste del mismo tamaño que se muevan simultáneamente en direcciones opuestas en relación a la línea central del laminador. Cada rodillo es accionado a través de un mecanismo de tornillo de ajuste hacia abajo, semejante al usado sobre el tope del rodillo ho-

horizontal de un laminador tipo reversible o laminador tipo universal, pero de movimiento horizontal en vez de vertical.

8.- MESAS DE RODILLOS ANTERIORES Y POSTERIORES

Las mesas de rodillos, como su nombre lo indica, son alargadas y provistas de un número de rodillos de poco diámetro espaciados igualmente y cuyos ejes paralelos entre sí se encuentran situadas en el mismo plano. Tienen la finalidad de alimentar o recibir las piezas antes y después de cada pase de laminación. Sus velocidades están sincronizadas con las velocidades de los rodillos laminadores teniendo la misma longitud. Los ejes son de construcción sólida para soportar los fuertes impactos producidos durante la carga y volteo de la pieza. Actualmente los ejes de los rodillos de las mesas son construidos de acero forjado, montados en cojinetes a "ruleman" y provistos de un sistema de lubricación automática. Los rodillos de las mesas usualmente son accionados eléctricamente por un eje de transmisión a través de engranajes de 45 grados.

9.- MANIPULADOR

El manipulador consiste de un par de resguardos laterales que se mueven transversalmente a los rodillos de las mesas de trabajo ubicadas a ambos lados del laminador. Los manipuladores sirven para voltear la pieza después de cada pase, para guiar la pieza y para enderezarla cuando sea necesario. La mayor parte de los manipuladores son construidos de tal manera que permitan movimientos horizontales y verticales limitados; generalmente estas unidades

son operadas por fuerza hidráulica o eléctrica. Según el tamaño del lingote o de la sección de la pieza por manipular, la altura de los resguardos laterales puede alcanzar hasta 1,200mm. El levantado o volteo de la pieza es efectuado por dedos volteadores dispuestos sobre los manipuladores e incorporados a las guías o resguardos hacia el lado de movimiento. Estos dedos están provistos de un mecanismo de palanca para levantar la pieza por una esquina y hacerla girar 90 grados (Figura. 7).

10.- CAMBIADORES DE RODILLOS

La construcción de mecanismos de cambio de rodillo dependen del tipo de armazón o caja de los laminadores. En una caja de tope abierto, los rodillos de laminación son cambiados por la parte superior conjuntamente con el tope o separadamente mediante un elevador de grúa. En las cajas de tope cerrado el cambio de rodillos se efectúa a través de las ventanas de la caja en tres formas:

Por una barra portadora contrapesada.

Por un garfio en "C".

- Dispositivos especiales.

Todos estos métodos requieren servicios de grúas puentes para manipular los rodillos uno a uno. En algunos laminadores modernos grandes, se usa un equipo cambiador para extraer los rodillos usados e instalar en su lugar los rodillos nuevos. El equipo funciona en una instalación permanente, nivelado con el umbral de la caja del laminador.

Tanto el rodillo superior como el rodillo inferior, con sus respectivos cojinetes, son retirados simultáneamente. El equipo nuevo incluyendo rodillos nuevos y cojinetes, son montados mediante una grúa puente en el equipo y son empujadas a su ubicación en la caja del laminador.

E.- DISEÑO Y MANUFACTURA DE LOS RODILLOS DE LAMINACION

1.- PARTES PRINCIPALES DE LOS RODILLOS

Entre las partes esenciales de un laminador, los rodillos son los de mayor importancia, porque controlan la reducción y el formado del acero. Un rodillo comprende tres partes a saber:

El cuerpo que efectúa la laminación;

Los muñones que soportan el cuerpo y absorben los esfuerzos producidos por la laminación;

Los acoplamientos de transmisión angular, donde se aplica el accionamiento a través de ejes de ajuste loco y cajas.

Para la producción de planchas, chapas y bandas se usan rodillos de superficie plana.

2.- DISEÑO DE RODILLOS

Cuando se ha aprobado la laminación de una nueva sección, se prepara un dibujo detallado el que es enviado al diseñador de rodillo, junto con las instrucciones del caso.

En la mayoría de los casos se comienza por la preparación de un modelo de la sección terminada en frío. La construcción del modelo es realizada con la mayor precisión por un artesano experto llamado acabador de modelos. Como las piezas son obtenidas por laminación en caliente, se produce una cierta contracción al enfriarse dichas piezas. Las contracciones que se producen varían con las diferentes temperaturas de terminado, pero, en el promedio, alcanzar a 0.06 mm/cm.

En los diseños de los pasos o canales del rodillo es costumbre trabajar desde el paso terminador hasta el paso inicial. El diseñador de rodillo determina la corrección del diseño por este método, trazando los pasos de acuerdo a su mejor conocimiento y experiencia.

Cuando los modelos han sido preparados, se ordena la fundición de los rodillos a partir de los dibujos. Las piezas fundidas son torneadas de acuerdo al diseño de los rodillos para un encaje exacto de los modelos. Los rodillos son fundidos a partir de fierro o acero, con o sin elementos de aleación, de acuerdo al uso a que están destinados.

En los diseños de los rodillos hay muchos puntos a observarse para que el diseño sea satisfactorio; así por ejemplo:

A menos número de pasos de laminación corresponde un menor costo de rodillo.

El grado de reducción por paso, sin embargo, debe

estar de acuerdo al diámetro de los rodillos y a la capacidad de calentamiento previo de las piezas, de manera que el número de las fracturas sea pequeño, y se evite el uso de una potencia excesiva.

Los canales deben ser diseñados con suficiente inclinación en sus diversas partes, de modo que pueden ser tallados en el modelo con la menor reducción en el diámetro.

Un buen diseño debe tomar el rendimiento en consideración. El rendimiento es definido como el porcentaje de producción de buena calidad obtenida a partir del total de material entrante.

El tonelaje de material laminado que debe obtenerse de los rodillos también es importante. Un diseño que permite laminar el tonelaje más grande de material antes que se desechen los rodillos por reducción de su tamaño determina el más bajo costo de laminación.

La maleabilidad de las diversas clases de material deben ser tomadas en consideración debido a las variaciones que existen en los aceros. La velocidad de los rodillos debe ser considerada también en el diseño: una velocidad alta, en muchos casos, limita la extensión de la pieza; y una baja velocidad la incrementa. El uso de bajas velocidades permiten efectuar fuertes reducciones por pase mientras que el empleo de altas velocidades obliga a menores reducciones por pase.

La temperatura del rodillo es un factor importan-

te. Un rodillo de un diámetro grande es resistente y permite fuertes reducciones por pase sin fracturarse, y debido a la mayor área de contacto con la pieza, permite también una entrada fácil de la pieza. Los rodillos de diámetros pequeños requieren menor potencia para operar, reducen el ancho de la extensión e incrementan el alargamiento de la pieza; presentan el inconveniente de ser más fácilmente fracturables y de poderse obtener grandes reducciones ya que el área de contacto entre la pieza y los rodillos es muy pequeño.

Todos los puntos anteriores y otros más deben ser considerados para la obtención de un óptimo diseño de rodillo.

3.- FUNDICION DE RODILLOS LAMINADORES

La selección de un rodillo apropiado es de suma importancia en el proceso de laminación. En general, las unidades primarias, tales como el laminador de planchones, requieren un tipo de rodillo que posea alta resistencia. Tales rodillos sufren grandes impactos y extremas presiones durante la laminación de grandes lingotes para obtener grandes reducciones en su sección. El calor de los lingotes transmitidos al rodillo también tienen una tendencia a causar fracturas superficiales o grietas térmicas debido a las expansiones diferenciales de la superficie. La resistencia y la tenacidad de los rodillos deben ser suficientes como para impedir un desarrollo adicional de estas grietas.

En los laminadores primarios, en los laminadores secundarios y en los laminadores terminadores, los rodillos

empleados generalmente son de pequeño diámetro, pudiéndose utilizar metal endurecido, en la forma siguiente:

Para el desbastado: rodillo de acero al carbono y rodillo de acero aleado.

Para laminación intermedia: rodillos de fundición de fierro y rodillos de acero aleado.

Para laminadores terminadores: diversos rodillos de fundición de fierro.

Específicamente, sin embargo, los rodillos deben ser fabricados de acuerdo a los requerimientos de cada laminador individual. Por esta razón, dos fabricantes no utilizan exactamente el mismo procedimiento para el mismo tipo de rodillo, y cada uno debe aplicar sus propias especificaciones en cada caso.

a) Rodillos de Acero

En el proceso de fabricación de rodillos de acero por fundición y moldeo, debe asignarse la mayor importancia al control de la solidificación direccional del metal fundido en el molde después de la colada. Para asegurar una resistencia adecuada de la pieza fundida, la solidificación debe producirse gradualmente de las secciones rectas más pequeñas a las más grandes. Los vacíos producidos en las contracciones que ocurren durante la solidificación deben ser compensados por la alimentación por gravedad del metal todavía líquido, desde las regiones no solidificadas adyacentes. Las cavidades de contracción del interior de las secciones

grandes, últimos en solidificarse, son rellenas de metal líquido por un "alimentador principal" o "cabeza caliente" de gran volumen que actúa como reservorio (Figura 8). Para conseguir la alimentación por gravedad durante el proceso de solidificación, así como para satisfacer requerimientos mecánicos, la cabeza caliente se coloca sobre el tope del molde del rodillo el cual ha sido colocado en posición vertical. Sin embargo, debido a los requerimientos del diseño, y al procedimiento establecido de colocar el extremo de accionamiento del rodillo hacia abajo, no se obtienen los resultados esperados. En estos casos, se deben utilizar medios artificiales para controlar el enfriamiento de los moldes. Esto puede ser hecho de varias maneras, una de las cuales consiste en aumentar el área de las secciones que son demasiado pequeñas para solidificar adecuadamente en relación al resto de la pieza, otro método consiste en incrementar la velocidad de solidificación insertando bloques de metal, anillos o segmentos llamados enfriadores en el molde, próximos a la superficie en contacto con la fundición. Debe tomarse en consideración también el hecho de que, además del incremento de la velocidad de enfriamiento, la colocación de enfriadores promueve la formación de una compacta y refinada cristalización superficial en el área de contacto con el molde, lo cual, en la mayoría de los casos, es muy deseable porque aumenta la resistencia. Aunque el moldeado y el vaciado del rodillo se realizan con meticoloso cuidado, frecuentemente, partículas de arena del molde son atrapados accidentalmente en la superficie, originando defectos de superficie, los que deben ser eliminados por un maquinado sub

siguiente. Los rodillos son fundidos con una pequeña sobre medida en sus dimensiones y el material extra por maquinar debe ser de tal espesor que la corteza resistente, formada por el tratamiento térmico no sea eliminada por el trabajo de maquinado subsiguiente.

El paso inicial en la manufactura consiste en examinar los planos de diseño de los rodillos. La composición y el tratamiento térmico se determina a partir de los requerimientos indicados. El modelo es fabricado aplicando las consideraciones mecánicas y metalúrgicas discutidas anteriormente. El modelo es una madera plana, tallada en un borde para comunicar la forma del contorno longitudinal del rodillo modificado para la fundición. El otro borde está provisto con aditamentos para el fijamiento del molde a un eje. El siguiente paso es ordenar el plan de manufactura a la sección de operación.

Las cajas de acero que forman el recipiente de los moldes del rodillo son de forma cilíndrica, y están diseñadas para separarse longitudinalmente en dos mitades. La arena de moldeo debidamente seleccionada y preparada es apisonada dentro de cada mitad, después de lo que el modelo montado sobre el eje es unido a la mitad de la caja de moldear y rotada, cortando la arena delante de él a la forma del contorno. El mismo procedimiento es usado en la segunda mitad del molde.

Después las mitades de los moldes son calentados en hornos de secado a temperaturas algunas veces sobre 200°F

para eliminar la humedad y unificar el molde.

La Figura 8 demuestra la sección vertical de un molde para un rodillo de acero aleado, de un laminador desbastador, en posición para el vaciado. Los rodillos son vaciados por el fondo y el metal penetra al muñón inferior a través de una entrada tangencial a su periferia. Esto produce un movimiento circular ascendente del metal fundido a medida que entra en el molde. Esta acción centrífuga tiende a concentrar las impurezas y partículas extrañas en el centro del molde, trasportándolas hacia la cabeza caliente en la parte superior del molde. La línea punteada mostrada en la Figura 8 representa el perfil del rodillo terminado. El exceso de metal en la parte superior es cortada con llama oxiacetilénica, sea previamente a la operación de maquinado o durante esta operación. La cavidad en la cabeza caliente es formado por el descenso del metal fundido hacia el cuerpo del rodillo para compensar la contracción producida por la solidificación.

Cuando se utilizan anillos templadores su función más importante es proporcionar una estructura de grano fino más resistente en la superficie de desgaste del rodillo.

Después del desmoldeado, los rodillos se encuentran listos para su tratamiento térmico. Este varía con el tamaño y composición de los rodillos. Por ejemplo, para un laminador desbastador, un rodillo de acero aleado cromo-molibdeno con 0.80 a 0.90 % C, 0.70 a 0.80 % Mn, 0.25 a 0.30% Si, 1.0 % Cr, 0.25 a 0.30 % Mo. y un máximo de 0.04 % P y S.

Después de solidificado y desmoldeado, el rodillo es llevado al horno de tratamiento térmico y calentado lentamente en una forma gradual y uniforme hasta alcanzar 925°C , se deja enfriar en el horno hasta los 540°C , y luego se recalienta nuevamente a 840°C . En este punto, el rodillo es sacado del horno y enfriado al aire hasta los 540° , luego es colocado una vez más en el horno y calentado de nuevo a 675° después de lo que se deja enfriar a 150° y se le extrae del horno.

Después del tratamiento térmico, el rodillo va al torno para la eliminación del material sobrante acumulado sobre el muñón superior y luego se tornea a la forma y medidas especificadas. Cualquier defecto que no pueda ser eliminado por el maquinado al torno, originará el rechazo del rodillo.

Un tipo especial de rodillo de acero aleado es el compuesto. Estos son usados como rodillos de soporte en los laminadores cuarto y en los laminadores de planchas y bandas. El rodillo de soporte sólido usado en los grandes laminadores cuarto presenta dificultades para la fundición. El enfriamiento desigual entre la superficie externa y el centro del rodillo produce formación de grietas en la pieza fundida. En el rodillo compuesto, el árbol central o mandril es de diámetro relativamente pequeño, siendo más fácil para fundir; también tiende a enfriarse de manera más uniforme que los rodillos sólidos de grandes diámetros y están menos expuestos a deformarse y fracturarse. La coraza exterior también se manufactura fácilmente y, debido a su construcción,

puede ser tratada térmicamente para hacerla más dura que el árbol. En algunos casos, los rodillos sólidos que han sido desgastados en servicio son reducidos aún más en diámetro, son ajustados con camisas y vueltos nuevamente al servicio.

Otro tipo de rodillo de laminador es el de acero forjado, a partir de un lingote de dimensiones adecuadas; este rodillo es normalizado en un horno de tratamiento térmico siendo después torneado a las medidas especificadas. Un hueco es taladrado longitudinalmente a través del centro del rodillo, para facilitar su endurecimiento por templeado, después de un calentamiento a la temperatura necesaria. Estos rodillos son utilizados generalmente para el laminado en frío de materiales planos, siendo su composición típica la siguiente:

0.85 % C; 0.25 a 0.30 % Mn; P 0.05 mx P, 0.05 mx S; 0.25 a 0.30 % Si; 1.60 a 2.50 % Cr ;
0.25 % Mo. y trazas de vanadio.

b) Rodillos de fierro

Los rodillos contruidos de fundición de fierro difieren de los de acero principalmente en el contenido de carbono; el rodillo de acero tiene de 0.30 a 2.50 % C, mientras que los de fierro tienen de 2.50 a 3.50 % C.

En la manufactura de los rodillos de fundición de fierro se emplean diversas composiciones para obtener las características de dureza, resistencia y profundidad de la estructura de granos refinados. La tabla N^o 1 muestra composiciones químicas para varios tipos de rodillo.

Una carga normal para el horno de fabricación de rodillos de fundición de fierro, incluye 25 % de arrabio y 75 % de rodillos gastados, desechos y cortes de cabezas. Cuando se desea un contenido de carbono más bajo, se utiliza chatarra de acero como parte de la carga. También se utilizan aleantes como nickel, cromo y molibdeno, como parte de la carga en los casos necesarios.

Cuando el metal se encuentra fundido y suficientemente caliente, se toman dos muestras, una para el análisis químico y otra para ensayos físicos, el cual es enfriado y partido. Del análisis químico y de las pruebas físicas de la pieza de acero, el metalurgista determina las adiciones necesarias para cada tipo de rodillos.

El metal líquido es vaciado en una cuchara y cuando ha alcanzado la temperatura correcta ($1330 - 1450^{\circ}\text{C}$), es vertido dentro de los moldes previamente preparados. Después de enfriarse de uno a cuatro días, los rodillos son desmoldeados, tratados térmicamente si es necesario, y maquinados de acuerdo a las especificaciones.

c) Rodillos endurecidos superficialmente

La Figura 9 muestra un molde para fundir un rodillo de superficie plano o un rodillo de superficie acanalada, en el que los moldes son maquinados a partir de una forma sólida. Los acoplamientos de transmisión angular y muñones son fundidos en moldes de arena pero el cuerpo del rodillo es formado por cilindros de fundición de fierro, de paredes gruesas, conocidos como enfriadores. El propósito de

estos enfriadores es originar un enfriamiento rápido de la fundición de hierro después del vaciado. Cuando la fundición de hierro es enfriada lentamente, el carbono en exceso de 0.82 % C que se encuentra en solución se separa como grafito y se distribuye por toda la masa del lingote. Cuando la fundición es enfriada rápidamente desde el estado líquido, el carbono se combina con el hierro para formar cementita (Fe_3C) un compuesto muy duro y de color blanco. La profundidad de endurecimiento de la superficie del rodillo, debido al rápido enfriamiento del metal en contacto con el molde templador, depende de la composición química del hierro. A medida que el molde se va enfriando, el carbono empieza a aparecer fuera de la solución formando una área entremezclada inmediatamente debajo del casco duro que consiste de una mezcla de grafito, cementita y hierro. Como el interior del rodillo se enfría lentamente se va formando en esa zona fundición gris. Otro factor que controla la profundidad de templado es el diámetro de los rodillos. A medida que el diámetro incrementa, la velocidad de templado disminuye debido a la mayor área de la sección recta.

Para mejorar la calidad del acabado de los productos de laminación y el desgaste, se añaden varios aleantes como: níquel, cromo, molibdeno y vanadio, en proporciones adecuadas para controlar la profundidad del templado y la estructura del metal.

Como la superficie de los rodillos es dura y quebradiza, existe un límite práctico de profundidad al que un rodillo puede ser templado sin sufrir roturas durante la la

minación.

En general, las especificaciones de templado varía entre 13 mm. y 40 mm. de profundidad, de acuerdo al producto que se lamina y a la reducción de diámetro que se espera efectuar por maquinado. En caso de no alcanzar estos requisitos el rodillo es desechado como chatarra.

- Rodillos de fierro granular

Estos rodillos se usan en laminación de bandas en caliente, planchas, barras y secciones comerciales, donde los choques, temperaturas y fuerzas en juego, frecuentemente producen grietas térmicas y fracturas. En estos casos los rodillos templados no son prácticos. En los rodillos de fierro granular se adicionan elementos de aleación como cromo y níquel para controlar la dureza e incrementar la resistencia y también silicio u otros grafitadores para oponerse a la formación de una zona templada definitiva. Aún cuando estos rodillos no son de la misma calidad de acabado obtenido con un verdadero rodillo templado, la estructura refinada es más profunda, lo que significa un incremento de su resistencia. Los rodillos de tipo granular son más dúctiles y su zona de fundición gris es más extensa creciendo progresivamente desde la superficie hacia el centro. Esta estructura menos deseable puede determinarse u observarse cuando se cortan los pases profundos de moldeo en la superficie del rodillo. Para evitar estos inconvenientes los rodillos para pasos profundos son moldeados similarmente a los rodillos de acero, utilizando anillos enfriadores.

- Rodillos "rebalzados"

Son rodillos manufacturados con altos contenidos de elementos de aleación, 1.5 a 2.5 % Cr y 4.0 a 5.0 % Ni con una dureza escleroscópica de 75 a 90 y son usados en los laminadores de reducción en frío y en las unidades terminadoras de algunos laminadores de bandas en caliente.

Si estos rodillos fueran moldeados como una pieza sólida, tendrían muñones duros y no maquinables por las características de la aleación; estos inconvenientes son salvados usando un método diferente de vaciado como se señala en la Figura 10. En este método se prepara el molde de la manera normal excepto que se conecta una canaleta a la cavidad del muñón superior situado a unos centímetros encima del cuerpo del rodillo. El metal de aleación rica es vaciado hasta alcanzar la canaleta de salida, punto en el cual se detiene el vaciado; se adiciona luego una pequeña cantidad de metal fundido de una composición que produzca un metal más blando que el primer metal de aleación rica, para preservar el bebedero de la solidificación. Después que ha transcurrido un tiempo predeterminado se continúa el vaciado del hierro "blando", el cual arrastra al metal duro, todavía fundido, hacia un recipiente externo por medio de la canaleta. Cuando se ha introducido suficiente hierro blando, para arrastrar hacia afuera el metal todavía fundido en el centro del rodillo, se detiene el vaciado y se inserta un tapón en la canaleta de rebalse. El mismo hierro blando usado es luego introducido en el muñón superior, ya sea vaciando directamente hacia abajo a través del muñón o de una

entrada, unido al muñón superior en un punto situado sobre la canaleta.

Un rodillo vaciado por este método tendrá una superficie de grano fino extremadamente dura de una profundidad de 25 a 50 mm. Los muñones son maquinables pero la parte central del rodillo será más resistente. El hierro duro quebradizo ha sido reemplazado o diluido por el "fierro blando".

- Rodillos de fierro dúctil

Debido a los recientes avances en el campo de producción de fundiciones "dúctiles" o "modulares", algunos fabricantes han producido rodillos por la adición al metal de magnesio o componentes de tierras raras.

La notable tenacidad que muestra este hierro, resulta de la estructura modular del grafito libre, diferente a las típicas laminillas de grafito que se encuentran en las fundiciones grises. Este tipo de metal es tratado térmicamente, desarrollando propiedades de resistencia y ductibilidad, aproximadamente semejantes a las del acero.

COMPOSICIONES TÍPICAS Y USOS DE RODILLOS DE HIERRO

| T I P O | CARBON (%) | MANGANESO (%) | SILICIO (%) | FOSFORO (%) | AZUFRE (%) | CROMO (%) | NIQUEL (%) | MOLIBDENO (%) | DUREZA ESCLEROSCOPICA | U S O S |
|----------------------------------|------------|---------------|-------------|-------------|------------|-----------|------------|---------------|-----------------------|--|
| TEMPLADO PLANO | 2.90-3.30 | 0.20-0.25 | 0.60-0.70 | 0.45 | 0.08 | -- | -- | 0.25 | 58-70 | LAMINADORES DE PLANCHAS, PRODUCTOS MERCANTILES. |
| TEMPLADO REGULAR CON NIQUEL | 2.90-3.30 | 0.18-0.25 | 0.40-0.60 | 0.35 | 0.08-0.12 | 0.25-0.50 | 2.50-3.00 | 0.25 | 65-70 | CAJAS TERMINADORAS Y CAJAS INTERMEDIAS DE LOS LAMINADORES DE BANDAS. |
| TEMPLADO DURO CON NIQUEL | 3.30 | 0.18-0.25 | 0.40-0.50 | 0.35 | 0.08-0.12 | 0.75-1.00 | 3.50-4.50 | 0.25 | 80 | CAJAS TERMINADORAS DE LOS LAMINADOS DE BANDAS. |
| GRANO DE BAJA ALEACIÓN | 2.50-2.80 | 0.40-0.50 | 0.80-1.25 | 0.15-0.25 | 0.08-0.12 | 0.50 | 0.50 | 0.25 | 45-55 | CAJAS DESBASTADORAS E INTERMEDIARIAS EN LOS LAMINADORES MERCANTILES Y DE RIELES. |
| GRANO DE MEDIA ALEACIÓN | 3.00-3.25 | 0.40-0.50 | 0.90-1.25 | 0.10-0.20 | 0.08 | 0.70-1.20 | 0.50-1.00 | 0.25 | 55-65 | CAJAS INTERMEDIAS, TERMINADORAS EN LOS LAMINADORES DE BARRAS Y DE FLEJES PARA TUBOS. |
| GRANO DE ALTA ALEACIÓN (REGULAR) | 3.15-3.40 | 0.40-0.50 | 0.80-1.10 | 0.10-0.15 | 0.06 | 1.50-1.75 | 4.00-4.50 | 0.25 | 65-75 | CAJAS INTERMEDIAS EN LOS LAMINADORES DE BANDAS. |
| GRANO DE ALTA ALEACIÓN (DURO) | 3.40 | 0.90-1.50 | 0.80-1.00 | 0.10-0.15 | 0.06 | 1.50-2.00 | 4.50-5.00 | 0.25 | 80-90 | CAJAS TERMINADORAS EN LOS LAMINADORES DE BANDAS EN FRÍO. |
| HIERRO DÚCTIL | 3.20-3.40 | 0.30-0.50 | 1.50-2.25 | 0.04-0.15 | 0.01-0.02 | 0.75 máx. | 1.50-2.50 | 0.25-0.50 | 40-65 | CAJAS DESBASTADORAS O INTERMEDIAS EN LAMINADORES DE BARRAS ESTRUCTURADAS. |

PLANO 01

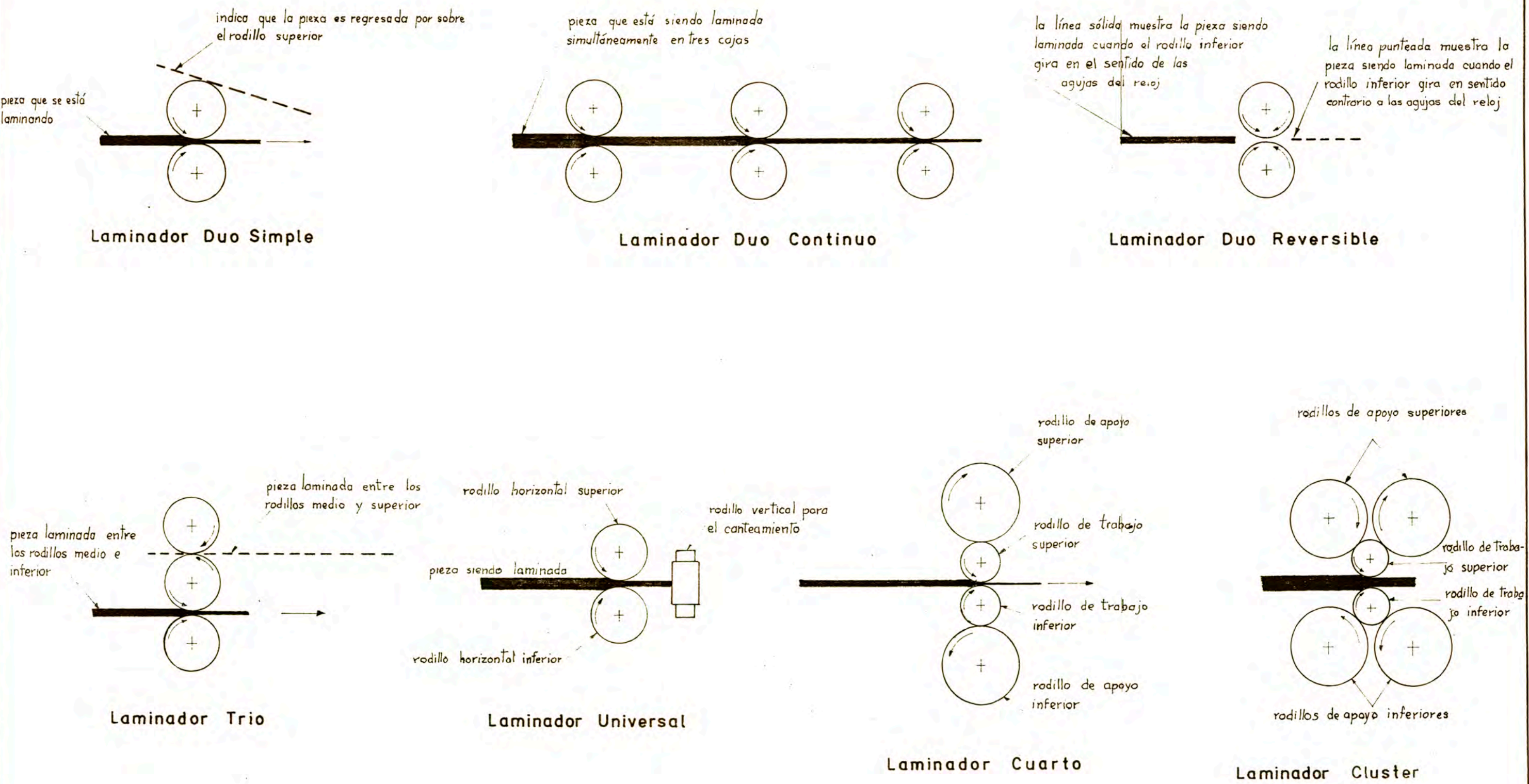


Fig. 4 Representacion esquematica de arreglos de rodillos en los principales tipos de laminadoras

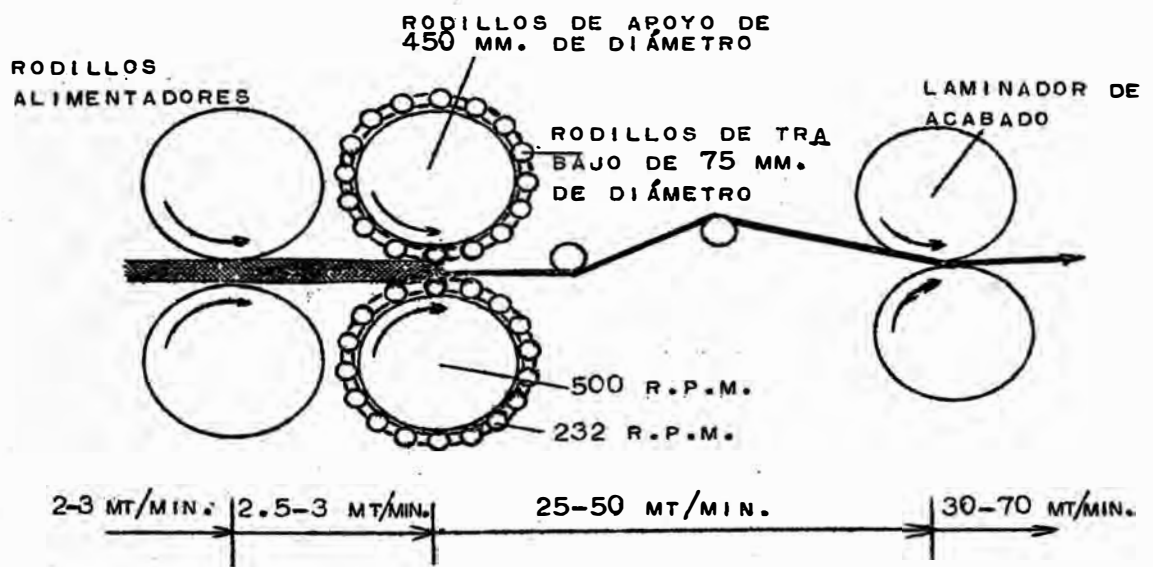


FIG. 5: REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN LAMINADOR PLANETARIO ZENZIMIR PARA LAMINACION EN CALIENTE.

PLANO 02

LEYENDA

- | | |
|---|---|
| <p>A. Dispositivo de contrapeso. B. Contrapesos de los rodillos C. Barras de apoyo D. Foso de escamas E. Foso de contrapeso F. Zapatas de la caja G. Rieles para el cambio de rodillos H. Cajas K. Rodillos K-1 Paso barril K-2 Pases canteadores</p> | <p>L. Accionadores de los tornillos de presión M. Separador de cajas N. Acoplamiento de transmisión angular O. Acopladores universales P. Ejes R. Contrapeso de los ejes S. Soportes del eje superior T. Acopladores de motor U. Motores</p> |
|---|---|

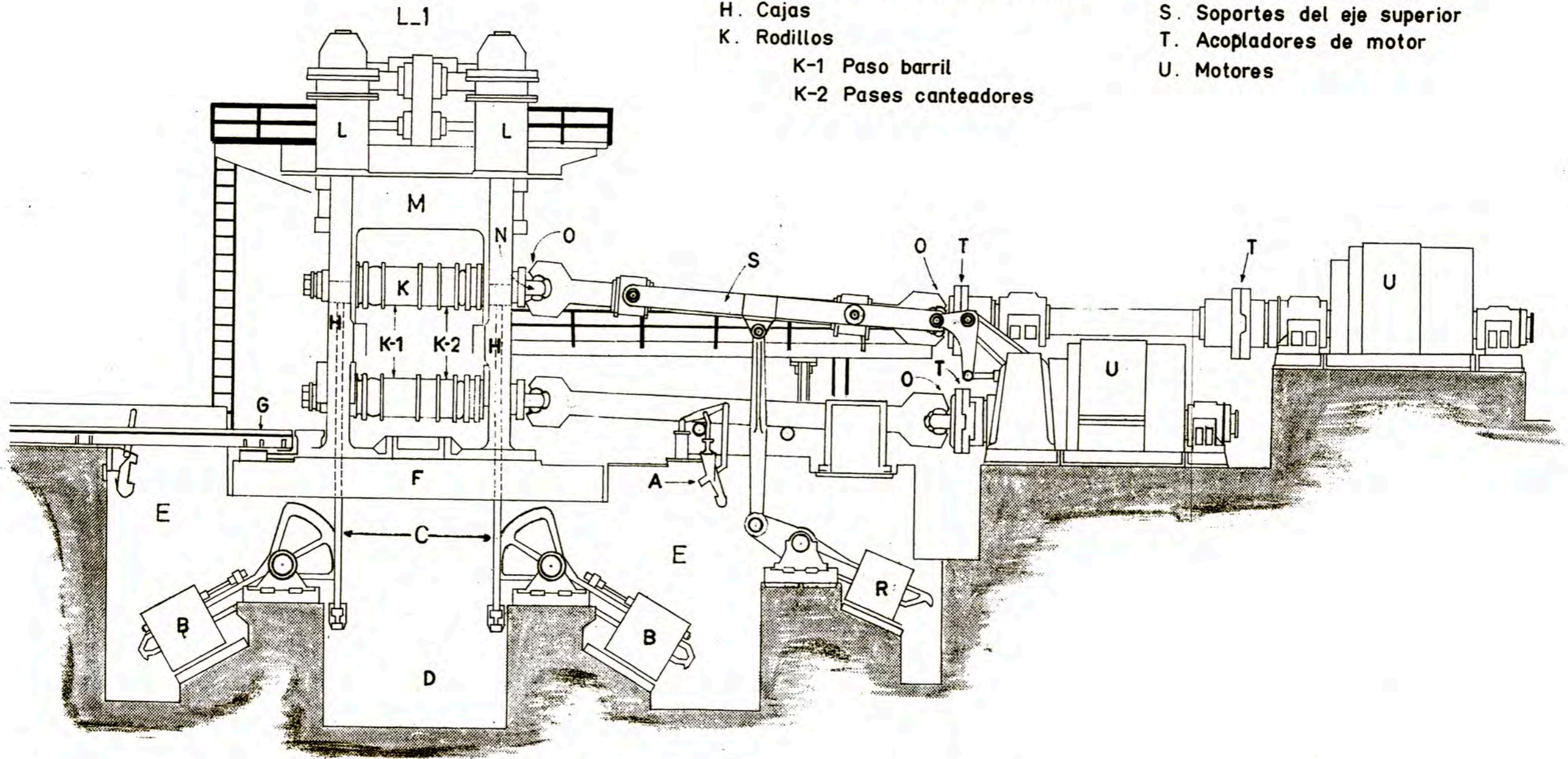
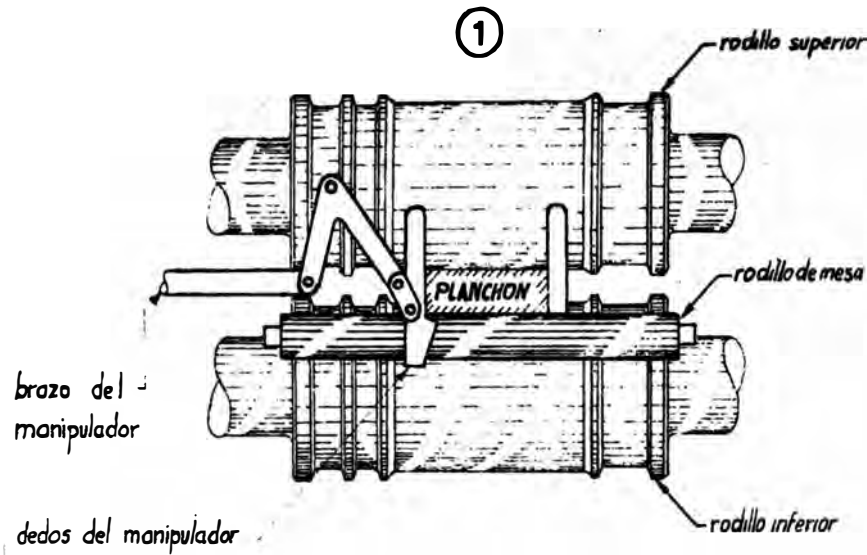


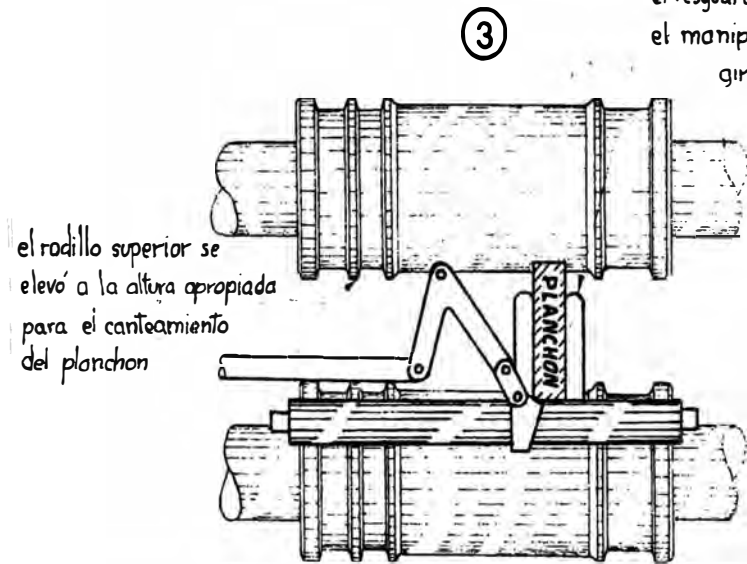
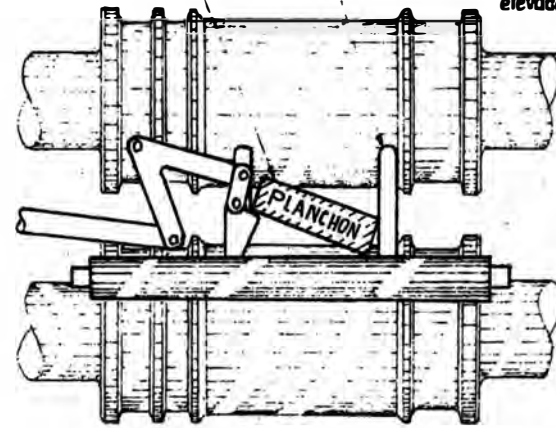
Fig. N° 6 Representación esquemática de un laminador Duo Reversible de Alta Carga con las principales partes indicadas



borde del planchón elevado por los dedos del manipulador

②

el resguardo lateral retracó ligeramente para permitir que el planchón sea elevado por un borde



el resguardo lateral se movió hacia el manipulador para completar el giro del planchón

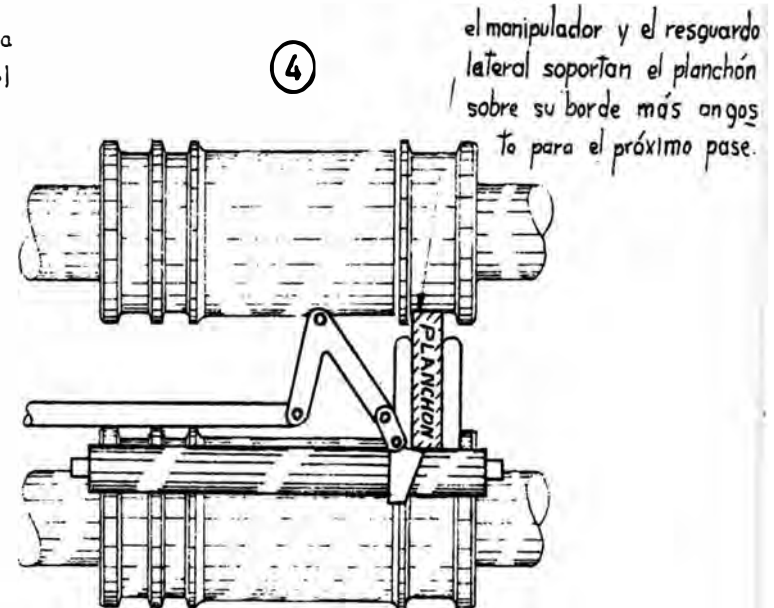


Fig N° 7 Representación esquemática de las funciones de las principales partes de un manipulador en el proceso de girar el planchón 90 grados

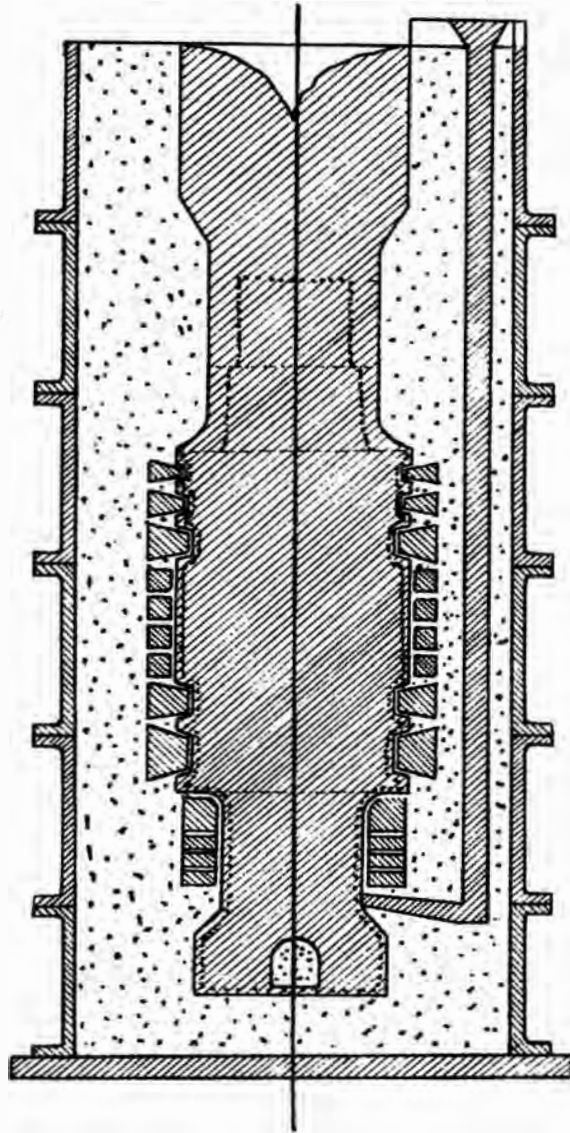


fig N° 8: Sección esquemática de un molde para un rodillo desbastador de acero aleado

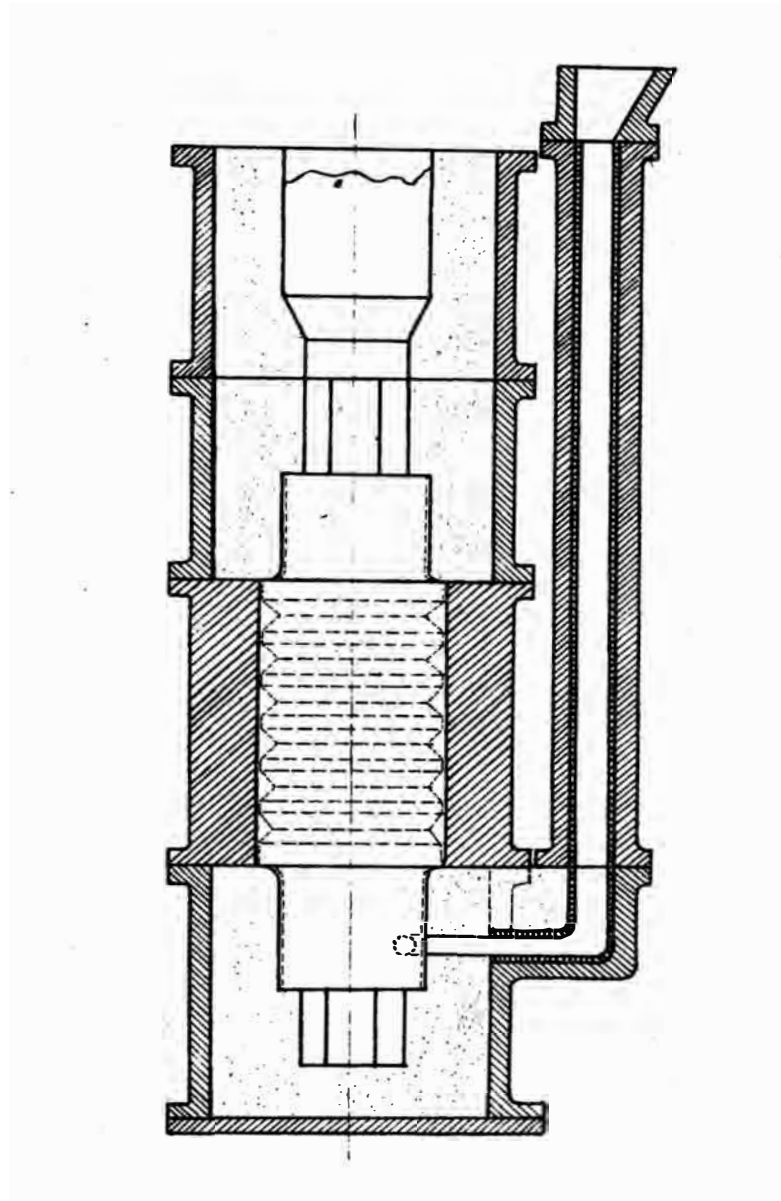


Fig N°9 Seccion vertical de un molde para la fundision de un rodillo de cuerpo plano o rodillos acanalados en los cuales los canales son maquinados posteriormente

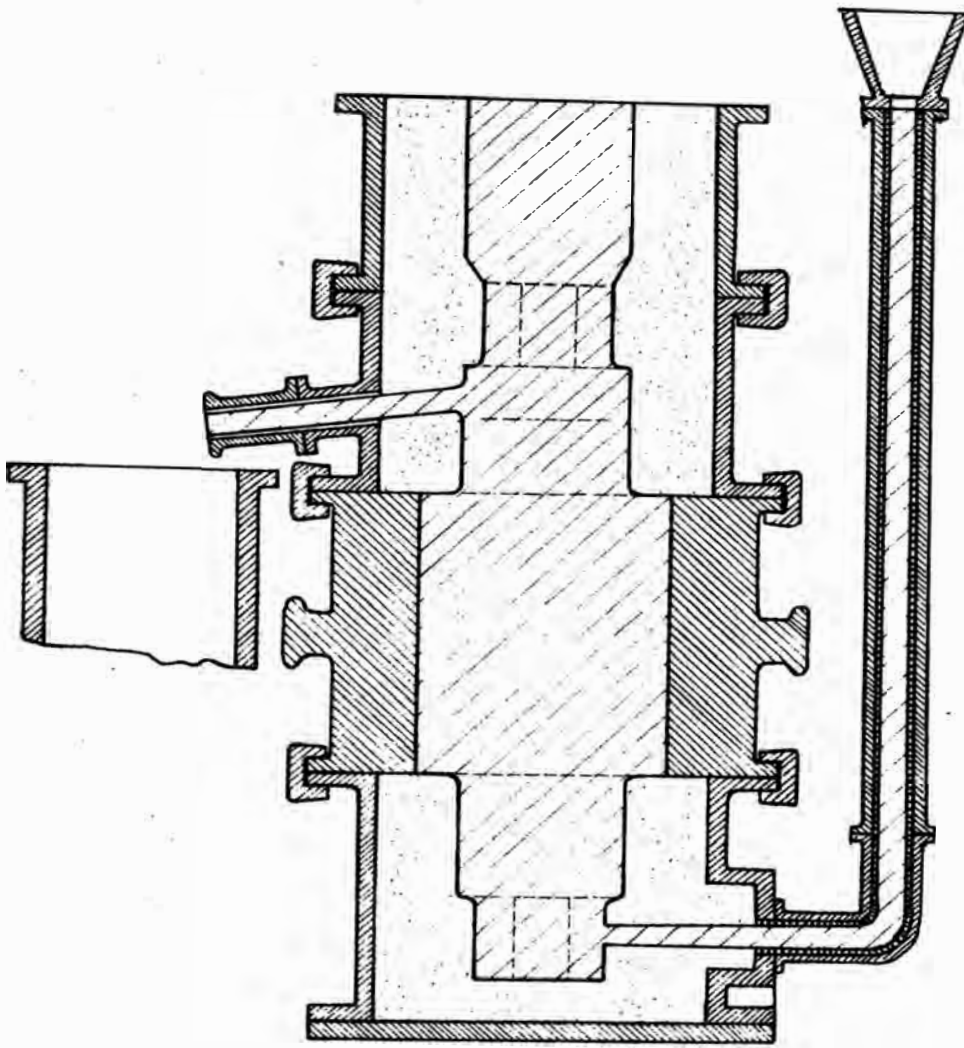
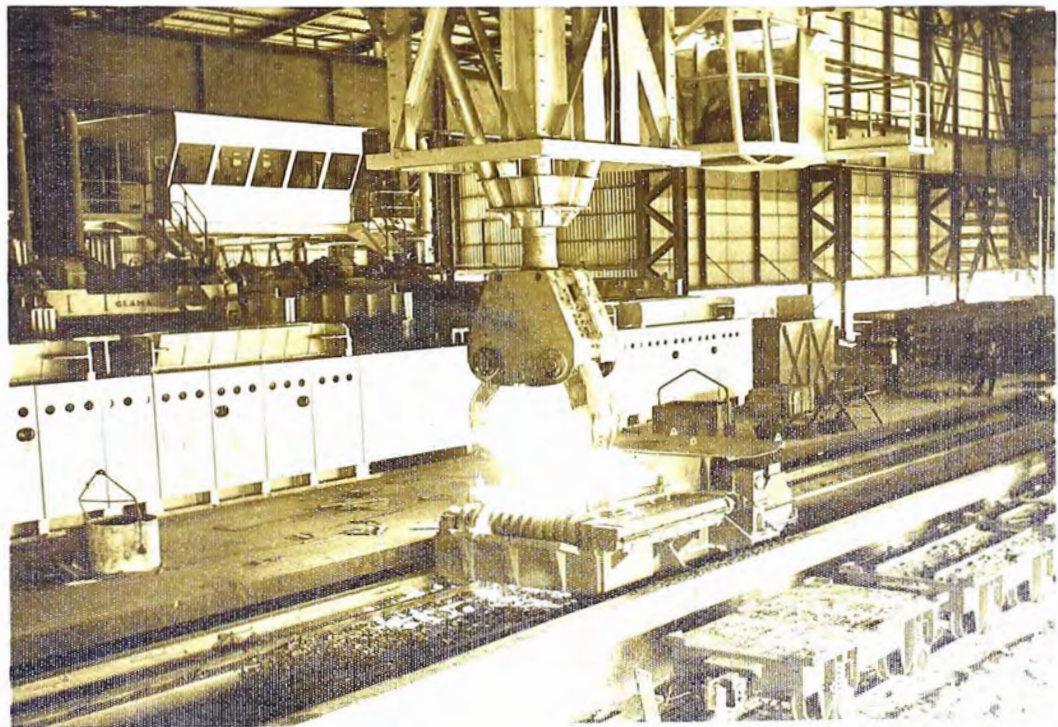
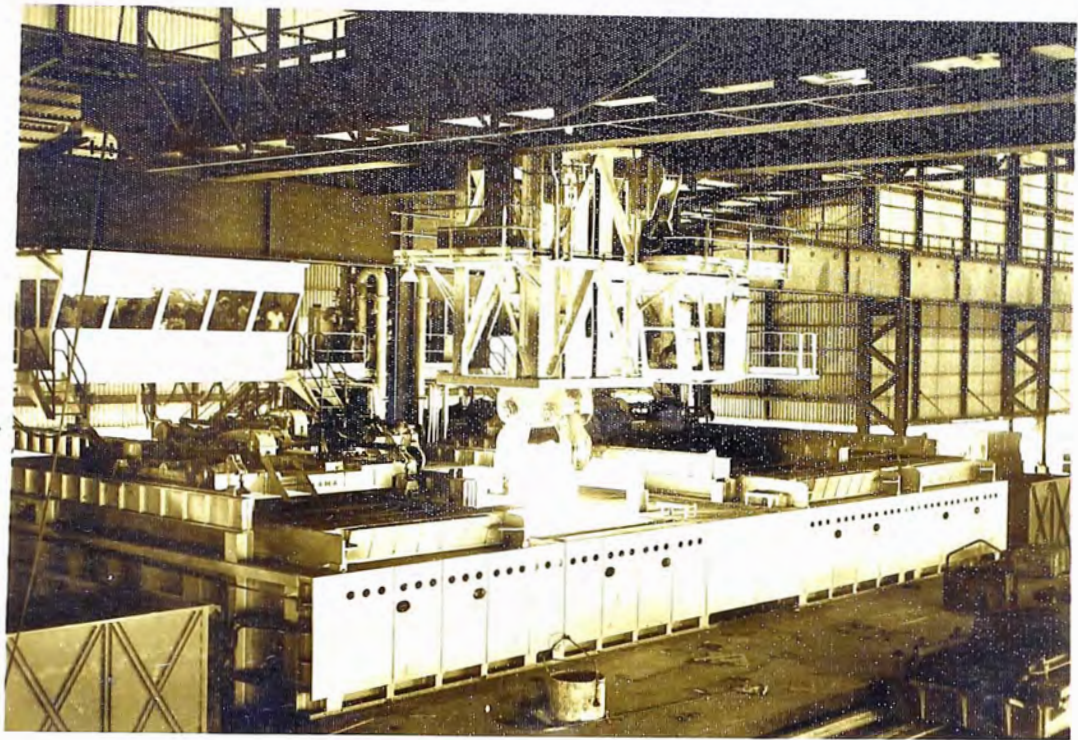


Fig N°10 Representacion esquematica de una seccion vertical de un molde para la fundicion de un rodillo (rebalsado)

BATERIA DE HORNOS DE FOSO

- 1. Extracción del lingote caliente*
- 2. Transporte del lingote caliente*



CAPITULO III

HORNOS DE FOSO

A.- HORNOS DE FOSO

Los modernos hornos de foso han sido desarrollados para calentar en forma uniforme los lingotes de acero, hasta determinada temperatura, con un mínimo de sobrecalentamiento de superficie. El rango normal de temperatura varía entre 1180 - 1350°C. El nivel de temperatura varía con los grados de acero, con el tamaño de los lingotes y con las características de los laminadores. Las temperaturas más elevadas son utilizadas en la laminación de ciertos grados de acero que requieren muchos pasos y una baja velocidad de los rodillos. Los hornos de foso tienen la doble función de calentar y actuar como almacenamiento para regularizar un flujo uniforme de lingotes entre la Acería y los laminadores primarios. En general, son cámaras profundas de forma cuadrada, rectangular o circular, dentro de las cuales se disponen los lingotes en una posición vertical. La carga se efectúa a través de una abertura en el tope y el calentamiento por medio de uno o más quemadores.

Los fosos son instalados usualmente en fila en una construcción adyacente a la entrada del laminador primario. El tope de los fosos está situado a varios mts. encima del nivel del terreno. Los fosos son servidos por una o más grúas - puentes operadas eléctricamente equipadas con cables

tantes corredizo para la carga y extracción de los lingotes a medida que alcanzan la temperatura necesaria para su alimentación al laminador primario. El mecanismo de izaje está provisto con tenazas ajustables, las cuales pueden coger e izar un lingote a bastante altura sobre la cubierta del foso. Esta grúa es usada para transferir los lingotes desde áreas de deslingoteado hasta los fosos para su calentamiento y de allí hacia un carro basculante accionado eléctricamente, quien recibe y conduce el lingote calentado, a las mesas de alimentación del laminador.

B.- TIPOS DE HORNOS DE FOSO

Entre los diversos diseños de hornos de foso existentes podemos mencionar los siguientes:

1.- FOSO TIPO REGENERATIVO

El foso tipo regenerativo es el más antiguo de los modernos fosos. En este tipo de foso, los lingotes son calentados por la combustión de gas en forma alternada desde las dos paredes extremas del foso. Esto permite que los productos de combustión, después de haber cedido parte de su contenido calórico a los lingotes, abandonen el foso por el extremo opuesto pasando a través de ductos a los regeneradores y a la chimenea de descarga a la atmósfera. El aire es admitido a través de uno de los regeneradores de calor donde es precalentado.

Los quemadores localizados a los extremos de los fosos no permiten que los lingotes se calienten uniformemente

te. Para uniformizar la temperatura del horno, es costumbre seguir la práctica de quemado y regulación del tiro, la cual permite calentar los lingotes uniformemente y a una velocidad relativamente rápida.

Las dificultades, tales como el escamado, provenientes del filtrado de aire, han sido superadas en los modernos fosos de regeneración por el cierre hermético de la cámara de regeneración y por la instalación de tapas de autocierre.

2.- FOSO DE QUEMADO EN UNA DIRECCION

Uno de los principales adelantos en el diseño de los hornos de foso, fué el proporcionar suficiente espacio para la realización de la combustión. Los fosos de quemado continuo, conocido como un foso de quemado en una dirección (Fig. 11), equipado con recuperadores, fueron diseñados para proporcionar un espacio de combustión situado encima de los lingotes, que no era afectada por el tonelaje ó por el número de lingotes cargados en el foso. A diferencia del foso tipo regenerativo, en el cual el flujo de gases es horizontal, en este tipo de foso, el flujo de gases es vertical obedeciendo a principios hidrostáticos. Los fosos de quemado superior en una dirección, cuando son instalados en bancos de tres o cuatro fosos con paredes comunes, permiten obtener una alta relación entre el área de la solera del foso y el área de construcción.

3.- FOSO DE QUEMADO VERTICAL

En este foso (fig. 12) el combustible es quemado

verticalmente a través de una puerta, localizada en el centro de la solera del foso alrededor del cual se colocan los lingotes. A medida que los productos de combustión ascienden en la zona de combustión, éstas se desplazan a las zonas inferiores de los lingotes próximos a las paredes del horno, siendo luego atraídos hacia la columna de gases calientes ascendentes, originándose de esta manera una circulación de gases que uniformizan la temperatura del horno. El foso cuenta con ductos localizados en las esquinas inferiores de lados opuestos del foso para eliminar los productos de combustión y ayudar la distribución de calor. Este diseño utiliza recuperadores y equipos de control para llevar a cabo un programa de calentamiento. Los fosos, en general son de forma cuadrada para ajustarse a la condición de cargamiento.

4.- FOSO CIRCULAR

El foso circular está compuesta por dos cilindros unidos por un cono truncado, y una bóveda arqueada removible. El quemado se realiza tangencialmente, desde una serie de quemadores empotrados y localizados en la periferia más baja del cilindro inferior, permitiendo que los gases efectúen un recorrido largo con el fin de inducir la recirculación de los gases quemados antes que ellos abandonen los fosos a través de una puerta de salida localizada en el centro de la solera del foso. Estos fosos, normalmente, son calentados con combustibles de alto poder calórico y con aire frío y utilizan quemadores del tipo premezclador o de boquillas mezcladoras que permiten obtener una combustión completa antes que los gases hagan contacto con los lingotes.

5.- FOSO DE QUEMADO EN DOS DIRECCIONES

Este foso (Fig. 13) es una variación del foso de quemado en una dirección. El calentamiento se realiza por medio de quemadores situados en las paredes extremas opuestas, situadas aproximadamente a 60 cm. encima del fondo del foso. Los gases quemados son conducidos a un recuperador a través de puertas localizadas en las esquinas de las paredes extremas del foso. La combustión se realiza en un pasadizo central formado por los lingotes. El método de quemado, la posición de los quemadores y las puertas de salida de gases, producen una cierta turbulencia en el flujo de gases en el horno, dando lugar a que se realice un mayor calentamiento en las partes inferiores de los lingotes.

6.- FOSO DE QUEMADO EN DOS DIRECCIONES POR LA PARTE SUPERIOR

Este foso tiene una forma rectangular. El combustible y el aire son inyectados desde las paredes extremas opuestas y la combustión se realiza en la zona situada encima de los lingotes (Fig. 14). Los quemadores están colocados horizontalmente y formando un ángulo con la línea central horizontal del foso para permitir que los gases calientes formen un movimiento arremolinado. La puerta del orificio de salida de los gases están localizados en las paredes extremas encima de la línea de ceniza. En este tipo de foso, generalmente se utiliza quemadores de llama larga para permitir una apropiada distribución del calor de combustión entre los lingotes. El flujo de gases es vertical, similar

al flujo de gases en los fosos de quemado en una dirección. En este diseño, el método de quemado permite seleccionar la forma del foso deseado; sus formas más comunes son el cuadrado y el rectangular con las paredes extremas curvadas.

7.- FOSOS ELECTRICOS

Estos fosos fueron desarrollados para satisfacer requerimientos especiales, tal como el control de escamas y el control de la atmósfera del horno durante el calentamiento de lingotes de aceros especiales. Un horno de foso eléctrico consiste de un foso propiamente dicho y un equipo eléctrico. El foso consiste de una caja rectangular de acero formada con planchas de acero revestidas con material refractario y aislante para formar una unidad cerrada. Un encaillado interno divide el foso de un determinado número de celdas, cada uno de las cuales puede retener uno o más lingotes, dependiendo del tamaño del lingote. Las celdas están provistas con tapas individuales las cuales son manipuladas con una máquina de destapado. Los elementos de calentamiento son construidos de material refractario mezclado con coque, que se extiende a lo largo del foso a través de aberturas arqueadas en las paredes que separan las celdas. El calor es suministrado por medio de los electrodos tendidos a través de las paredes del foso. La temperatura es controlada por el ajuste del voltaje secundario de los transformadores.

C.- EQUIPOS AUXILIARES

El equipo auxiliar de un horno de foso está formado

do por:

1.- TAPAS

Que consisten de una armadura de metal que soportan los refractarios y, los medios para el traslado de la tapa. En los antiguos fosos, las armaduras eran hechos de fierro fundido, y los ladrillos usados eran de forma ligeramente arqueados. Las tapas estaban apoyadas sobre ruedas accionadas hidráulica o eléctricamente que se movían sobre rieles. Una depresión en los rieles permitían a las tapas desprenderse de las ruedas cuando estaban en una posición encima de los fosos cerrando la abertura del foso. Este diseño presentaba el inconveniente que no proporcionaba un cierre hermético al foso y los gases filtrados causaban altos mantenimientos de la tapa.

Los diseños modernos consisten, esencialmente de una estructura de acero que soporta un arco suspendido de los ladrillos refractarios de alto grado o material refractario apisonado, mantenido en posición por soportes colgantes refractarios. Ellos están equipados con motores para levantar la tapa verticalmente y para moverlo hacia un lado de la abertura del foso deseado, o con una grúa que se extiende sobre una fila de fosos para efectuar movimientos similares.

La parte inferior de la estructura de acero está constituida por piezas fundidas de aleaciones resistentes al calor. Estas piezas fundidas están provistas con un reborde que penetra dentro de un espacio acanalado lleno de are-

na y localizado alrededor de la periferia del tope del foso llamado cierre de arena.

2.- GRUAS

En las plantas modernas, los lingotes son manipulados, desde los carros de entrega de lingotes a los fosos y desde los fosos a los carros de basculamiento, por medio de grúas de foso. Estas grúas son del tipo eléctrico por encima convencional excepto para el trole cargador y para la posición de la cabina de la grúa. En vez del tambor ó tambores de elevación convencionales, el trole cargador consiste de las ruedas de carril usuales y de una estructura soportando una caja vertical en la cual viaja una corredera equipada en el fondo con tenazas operadas mecánicamente. La cabina de la grúa es fijada al extremo más bajo de la caja vertical y se mueve con el trole. Este arreglo de la cabina de la grúa tiene la finalidad de proporcionar una máxima visión al operador para la adecuada colocación de los lingotes en los fosos y en el carro basculante.

3.- SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE LINGOTES AL FOSO

Este sistema consiste de rieles y plataformas de lingotes. Las plataformas de lingotes mantienen las lingoteras en su posición correcta durante el lingoteamiento en la Acería y la transportan a la zona de fosos. Los lingotes usualmente son deslingoteados en el deslingoteador; pero, en algunos casos, cuando se usan lingotes invertidos, ellos son solo alojados en el deslingoteador, siendo posteriormente extraídos de la lingotera por medio de la grúa del

foso, reduciendo, de esta manera, la pérdida de calor durante la transferencia a los fosos. Es de suma importancia la disposición de los rieles de entrega de lingotes desde la plataforma de lingoteamiento en la Acería a través del deslingoteador, al horno de foso.

4.- SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE LINGOTES AL LAMINADOR

Consiste usualmente de un carrito de lingotes operado eléctricamente que se desplaza entre la mesa de recepción y la mesa de extensión del laminador. Existen 3 tipos de carritos de lingotes. En el 1er. tipo la cama del carrito al contacto del carrito con una leva arreglada en la mesa de extensión, se inclina y arroja el lingote desde su posición vertical, a una posición horizontal sobre la mesa de extensión del laminador.. El 2do. tipo es el tipo autobasculante, con su uso se evita el deterioro de las mesas del laminador con el impacto de lingotes pesados y se aumenta la velocidad de transferencia. Este diseño tiene un motor para mover las ruedas para inclinar la cama, y para el giro de los rodillos de la cama las cuales entregan los lingotes en una posición horizontal a la mesa de aproximación. En el 3er. tipo, los lingotes son depositados en posición horizontal sobre la cama del carrito, por medio de la grúa de foso, llevados por él hasta cerca de la mesa de aproximación; y de allí, alimentados a la mesa de aproximación, por medio de los rodillos accionados de la cama del carrito.

5.- SISTEMA DE EXTRACCION DE LA CENIZA

En general la solera de los fosos son hechos con

coque menudo hasta una profundidad de aproximadamente 30 a 40 cm. Cuando este coque menudo se quema o contamina con escombras, materiales refractarios u otros materiales, él es extraído a través de dos orificios de ceniza localizados en la solera del foso. Estos orificios están provistos de puertas en el extremo exterior que permiten descargar la ceniza en una caja localizada debajo del fondo del foso. La caja de ceniza frecuentemente es soportada por un tractor o vagón que lo conduce, a través del túnel de ceniza, hacia una grúa donde él es elevado al nivel del patio y descargado en vagones para su disponibilidad. En los antiguos fosos, los fondos eran hechos cada día; actualmente, ellos son hechos cada 5 o 7 días bajo condiciones normales. Ultimamente hay una tendencia en utilizar lo que es conocido como un "fondo seco" en la que se usa dolomita o magnesita como una cubierta delgada de 75 a 100 mm. sobre la solera del foso.

6.- SISTEMAS DE COMBUSTION Y REGULACION DEL TIRO

Los sistemas de combustión, aire y tiro en un horno de foso son importantes porque ellos controlan la temperatura y la atmósfera del horno.

La relación aire - combustible será, de tal manera, que exista un ligero exceso o defecto de aire, según como se desee. El tiro o presión del horno es controlado por elevación o descenso automático del regulador de tiro para mantener el tiro adecuado en el horno. En los fosos modernos todos estos ajustes se realizan automáticamente. Los quemadores de los fosos son de varios tipos con el fin de

proporcionar el tipo de llama más conveniente para cada foso particular. En los hornos regenerativos las puertas actúan como quemadores. Algunos fosos utilizan quemadores de llama larga en las cuales el aire y el gas no se mezclan íntimamente, permitiendo desarrollar una combustión lenta y una mayor trayectoria cediendo calor. En otros fosos, el mezclado del aire y gas es más rápido, desarrollándose una llama corta luminosa. Los fosos modernos están provistos con sistemas adecuados de medición y control del volumen de aire requerido para la combustión. El suministro de aire caliente o frío a los quemadores se realizan con ventiladores accionados eléctricamente.

D.- OBJETIVOS EN LOS DISEÑOS DE HORNOS DE FOSO

Los principales objetivos de los hornos de foso son:

- 1.- Calentamiento uniforme de todos los lingotes en el foso;
- 2.- Velocidad de calentamiento igual a la habilidad del acero a mantener el calor absorbido;
- 3.- Suficiente capacidad para alojar adecuadamente el número de lingotes requerido;
- 4.- Bajo costo de operación;
- 5.- Control de la atmósfera del horno;
- 6.- Mínimo gasto del espacio del suelo;
- 7.- Mínimo gasto de capital.

El calentamiento uniforme de los lingotes en un

foso permite mantener la mayor temperatura en el foso compa tible con la habilidad del acero a absorber calor sin fundirse o deteriorarse debido a las tensiones térmicas originadas. Las velocidades óptimas de calentamiento se obtienen manteniendo la superficie de los lingotes a una temperatura ligeramente menor del punto de fusión del acero. Esto permite un mayor flujo de calor, dentro del cuerpo del lingote. La velocidad de quemado de combustible debe ser reducido a medida que progresa el calentamiento, para prevenir el sobrecalentamiento de las superficies de los lingotes.

Entre los métodos para vencer las deficiencias en la distribución de la temperatura, destaca el método llamado de "quemado y regulación" en el cual el quemado de combustible, a velocidad uniforme durante un período de tiempo, es interrumpido y seguido de una regulación del tiro en el foso. Durante el último período se logra uniformizar la tem peratura entre las partes interiores y exteriores de los lin gotes.

Una variable de gran importancia en el calentamiento uniforme de los lingotes, es la circulación de los gases en el horno de foso. El arrastre de los gases quemados más fríos con los gases más calientes, especialmente cer ca a los quemadores, amortigua la tendencia de la llama a desarrollar zonas calientes, alarga el tiempo para una completa liberación del calor del combustible y ayuda en el ca lentamiento uniforme. Otros métodos utilizados para el logro de mejor distribución del calor son:

Empleo de quemadores que eviten la concentración

de calor. Ellos deben lograr que el calor de combustión se distribuya por todo el foso;

- Uso de quemadores del tipo de llama no luminosa, que reduzcan la emisividad de la llama.

- Uso de presiones mas altas en el foso.

E.- PRACTICAS DE CALENTAMIENTO

El tiempo requerido para calentar una carga de lingotes en un horno de foso, generalmente está asociado con el tiempo de tránsito. El contenido calórico de un lingote cuando es cargado dentro de fosos está relacionado al tiempo de tránsito, así es obvio que el calentamiento de lingotes con cierta temperatura requiere menos tiempo para calentar que el necesario para calentar lingotes fríos. El tránsito es el tiempo transcurrido desde el comienzo del lingoteamiento, en la Acería, hasta el cargado del primer lingote de la colada en el horno de foso. El tiempo de calentamiento requerido para aceros al carbono ordinarios es, aproximadamente, 1 1/2 veces el tiempo de tránsito cuando este tiempo no es excesivo. El calentamiento de lingotes normales, fríos, usualmente requieren desde 8 a 12 horas, pero, si el lingote es inusualmente largo o de un tipo de acero, que requiere tratamientos especiales, él puede requerir hasta más de 12 horas.

Actualmente, con la ayuda de instrumentos, es posible estimar la diferencia de temperatura entre la superficie y el centro del lingote a partir de lecturas tiempo-tem

peraturas y del gasto de combustible. Antiguamente, el "hornero" observaba los lingotes a través de los orificios situados en la tapa y determinaba cuando la carga estaba lista para su laminación. Aún cuando esta práctica es todavía común en los fosos de tipo regenerativo, el calentamiento en los fosos de quemado continuo es gobernado en su mayor parte por controles automáticos las cuales realizan los programas de calentamiento deseado.

En el calentamiento de lingotes de acero al carbono calientes en fosos modernos, con controles automáticos, el operador coloca el dial de control al nivel de temperatura deseada para la extracción. Una cantidad máxima de combustible es quemado automáticamente dentro los fosos en las primeras etapas de calentamiento. El gasto de combustible es disminuído gradualmente a medida que el calor penetra en el lingote hasta que es finalmente reducido a un mínimo suficiente para cubrir las pérdidas por radiación del foso. Cuando el gasto de combustible ha permanecido a este bajo nivel, durante un tiempo de media hora o más, como la experiencia enseña, los lingotes son extraídos del foso.

En el calentamiento de lingotes de aceros de alto contenido de carbono y aleaciones especiales relativamente frías, se sigue la práctica de enfriar el foso hasta la temperatura de los lingotes a cargar y proceder a un calentamiento lento hasta una cierta temperatura debajo de la temperatura de laminación. Después que los lingotes han sido uniformizados a esta temperatura, ellos son calentados rápidamente hasta la temperatura de laminación. Otra práctica

común en el calentamiento de aceros aleados es conocida como el "calentamiento escalonado". El "calentamiento escalonado" consiste en calentar los lingotes a la temperatura de laminación a través de varios niveles, en cada nivel ellos son mantenidos a la misma temperatura durante un tiempo determinado para uniformizar la temperatura en todo el lingote. Este procedimiento elimina las tensiones y proporciona calentamientos lentos y uniformes.

El control de la relación aire-combustible afecta las características de la llama y de la atmósfera del horno. Las características de la llama tienen una importante relación en la distribución de la temperatura en el foso, y la atmósfera del horno afecta la formación de escamas y la calidad de la escama. Por el adecuado control de la atmósfera del horno se puede reducir la frecuencia en la hechura de la solera, los defectos de superficie en los lingotes provenientes de acería.

Los principales datos de operación, aparte de calidad de calentamiento y mantenimiento, se relacionan al rendimiento de producción y al consumo de combustible. Para propósitos comparativos, la producción está basada generalmente en el área activa del foso. El área activa del foso es aquella en los cuales los lingotes pueden ser colocados para su calentamiento. Con un cargamento apropiado el área activa del foso asciende a más del 50% en los fosos modernos. Así es práctica común en los hornos de foso modernos calentar de 30 a 100 toneladas de lingotes por hora por 100 metros cuadrados de área activa.

Esta amplia variación es debida principalmente a la temperatura de carga de los lingotes y al tipo de acero. Otros factores que originan esta amplia variación, son las diferencias en tamaño de los lingotes; irregularidades en las operaciones de laminado y acería, y, la porción de área activa ocupada por los lingotes.

La cantidad de combustible consumida por tonelada de acero calentado varía desde aproximadamente 400,000 a 2,000,000 Btu. Esta variación también es debida, en gran parte, a variaciones en la temperatura del acero cargado. Otros factores que influyen en la economía del combustible son: El uso apropiado de aisladores, reducción de pérdidas de gas en la chimenea con el uso de recuperadores y regeneradores, instalaciones apropiadas de control, utilización de un máximo porcentaje de solera, prácticas metalúrgicas controladas, etc.

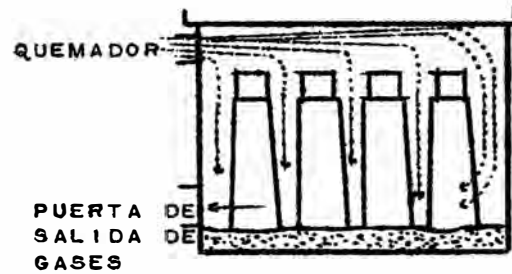
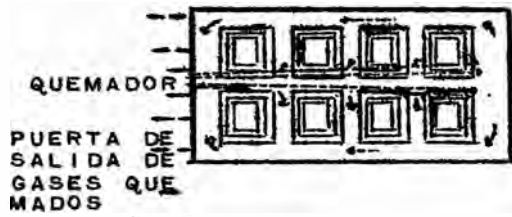


FIG. 11: REPRESENTACION DIAGRAMATICA DE UN HORNO DE QUEMADO EN UNA DIRECCION.

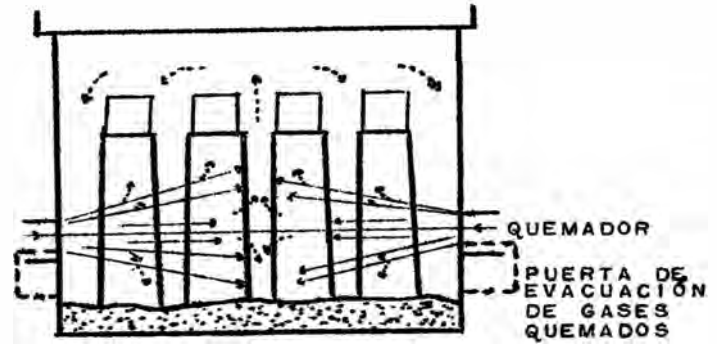
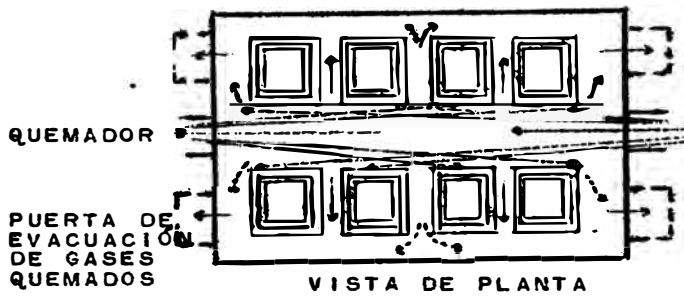
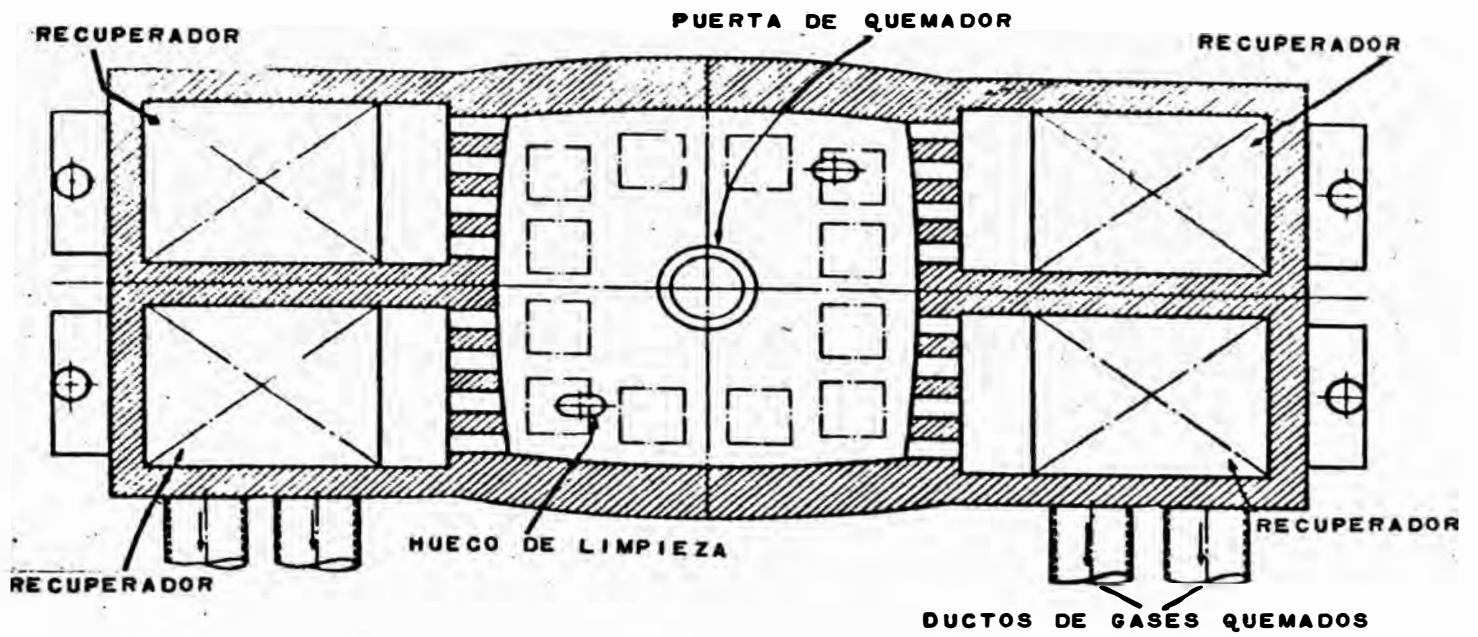


FIG. 13: REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN POZO DE QUEMADO EN 2 DIRECCIONES



VISTA DE PLANTA

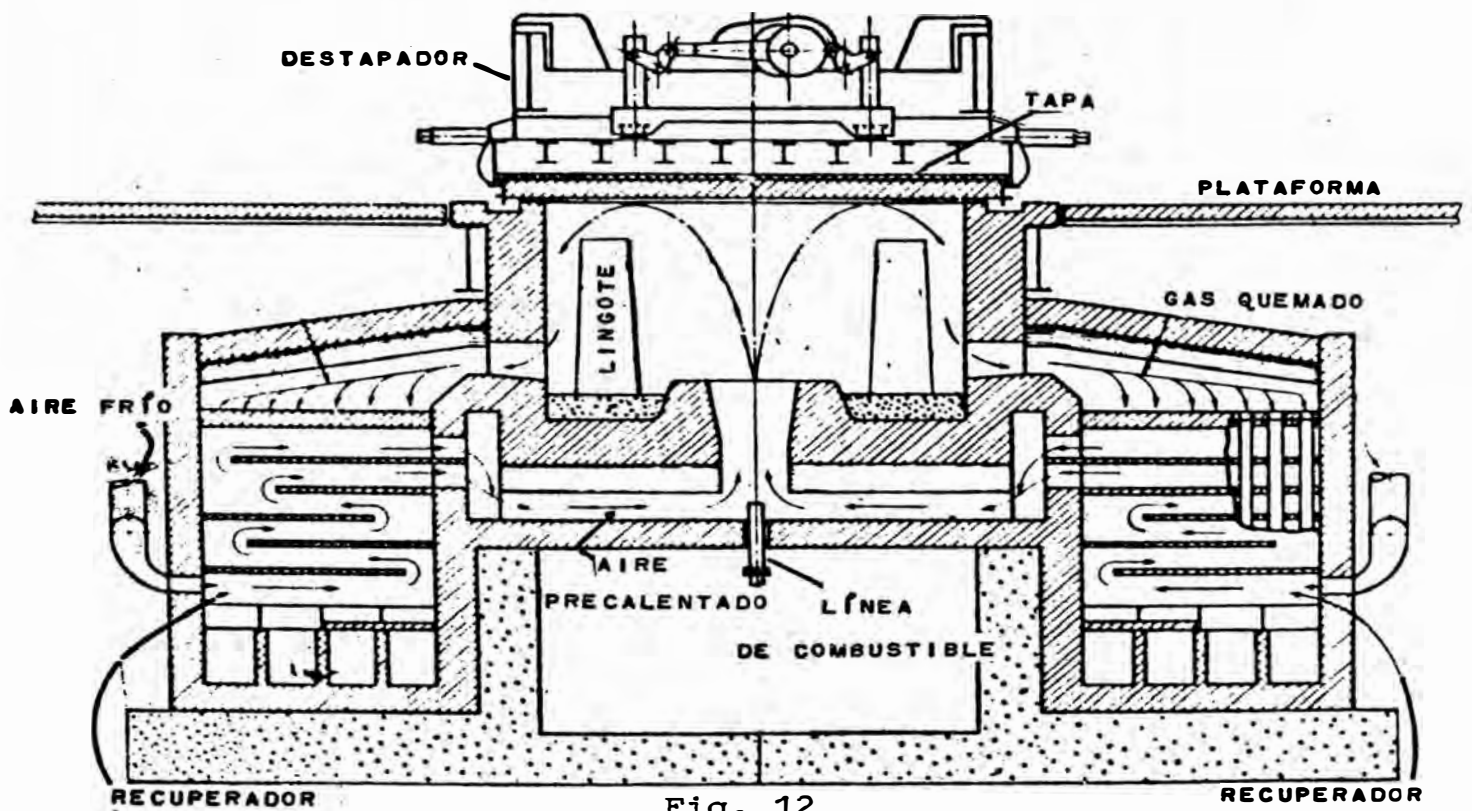
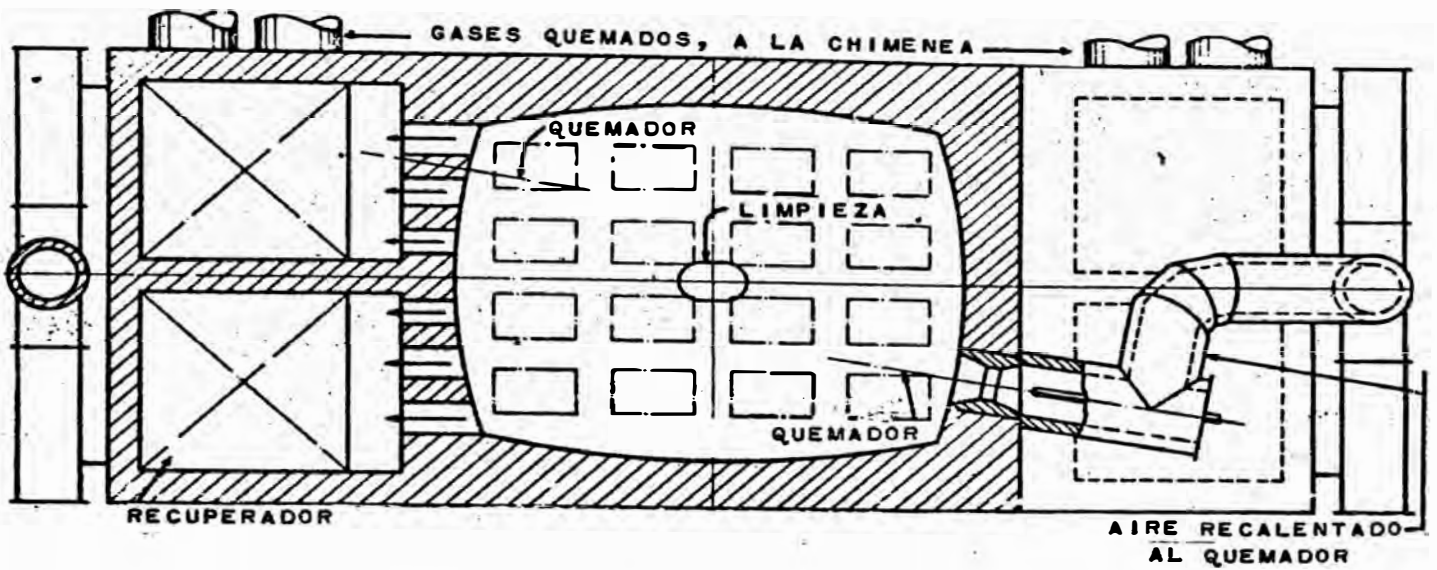


Fig. 12

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN FOSO DE QUEMADO VERTICAL



VISTA DE LA PLANTA

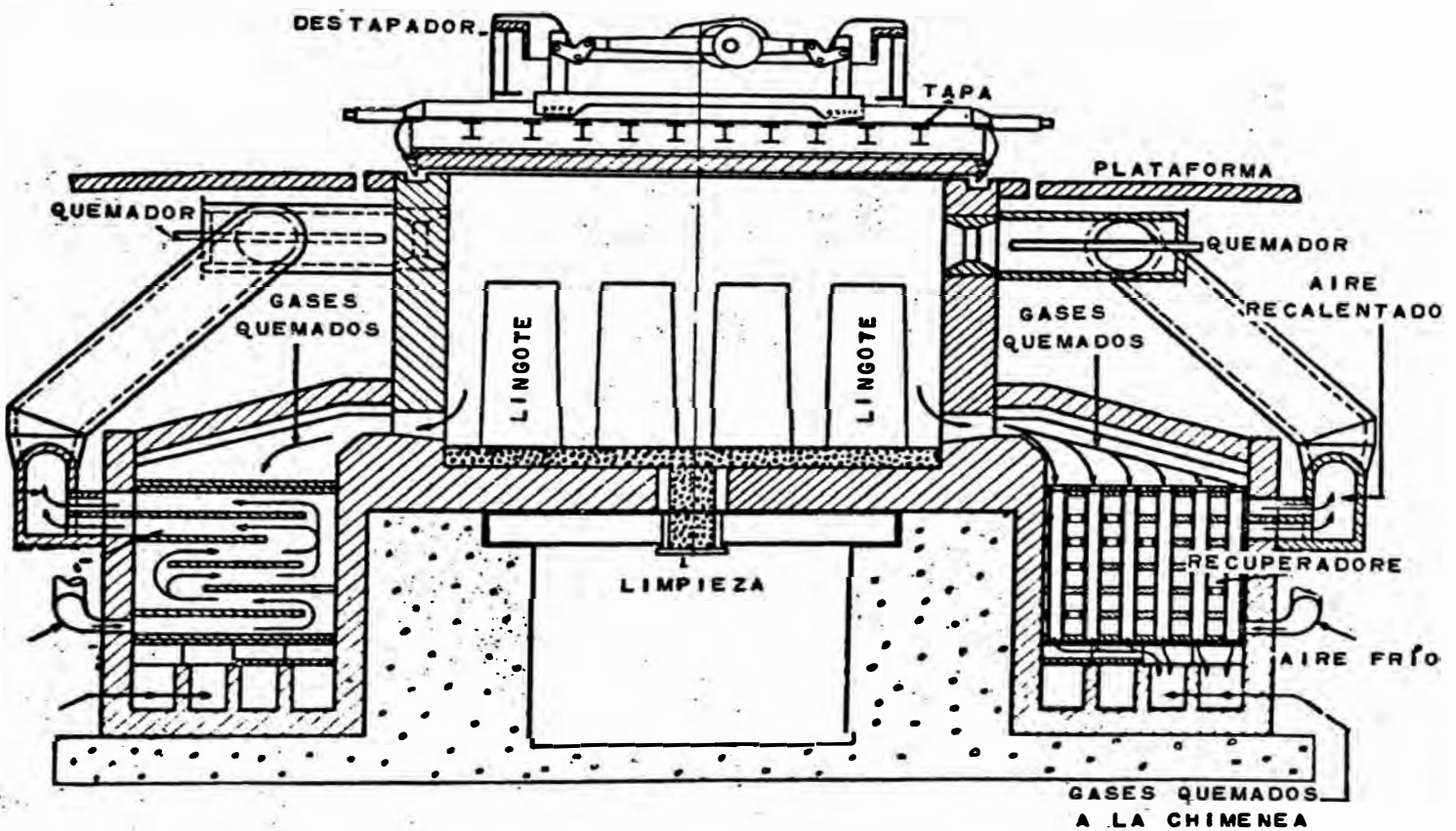
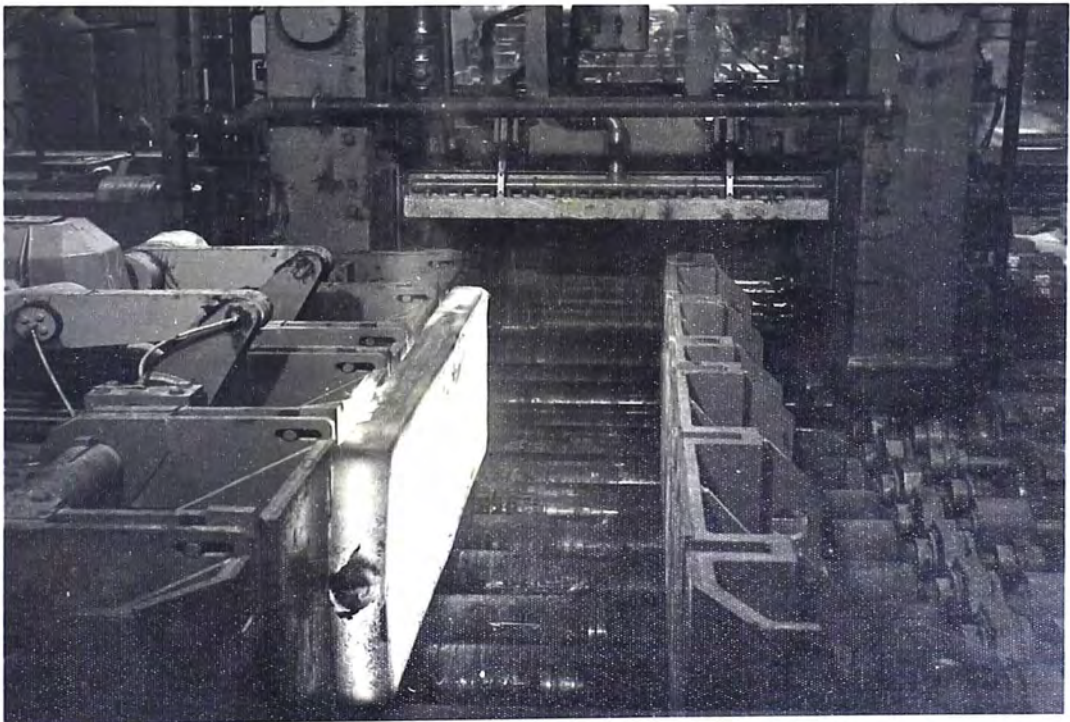
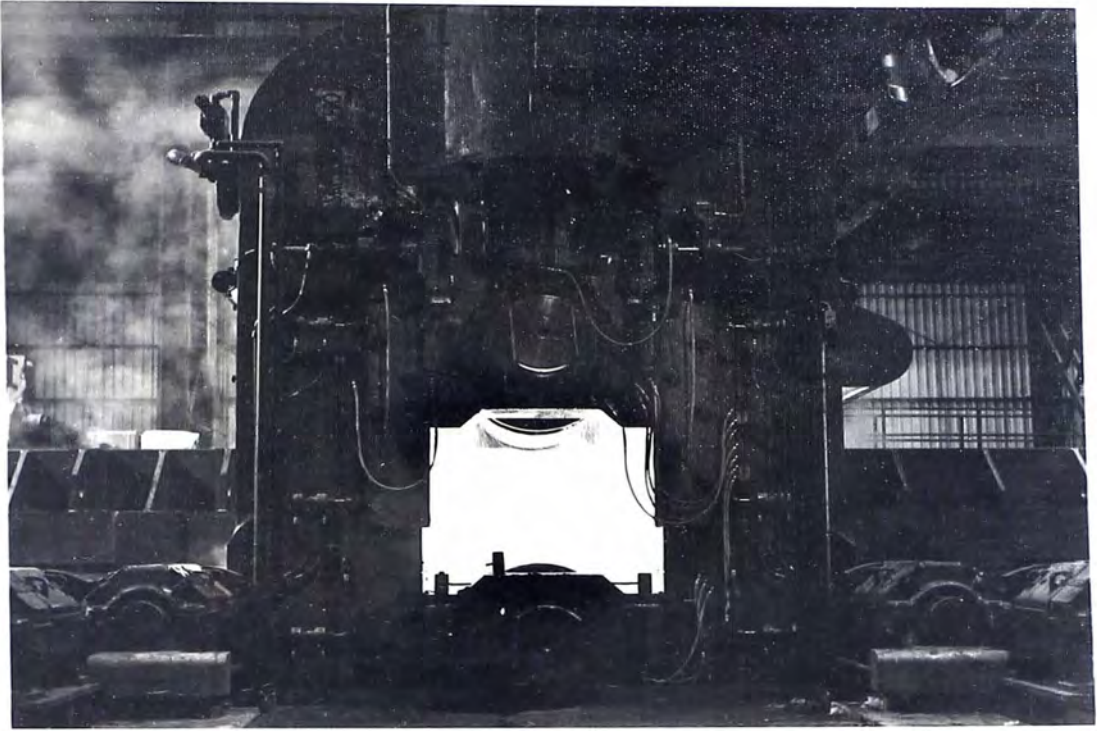


Fig. 14

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE UN FOSO DE QUEMADO
EN 2 DIRECCIONES POR LA PARTE SUPERIOR

PLANCHONES

Pase de canto



CAPITULO IV

PRODUCCION DE TOCHOS Y PLANCHONES DE ACERO

A.- TOCHOS Y PLANCHONES

El INANTIC (Instituto Nacional de Normas Técnicas y Certificación) tiene las siguientes definiciones para los términos de tochos, planchones y palanquillas:

Palanquillas.- "Es un producto semi-terminado, destinado a ser laminado cuya sección transversal es menor o igual a 15,600 mm². El espesor será mayor que 40 mm. En caso de ser de sección rectangular, la relación entre el ancho y el espesor será igual o menor a 2".

Tochos.- "Producto semi-terminado, destinado a ser laminado cuya sección transversal es mayor que 15,600 mm². En caso de ser de sección rectangular la relación entre el ancho y el espesor será menor o igual a 2.

Planchón.- "Es un producto semi-terminado de sección rectangular destinado a ser laminado. El espesor es mayor o igual a 40 mm. La relación entre el ancho y el espesor es mayor que 2".

Los tochos y palanquillas tienden a ser cuadrados ó cercanamente cuadrados mientras que los planchones son siempre cuadrilongos y tienden a ser relativamente anchos, delgados y de longitud corta. Los tochos, planchones y palanquillas tienen sus longitudes varias veces mayor que las

dimensiones máximas de sus secciones rectas respectivas. La figura 15 representa gráficamente la diferencia en las secciones rectas de los tochos, palanquillas y planchones.

Hasta hace unos años, los tochos y los planchones eran producidos principalmente por la laminación en caliente de los lingotes y, las palanquillas se producían por el posterior laminado en caliente de los tochos. Sin embargo, después de la segunda guerra mundial continuas investigaciones desarrollaron y perfeccionaron los métodos de la colada continua de planchones, tochos y palanquillas, eliminando de esta manera las etapas de lingotamiento y laminación primaria requeridas anteriormente para producir tales productos.

Normalmente, los tochos, planchones y palanquillas destinadas a ser laminadas en caliente poseen una serie de defectos provenientes del calentamiento, laminación o fundición. Estos defectos tienen que ser detectados y eliminados para evitar efectos perjudicial sobre el acabado de los productos obtenidos a partir de ellos. Las operaciones que detectan y eliminan los defectos de los planchones, tochos y palanquillas son conocidos con el nombre de "Acondicionamiento".

B.- PRODUCCION DE TOCHOS Y PLANCHONES

Las primeras etapas en la producción de tochos y planchones por laminación consiste en reducir la sección recta del lingote a formas cuadradas y oblongas, con sus esquinas redondeadas, y sus dimensiones aproximadas al tamaño es

pecificado nominal. Durante estos procesos la longitud del lingote aumenta mientras que su sección recta decrece. En las operaciones subsiguientes se corta de cada extremo de la pieza laminada un pedazo relativamente pequeño llamado desmocho (que se achatarra) y se corta la pieza restante, si es necesario, en varios tamaños para adaptarse a las longitudes o pesos requeridos para operaciones posteriores.

1.- CARACTERISTICAS DE LOS CAMINADORES DE TOCHOS Y PLANCHONES

Es posible y frecuentemente económico laminar lingotes, para obtener planchas o bandas laminadas en caliente, en una operación continue sin ningún recalentamiento intermedio utilizando un laminador constituido por varias cajas (desde 1 a cerca a 20). Grandes tonelajes de planchas son obtenidos por esta práctica utilizando lingotes de tamaños normales.

Sin embargo, la práctica más común es laminar lingotes en tochos o planchones, en un solo laminador. En seguida ellos son enfriados, almacenados y, finalmente, laminados en otros laminadores.

La elección de algunos de estos métodos se basan fundamentalmente en consideraciones económicas; aunque algunas veces la forma y calidad del producto determinan el método de laminación del acero.

Los laminadores de lingotes utilizan diversos nombres para diferenciarse entre ellos; estos se basan, gene-

ralmente, en el producto a producir, en el diseño mecánico, ó en la disposición general del laminador. Actualmente, el término laminador desbastador representa a los laminadores productores de tochos y, el término de laminador primario representa a los laminadores productores de tochos y planchones. Además del nombre, estos laminadores también son de signados por el tamaño expresado en milímetros. Es normal nombrar un laminador por su nombre descriptivo seguido de su tamaño expresado en mm., así por ejemplo:

Laminador Desbastador de 1370 mm.

Laminador Trio de 584 mm.

Laminador Primario de 1140 mm.

Los nombres compuestos se aplican específicamente a la caja de rodillos, si el laminador consiste de una sola caja, ó, a la primera caja de rodillos si el laminador consiste de varias cajas.

2.- ACTIVIDADES PRIMARIAS

Las operaciones en todos los laminadores primarios son fundamentalmente las mismas, sin embargo, ellos difieren en detalles de acuerdo a los requerimientos particulares de cada laminador.

La operación principal que consiste en convertir el lingote en una pieza laminada, es llevado a cabo:

- a) Calentando los lingotes;
- b) Fracturando la estructura cristalina gruesa del lingote y obteniendo una estructura refina

da, por acción de grandes presiones de laminación y por recristalización, durante la laminación en caliente;

- c) Cerrando los vacíos de solidificación por la acción de la presión y la recristalización;
- d) Cortando aquellas porciones de acero que son metalúrgicamente inapropiados ,
- e) Cortando cuerpos de prueba ;
- f) Enfriando a la temperatura atmosférica aquellos productos que no son destinados a trabajo en caliente inmediato.

La función secundaria consiste en obtener piezas que tengan las secciones rectas y los pesos deseados. Es efectuada conjuntamente con las operaciones (b), (c), anteriores, ellos pueden ser llevados a cabo con los mismos sistemas utilizados ellas, y consiste de:

- a) La colocación de rodillos ;
- b) El cortado de la pieza laminada en piezas de longitudes o pesos específicos ;
- c) El pesado de las piezas individuales y el pesado y medición de las muestras de prueba;

Las operaciones auxiliares incluyen:

- a) El acondicionamiento de los productos de acero, eliminado los defectos superficiales y las porciones con defectos internos perjudiciales, en derezando las piezas dobladas, etc.
- b) La colección, clasificación y envío de desmo-

cho, chatarra, escamas de laminación y de cenizas, a los departamentos de Acería y Alto Horno.

3.- TIPOS DE LAMINADORES PRIMARIOS

A continuación se describen los diferentes tipos de laminadores primarios:

Laminadores Duo Reversible

En la frase "Laminadores Duo Reversible" el término "Duo" indica que el laminador consiste de dos rodillos, uno encima de otro (fig. 16). El término "Reversible" indica que después que la pieza ha sido laminado en una dirección, los rodillos en movimiento son parados e inducidos a rotar en la dirección invertida, para efectuar la próxima reducción sobre la pieza, y así sucesivamente hasta que la pieza haya sido reducida a la dimensión deseada. Este laminador es el más flexible pues permite laminar lingotes de diferentes tamaños para obtener diferentes productos con las reducciones más convenientes. La mayoría de los laminadores primarios son operados manualmente en orden para permitir variaciones inmediatas en el método de laminación.

En los laminadores modernos provistos de controles automáticos las desviaciones del programa de operación son corregidos por medio del control anual.

En la obtención de productos iguales a partir de lingotes iguales, los laminadores duo reversibles producen menos toneladas de acero laminado por unidad de tiempo que cualquiera de los otros laminadores, y eso es debido al re-

lativamente bajo rendimiento de laminación que tienen los otros tipos de laminadores. No obstante, el laminador duo reversible es el mas usado. Su principal característica es la flexibilidad que permite que este tipo de laminador se combine frecuentemente con otros tipos de laminadores para alcanzar mayor velocidad de producción.

Si bien no hay un límite para el tamaño o peso del lingote a laminar, hay un límite económico para la longitud de la pieza obtenida a partir del lingote. Este límite es determinado por dos factores: La Inercia de las partes móviles del equipo y el tamaño de la construcción que va a alojar al laminador.

El lingote es una pieza fundida de aproximadamente 1.5 a 2.5 mts. de largo. En los primeros pases, en que la longitud de la pieza es tan corta que una a tres revoluciones de los rodillos completan un pase, la velocidad de laminación es muy lenta, el cambio de marcha puede ser rápido, la pérdida de potencia en la inversión de la marcha es relativamente pequeña, y; la cantidad de choque de las partes móviles es pequeña. Sin embargo a medida que la pieza aumenta de longitud en los pases subsiguientes, la velocidad de laminación debe ser incrementado para evitar que el acero pierda mucho calor. A alta velocidad, el movimiento en una dirección dura pocos segundos, pero el cambio de marcha consume excesiva potencia y expone a todas las partes móviles a fuertes choques, aun con los mejores controles eléctricos.

Las mesas situadas a ambos lados del laminador de

berán ser tan largas como las piezas laminadas, mas un adecuado espacio libre para la manipulación.

El límite económico de la longitud de una pieza sin desmochar obtenida de un lingote es alrededor de 25 mts.

Los laminadores Duo Reversibles actuales se presentan en tres formas:

El laminador desbastador que está provista de un par de rodillos horizontales acanalados para controlar la forma de la pieza durante la laminación y el trabajo de los bordes de la pieza. Este laminador existe en un amplio rango de tamaños y está diseñada para laminar lingotes de sección cuadrada o aproximadamente cuadradas de hasta 850 mm. de lado, y puede canteear verticalmente, en un paso acanalado, piezas hasta de 1 metro de ancho.

Una variación del laminador anterior y, diseñada para el canteamiento de piezas de hasta 2 metros de ancho, es conocido como un laminador desbastador de alta carga. El se diferencia de las demás por las siguientes características:

Posee cajas mas altas que permiten mayores elevaciones del rodillo superior necesarios para los pases canteadores en la laminación de planchas anchas. El cuerpo del rodillo utilizado, es mas largo y tiene menos pases acanalados. Los motores que operan los tornillos de elevación del rodillo superior, son usualmente mas grandes, permitiendo que la elevación y el descenso del rodillo superior sea realizada más rápidamente.

El rango de laminación de este tipo de laminador es mas grande que los otros laminadores.

La tercera forma es el laminador Universal y esta limitado a la producción de planchones anchos. En este laminador se evita los pases canteadores verticales utilizando en otros laminadores, para ello está provista con un par de rodillos verticales canteadores, en adición al par de rodillos horizontales.

En este laminador, los rodillos carecen de canales. Los planchones producidos por el laminador universal poseen sus bordes más agudos que los planchones producidos en los otros laminadores desbastadores.

La producción de planchones es más rápida en el laminador Universal de planchones que en el laminador desbastador de alta carga, pero el costo de instalación del laminador Universal de planchones es mas alto debido al costo adicional del grupo de rodillos verticales y el motor primario para su movimiento.

a.- Laminador DUO TANDEM

El laminador duo tandem consiste de varias cajas duo simple, situados uno tras otros a tales distancias que permiten que la pieza laminada esté libre entre dos cajas.

Cada caja de rodillos realiza un solo pase en una dirección. Este tipo de laminador tiene el mayor rendimiento entre todos los tipos de laminadores. Además cada stand puede ser diseñado para lograr una reducción y una veloci-

dad de rotación de sus rodillos casi ideales para cada uno de los pases sucesivos de laminación. La desventaja es la excesiva pérdida de tiempo para cambiar los rodillos y para el arreglo de los diseños de los pasos. El laminador tandem es usado como un laminador desbastador para suministrar acero caliente a los laminadores subsiguientes, lo cual permite flexibilidad en los tamaños de los productos, sin embargo, las dimensiones de la sección recta del lingote están confinadas a un límite estrecho.

Por el número de equipos que dispone el laminador tandem es el laminador mas costoso para una reducción dada, pero cuando trabaja a su mayor capacidad, su costo de operación por tonelada de producto es el mas bajo que el de cualquier otro laminador laminando lingotes del mismo tamaño para obtener productos del mismo tamaño.

b.- Laminador TRIO

Este laminador consiste en una caja de tres rodillos horizontales acanalados, uno encima de otro, y mesas de elevación situada en cada lado del laminador de tal modo que la pieza que esta siendo laminada pueda ser pasada alternativamente entre los rodillos inferior y medio y entre los rodillos superior y medio. Con el fin de mantener las dimensiones de los rodillos del laminador y de las mesas, los canales de rodillo medio son usados para la laminación tanto con el rodillo superior como con el rodillo inferior. Desde que en este laminador todos los pasos están en un mismo juego de rodillos, la velocidad de giro de los rodillos seleccionada es demasiada rápida para los primeros pases y

demasiado lenta para los últimos pases.

En un laminador trio, es común el empleo de muescas en los dos primeros pasos para prevenir el resbalamiento del acero, en el ingreso al canal o durante la laminación.

Este laminador utiliza un motor primario de velocidad constante, ayudado por un volante. La elevación y el descenso de las mesas puede ser desarrollada en un menor tiempo que en la empleada en la manipulación en un laminador reversible. Estas condiciones dan origen a que un laminador Trio sea menos costoso y tengan un mayor rendimiento que un laminador duo reversible laminando lingotes iguales para producir productos iguales.

Opuestas a estas ventajas se encuentra ciertas desventajas como por ejemplo: Las grandes demoras en el cambio de rodillos, la inflexibilidad con respecto a las dimensiones de la sección recta del lingote y del producto, además que su velocidad de laminación muy rápida en los primeros pases lo hace menos deseable para el laminado de lingotes en estos pasos.

El laminador Trio se adapta mejor como una caja intermedia donde el pueda ser abastecido con lingotes desbastados y tochos grandes, y donde el pueda suministrar tochos calientes mas pequeños de una o dos formas a un laminador siguiente.

El laminador Trio, también opera como un lamina-

dor de lingote en aquellas plantas en donde el lado de la sección recta del lingote son menores de 350 mm. como es el caso del desbastador de la planta de Laminación Barras de "SOGESA".

4.- OPERACIONES UNITARIAS

El equipo utilizado en la laminación de lingotes en un laminador Duo Reversible es esencialmente el mismo que en los otros tipos de laminadores primarios. Las partes principales de un laminador son demostrados diagramáticamente en la fig. 6.

El personal requerido para operar los controles de un laminador Duo Reversible, consiste generalmente de dos hombres llamados: "El Laminador" y "El Manipulador", cuyas funciones estan definidas por sus títulos; la cabina o estación de control esta instalado en un puente situado sobre una de las mesas del laminador.

Las operaciones unitarias realizadas en un laminador primario son: laminación, cizallamiento y transferencia, las cuales son descritas a continuación.

a.- Laminación

Un carro basculante transfiere el lingote calentado desde la zona de horno de foso a la mesa de recepción de lingotes quien lo entrega a la masa de extensión del laminador. La mesa de recepción, en algunos laminadores, es equipado con giradores de lingotes de manera que el tope del lingote sea laminada primero. En general los laminadores tie-

nen una balanza en la mesa de extensión para el pesado de los lingotes antes que estos sean transportados a la mesa de trabajo y sean laminados.

Durante el ciclo completo de laminación, el acero caliente es transportado por rodillos activos reversibles de las mesas del laminador. Estos rodillos están expuestos a altas temperaturas, grandes pesos y grandes impactos. Sus diámetros varían de 300 a 530 mm.; su longitud de 1.200 a 3.000 mm. y están espaciadas en 600 a 900 mm. Generalmente en la fabricación de los rodillos de las mesas se utiliza a cero forjado.

Cualquier escama desprendida durante el movimiento de la pieza, a lo largo de las mesas o durante su volteamiento por el equipo manipulador, cae por entre los rodillos hacia una batea o depresión situada debajo las mesas y es trasladado con la ayuda de una corriente de agua hacia un foso de decantación.

Mesas de trabajo anteriores y posteriores alimentan y reciben alternativamente la pieza durante cada pase a través del laminador, y unas unidades mecánicas llamadas ma nipuladores giran la pieza en 90 grados y lo mueven desde un paso hacia otro.

Las mesas de extensión llevan los productos laminados, desde la mesa de trabajo posterior del laminador, hacia la cizalla desmochadora. Algunos laminadores tienen una máquina de escarpado en caliente, situada en la mesa de extensión posterior, para eliminar los defectos superficia-

les.

b.- Cizallamiento

Las masas de trabajo y de extensión transportan la pieza laminada desde el laminador hacia la cizalla que se encuentra a aproximadamente 30-60 mts. de separación.

La cizalla desmochadora tiene como función principal eliminar una longitud suficiente del extremo anterior y posterior del material laminado, de manera que la pieza cizallada restante se encuentre con las especificaciones químicas y metalúrgicas deseadas. La cizalla, además, corta la pieza restante en longitudes deseadas y muestras.

Las cizallas pueden ser hidráulicas o eléctricas ellos tienen cuchillas del orden de 2.5 mts. de ancho, capacidad de presión de corte de 1,200 toneladas, pueden efectuar cortes rectos de hasta 200 mm. de espesor y 1,500 mm. de ancho, a una razón de 10 cortes por minuto.

En la cizalla de corte descendente y ascendente la cuchilla descendente mantiene la pieza mientras la cuchilla inferior se eleva para realizar el corte.

La mesa posterior a la cizalla generalmente está provisto de un movimiento de vaivén que permite que la chatarra caiga sobre un transportador situado debajo de la cizalla. La mayoría de las mesas posteriores a la cizalla tienen resguardos ajustables para el enderezamiento de la última pieza y asegurar un corte a escuadra. La cizalla posee un dispositivo llamado calibrador de corte que consiste de

una regla graduada y un tope que detiene la pieza en el punto adecuado por el corte. Las porciones cortadas y desechadas son movidas por un transportador de desmochos a los sistemas de transporte para el retorno al departamento de Acería. La identificación y pesado se realizan con dispositivos de estampado mecánico o plataformas para estampado manual y balanzas para el pesado de las piezas cortadas.

c.- Transferencia

Los sistemas de transferencia mueven los productos cortados desde una zona a otra y puede ser del tipo de cadena continua con ganchos empujadores que enganchan y mueven la pieza por encima de la barra deslizadoras, ó del tipo de viga oscilante que mueven las piezas progresivamente desde un juego de soportes hacia otro. Carritos o carros de transferencia también son empleados para mover los productos terminados desde el extremo de descarga de la mesa sobre los apiladores o sistemas de transferencia.

En los casos en que el tipo de producto permita, las piezas cortadas pueden ser trasladados por medio de mesas de rodillos desde la cizallas hacia una apiladora, de allí la pila puede ser movida por una grúa puente, o trasladadas por medio de rodillos sobre un carro de transferencia.

C.- DISEÑO DE LA CAJA DE RODILLOS LAMINADORES

1.- CIMIENTOS

Los cimientos de las cajas de laminadores dependen del tamaño y del peso de los laminadores y, son construidos

para evitar el asentamiento o deformación de los laminadores.

En las unidades modernas, los cimientos están anclados al suelo por medio de pilotes para incrementar su capacidad de resistir los choques y los golpes comunes a las operaciones de la laminación primaria.

En los diseños de los cimientos para los laminadores balanceados por contrapesos, se deben considerar los espacios necesarios para la colocación de estos mecanismos de balance. El diseño de los cimientos para los laminadores Duo Continuos es simplificado por el tipo de cajas y arreglo de los rodillos usados. Los cimientos de los laminadores Trio deben estar provistos de cuartos debajo y adyacente al laminador para alojar el mecanismo de elevación y manipulación de las piezas entre pases.

El diseño del cimiento también debe tomar providencias para el desagüe del agua, del aceite y de las grasas a sitios bajos o sumideros, desde los cuales pueden ser eliminados por bombas o sifones si es que no se puede proveer desagües naturales. En los cimientos de los laminadores modernos se debe proveer pasajes de acceso al equipo que se encuentra debajo del laminador, conductos de evacuación de las escamas desprendidas de las piezas durante la laminación, y túneles de cables eléctricos.

2.- CAJAS

Las partes componentes y el equipo auxiliar de los

laminadores primarios son extremadamente robustos y de un tamaño muy grande comparado con la mayoría de los otros laminadores.

Los laminadores primarios, laminadores Duo Tandem y los laminadores Trio son generalmente construidos con cajas de tope abierto, mientras que los laminadores Duo Reversible, laminadores Reversibles de Alta Carga y laminadores Universales son construidos con cajas de tope cerrado.

Debido a que las cajas en un laminador primario están instaladas de tal modo que dejan un espacio abierto entre el último rodillo de las mesas del laminador y los rodillos horizontales laminadores, se utilizan rodillos alimentadores anteriores y posteriores para mover el lingote o piezas entre las mesas del laminador y los rodillos laminadores. Estos rodillos deben ser diseñados con cuerpos y muñones macizos para resistir grandes presiones e impactos. También los cojinetes deberán ser diseñados cuidadosamente y deberán estar protegidos de las escamas y del agua.

En los laminadores primarios tipo universal, uno de los rodillos alimentadores, el correspondiente al lado de los rodillos verticales, es omitido. Este rodillo es reemplazado por un rodillo inactivo corto.

D.- DISEÑO DE RODILLOS Y PROCEDIMIENTO DE LAMINACION

1.- DISEÑO DE RODILLOS

Las dimensiones de los rodillos para la laminación de tochos y planchones está determinado por el tamaño

y el tipo del laminador y del producto que se va a laminar. En los laminadores Duo Reversibles, los diámetros de los rodillos son usualmente de 50 a 130 mm. menos que el tamaño del laminador.

En la mayoría de los laminadores Trio, los diámetros de los rodillos son diferentes. El rodillo inferior tiene el diámetro mayor, le sigue el rodillo medio y el rodillo superior tiene el diámetro menor. Los tres rodillos tienen sus cuerpos y sus muñones de la misma longitud.

2.- EFEECTO DEL DISEÑO DEL PASO EN LOS PROCEDIMIENTOS DE LAMINACION

La fig. 17 muestra algunos ejemplos de los diseños de rodillos utilizados en los alimentadores desbastadores. La figura 20-A muestra los diseños más comunes. Los pases de laminación, en general, se realizan en rodillos canalados debido a que estos controlan mejor la forma de los productos.

En el laminado de lingotes la mejor práctica, es utilizar pasos acanalados desde que la aplicación de cualquier reducción relativamente grande a una pieza sin protección en los flancos podría causar el agrietamiento del acero. La resistencia del metal a la deformación en estos canales dan como consecuencia el desgaste de los rodillos. Por eso, los flancos de los canales son hechos cónicos de modo que al rectificar los rodillos, se pueda obtener un paso con un ancho original, lo que no podría ser logrado si los flancos del canal fueran hechos rectos. La conicidad del canal

es hecho tan grande como sea posible habiéndose utilizado con éxito conicidades de hasta 15 grados por lado.

La fig. 17 C y E representan dos juegos de rodillos para laminadores desbastadores de alta carga. El método D que emplea rodillos verticales y horizontales es el más rápido en la producción de planchones. El pase canteador usando rodillos horizontales, fractura las costras de la cara mas ancha del planchón (la cual esta en posición vertical) y permite que estas costras fracturadas caigan por entre los rodillos de la mesa hacia el canal de evacuación situado debajo del laminador. Con el método de laminación usando rodillos verticales y horizontales, la pieza no es volteada y se debe emplear otras formas para separar la costra.

a.- Convexibilidad de los pasos

La convexibilidad de los pasos tienen una doble finalidad:

Una finalidad es la de prevenir la formación de rebabas. Si una pieza, cuyos lados son rectos, es sometida a un pase canteador, el ensanchamiento que se produce origina que el metal salga por entre los collares del rodillo (línea punteada en la fig. 18). La convexibilidad de los pasos generan un cuerpo con lados cóncavos, permitiendo un desarrollo mas considerable en los pases subsiguientes antes que el material salga por entre los collares de los rodillos. Cuando una pieza con rebabas es girada 90 grados y luego laminada, en los lados correspondientes a las rebabas se producen unos defectos conocidos con el nombre de pliegues o

dobladuras, y ninguna laminación adicional puede eliminar este defecto porque ellos han sido cubiertos por una capa de óxidos que impide la soldadura de la rebaba con el resto del metal. Los pliegues también se pueden originar cuando el lado de la pieza es excesivamente cóncava (fig. 13). Las rebabas deben ser cinceladas o escarpadas antes que los planchones, tochos o palanquillas sean laminadas en los laminadores terminadores.

La segunda finalidad de la convexibilidad es proporcionar un lugar conveniente para la hechura de las muescas o ranuras paralelas al eje de los rodillos de los laminadores primarios para incrementar su "Mordedura".

b.- Profundidad de los pasos

La profundidad de cualquier paso diferente del paso barril en los rodillos de los laminadores desbastadores esta gobernado por dos factores:

- 1.- La mayor reducción por pase
- 2.- El mínimo espesor a producir en aquel paso.

La relación entre la profundidad de cualquier paso y el paso barril deben ser tal que el fondo del paso barril no debe estar situado muy encima de las mesas de rodillos para evitar impactos excesivos cada vez que la pieza pase a través del laminador. Como quiera que los pasos ayudan a guiar la pieza y ayudan en la prevención de la formación de rebabas, los pasos serán hechos tan profundos como sean posibles.

Los laminadores reversibles de alta carga requieren rodillos sumamente largos; la mayoría de los laminadores de este tipo tienen rodillos con cuerpos de 2,500 a 3,000 mm. de longitud. Esto es necesario para proporcionar suficiente espacio para los pasos canteadores y para el paso barril.

Los tamaños de los rodillos de los laminadores Universales dependen del ancho del material a laminar, y la forma del producto deseado. En un laminador típico, los cuerpos de los rodillos horizontales tienen 1,125 mm. y 2,000 mm. de longitud.

c.- Muescas

Son ranuras en los rodillos de los laminadores desbastadores y que previenen el resbalamiento de la pieza cuando se usan fuertes reducciones por pase, ellos son poco profundas y paralelos al eje de rodillos. Algunas veces, las muescas son diseños en relieve en vez de ser tallados en los canales de los rodillos.

d.- Indicador de la abertura entre los rodillos

Es utilizado para indicar en una forma visible la abertura entre rodillos. El tipo convencional consiste de un dial grande calibrado con agujas semejantes al reloj. El eje que mueve las agujas están conectadas mecánicamente por barras redondas, engranajes y cables a algunas partes rotativas o ejes en el mecanismo de descenso de los rodillos, de modo que la posición de las agujas en el dial cambia al uní

son con el movimiento de los rodillos. El dial usualmente esta montada en el tope del laminador, donde el pueda ser visto desde la cabina de control.

Ultimamente se ha desarrollado dispositivos operados eléctricamente las cuales preciben y miden algunos movimientos mecánicos relacionados al cambio de colocación del rodillo y transmiten una señal a la cabina de control donde el es transformado en el movimiento de un indicador en un dial donde se puede observar la colocación del rodillo.

e.- Dispositivos de cambio de rodillos

En los laminadores que poseen cajas de tope abierto los rodillos son cambiados desplazando la tapa de la caja y sacando los rodillos hacia afuera separada o colectivamente por medio de grúas puente.

En los laminadores con cajas de tope cerrado, el cambio de rodillos es efectuado a través de la ventana de la caja por varios dispositivos adecuados.

En los laminadores modernos de alta producción en que cualquiera interrupción en el proceso de la laminación significa grandes pérdidas, existe la tendencia de disminuir el tiempo empleado en el cambio de rodillos. Asi por ejemplo el moderno laminador de tiras a caliente, que la ARMCO STEEL CORP. posee en Middletown, esta provisto con un equipo cambiador de rodillos automático, este equipo permite cambiar los rodillos en 3 minutos; mientras que los laminadores antiguos lo hacen en alrededor de 20 minutos.

Esta diferencia de tiempo de alrededor de 17 minutos, en un moderno laminador, como el referido anteriormente, y cuya producción es del orden de los 1,200 metros/minuto, significa mayor producción de alrededor de 20,000 m. de bandas de acero.

f.- Refrigeración por agua

Un punto importante en la laminación primaria es la realización de una buena refrigeración de los rodillos. Para el logro de este objetivo es recomendable mantener en lo posible los rodillos en estado caliente para evitar el desarrollo de las grietas térmicas en la superficie de los rodillos al ponerse en contacto con los lingotes calientes. El suministro de agua deberá ser interrumpido cuando el laminador no esté laminando y se mantendrán los rodillos girando para evitar enfriamientos desiguales que son las fuentes más comunes de grietas en los rodillos. En algunas plantas de laminación es común calentar los rodillos antes de usarlos en la laminación primaria.

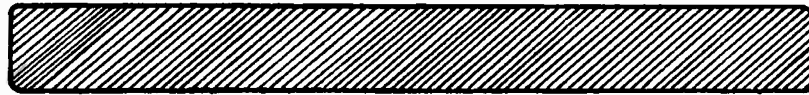
g.- Manipuladores

La velocidad de laminación, en los laminadores primarios, depende del equipo auxiliar, así como también de la velocidad de los rodillos. La importancia de los equipos auxiliares está demostrando por el hecho que en las prácticas de laminación normalmente buenas, una pieza que está siendo laminada está en contacto real con los rodillos solo del 25 a 40 por ciento del tiempo total de laminación.

El tiempo restante es consumida en la manipulación

de la pieza, acentuando la importancia de un equipo robusto y eficiente para el realizamiento de este trabajo.

El giro y el movimiento lateral de la pieza entre pases, así como su enderezamiento, es función de los manipuladores. Usualmente los manipuladores son construidos para tener movimientos horizontales y verticales y en la mayoría de los laminadores, son operados por fuerza hidráulica o fuerza eléctrica. En la mayoría de los laminadores Trio los manipuladores están localizados bajo la mesa, sobre el lado anterior del laminador, los dedos suben entre los rodillos para enganchar la pieza a medida que la mesa es bajada. En otros laminadores, ellos están localizados sobre resguardos laterales, recorriendo lateralmente encima de las mesas a u no o ambos lados del laminador. Estos resguardos laterales están equipados con dedos manipuladores retractables, los cuales tienen un recorrido vertical o cercanamente vertical y sirven para elevar la pieza por una esquina en el proceso de voltearlo 90 grados.

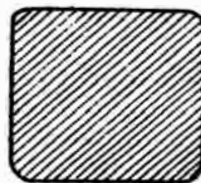


PLANCHON

Siempre oblongas

espesor entre 40 y 220 mm.

ancho entre 600 y 1200 "



TOCHO

Cuadrados o cercanamente oblongos

lado entre 125 y 300 mm.



PALANQUILLA

lado menor, o igual a 125 mm.

mayor o igual a 40 "

fig 15 Secciones rectas características de los planchones, tochos y palanquillas.

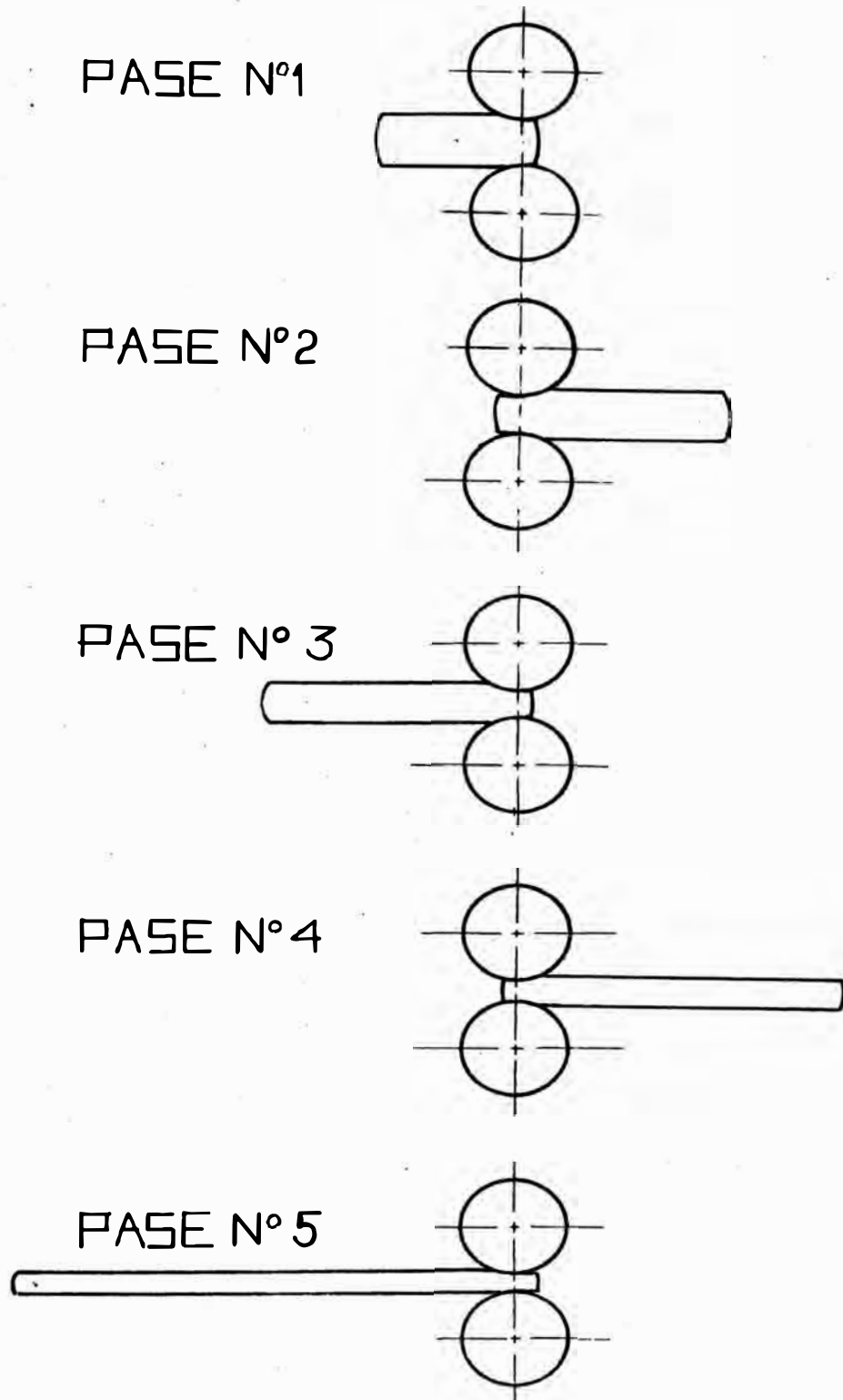
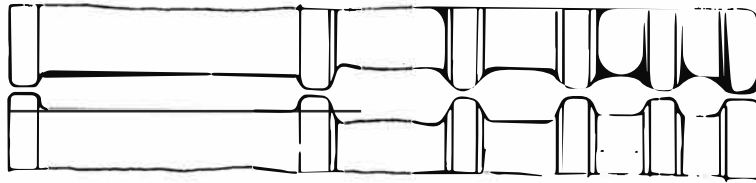
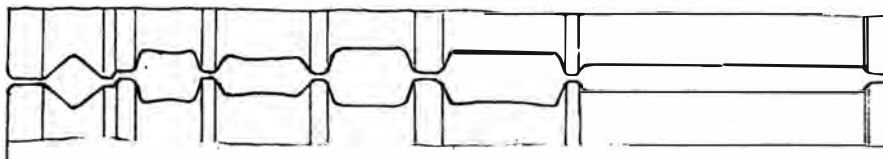


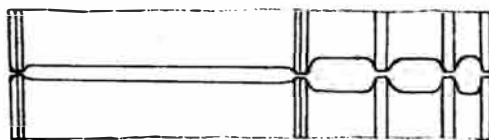
fig N°16 Representación diagramática de la secuencia de operaciones en la laminación de un lingote a un planchón en un laminador duo reversible



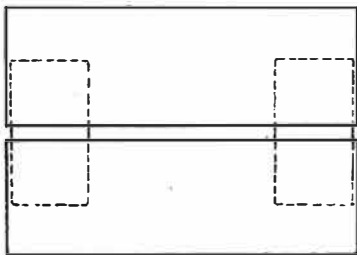
a. Rodillos standard de laminadores **primarios**



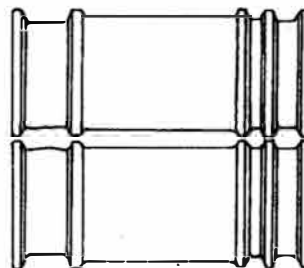
b. Rodillos de laminación primarios y palanquillas



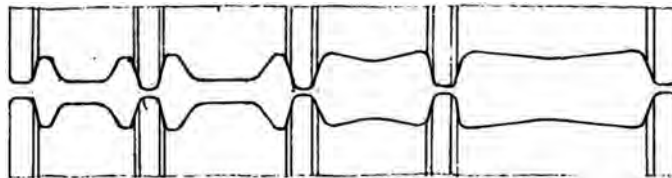
c. Rodillos para laminadores de planchones de alta carga



d. Rodillos para un laminador universal



e. Rodillos para laminadores de planchones de alta carga



f. Rodillos para la laminación de desbastes

Fig. 17 Representación esquemática de varios tipos de rodillos

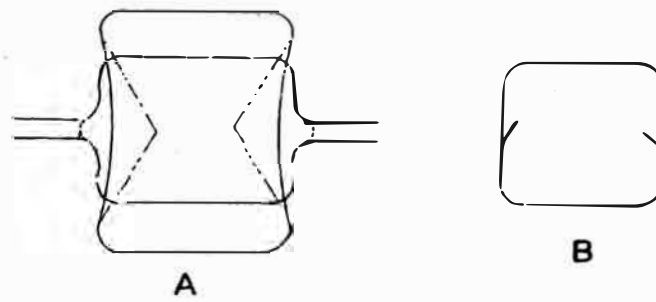
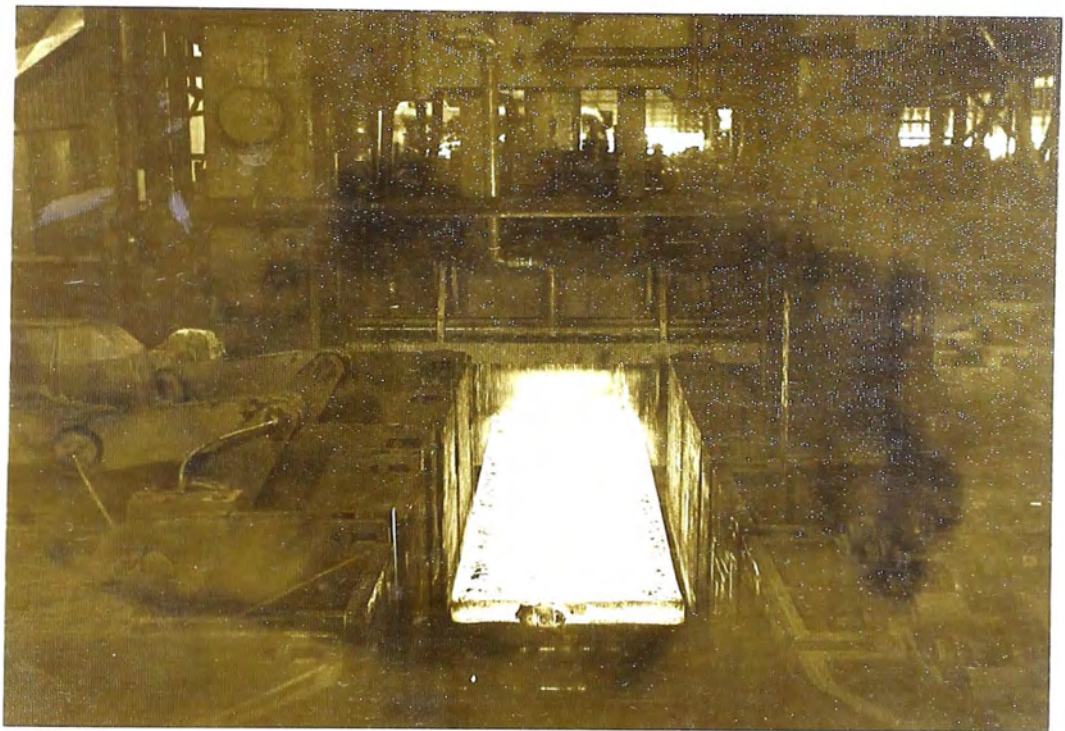


Fig. 18 Representación del efecto de concavidad de las caras del lingote para prevenir la formación de pliegues y cordones.

PLANCHON

Pase Final



CAPITULO VPRODUCCION DE PLANCHAS DE ACEROA.- PLANCHAS LAMINADAS EN CALIENTE

Las planchas laminadas en caliente son productos terminados, planos, laminados en caliente, de espesores mayores que 2.0 mm. y cuyos anchos varían entre 300 y 2400 mm.

Las planchas laminadas en caliente son usadas en la fabricación de puentes, tanques de almacenamiento, recipientes de presión, tolvas, vagones de ferrocarril, construcciones navales, maquinarias y equipo industrial y muchas otras aplicaciones especiales.

Las planchas laminadas en caliente son producidas por la laminación en caliente de planchones recalentados, o de lingotes.

Se llaman planchas cortadas o planchas laminadas cortadas cuando son laminadas entre rodillos horizontales rectos y luego recortados en todos sus bordes.

El borde laminado es el borde normal producido por laminación en caliente entre rodillos horizontales terminadores. Las planchas de borde laminado tienen dos bordes laminados y los extremos cizallados.

Las planchas son llamadas Planchas Universales o Planchas Laminadas Universales cuando son laminadas simultáneamente entre rodillos verticales y horizontales recortados

en sus extremos.

Las Planchas Laminadas de acero al carbono para pisos están dentro de la clasificación de planchas laminadas en caliente.

La mayoría de las planchas de acero producidas son laminadas a partir de aceros al carbono. Sin embargo, también se producen planchas de acero de alta resistencia, planchas de acero aleado, etc.

Una gran proporción considerable de la producción de planchas de acero es sometido a algún tratamiento térmico antes de que ellos sean despachados del laminador, especialmente en el caso de planchas de acero aleado, para alcanzar las propiedades físicas y mecánicas deseadas. Los tratamientos térmicos empleados pueden ser: recocido, normalizado, templado, rebenido, alivio de tensiones, etc.

B.- TIPOS DE LAMINADORES DE PLANCHAS

En general, los laminadores de planchas están comprendidos en dos amplias clasificaciones:

Una clasificación comprende los laminadores universales, las cuales se caracterizan por tener rodillos verticales situados delante y después de los rodillos horizontales. Los rodillos horizontales y verticales son integrados en una unidad de laminación simple y trabajan el material en una forma simultánea. El propósito de los rodillos verticales no es solamente trabajar los bordes del material, en el proceso de reducción, sino también producir un ancho laminado

en acuerdo con tolerancias especificadas.

El segundo tipo incluye los laminadores de planchas en que los anchos finales son alcanzados por el cizallado de sus bordes. Este grupo, a su vez, puede ser dividido en los siguientes tipos de laminadores:

1. Laminador Duo Simple;
2. Laminador Duo Reversible;
3. Laminador Trio;
4. Laminador Cuarto Reversible;
5. Laminador en Tandem; y
6. Laminador Continuo y semicontinuo.

1.- Laminador Duo Simple. El laminador de planchas Duo Simple, usado antiguamente, consistió de una caja duo con sus rodillos accionados en una sola dirección. Las planchas, después de cada pase, eran retornadas al lado de entrada del laminador, por elevación y jalado manual por sobre el rodillo superior, ayudado por su fricción tractiva. La posición de los rodillos de laminación eran regulados después de cada pase por medio de palancas que rotaban los tornillos de presión. Las planchas laminadas en estos laminadores fueron de tamaños y pesos limitados por la habilidad de manipulación manual. Esto restringió su utilidad y los volvieron obsoletos en la producción de planchas terminadas. Los laminadores Duo-noreversibles actualmente se utilizan como fracturadores de escamas y desbastadores en los arre-

glos en tandem.

2.- Laminador Duo Reversible. Los inconvenientes presentados en el laminador Duo Simple sugirió el uso de motores reversibles en los laminadores de planchas mencionados. Estos laminadores modificados, pronto alcanzaron, igualmente, su límite práctico de aplicación para la producción de planchas anchas y delgadas. El hecho de que todos los pases eran efectuados en el mismo juego de rodillos, aceleró el desgaste de rodillos restringiendo la exactitud del espesor obtenido.

La deflexión de los rodillos del mismo diámetro, en reducciones iguales, incrementa con la longitud del cuerpo del rodillo. Así mismo, en reducciones iguales, el incremento en el diámetro de los rodillos (para proporcionar mayor resistencia y rigidez) incrementa la fuerza de separación entre ellos debido a la mayor área de contacto entre el material y los rodillos. Por lo tanto, la disminución de la deflexión del rodillo, progresa en una proporción menor con el incremento de los diámetros de los rodillos.

El uso de rodillos más grandes incrementó la fuerza de separación de los rodillos para reducciones iguales y significó mayores requerimientos de potencia para la laminación. Esto condujo a desarrollos de motores reversibles más potentes. Ninguno de estos desarrollos progresó suficientemente como para satisfacer los requerimientos de expansión para planchas, anterior a la invención de los laminadores TRIO.

Actualmente ya no se utiliza los laminadores duo reversibles para planchas.

3.- Laminadores Trio de planchas. En los laminadores Trios, los rodillos superior e inferior tienen los diámetros mayores, mientras que el rodillo intermedio tiene usualmente dos tercios del diámetro de aquellos, y es movido por fricción. El rodillo superior puede ser elevado o bajado en la caja por medio de tornillos accionados y el rodillo medio puede ser puesto en contacto alternativamente con el rodillo superior e inferior. En el pase inferior, el material pasa entre los rodillos inferior y medio mientras que el rodillo superior actúa como un rodillo de apoyo. El material es elevado sobre el lado de salida por una mesa de inclinación para un pase de retorno entre el rodillo medio y el rodillo superior, mientras que el rodillo inferior actúa como un rodillo de apoyo. Las secuencias de pases alternados es continuada hasta que el material sea reducido a una plancha terminada con el espesor requerido.

El rodillo medio es cambiado cuando el desgaste produce una plancha bombeada que se aproxima a los límites de tolerancia permitidos. Los rodillos de reemplazo son así mismo bombeados para compensar el desgaste producido ya sea en el rodillo superior o en el rodillo inferior. Los reemplazos sucesivos en el curso de una semana son torneados con bombeos progresivamente incrementados para compensar el desgaste de los rodillos superiores e inferiores. Durante el paro de trabajo semanal para el mantenimiento del laminador, los rodillos superior e inferior son torneados a sus contor

nos originales o son reemplazados con rodillos nuevos.

El hecho de que uno de los rodillos utilizados en cada pase sea de menor diámetro que el otro redujo la fuerza de separación entre los rodillos. Así mismo, el tener que reemplazar un rodillo de diámetro pequeño en el curso de laminación, para la compensación del desgaste, facilitó el problema de cambio de rodillos. Este principio, cuando es aplicado a la producción de planchas anchas, soluciona el problema de proporcionar rodillos de resistencias requeridas sin condición de hacerlo tan masivo.

Las mesas de elevación situadas en los lados anterior y posterior, eliminaron la necesidad de utilizar motores reversibles. Las mesas de elevación inclinadas y los motores no reversibles permitieron disminuir el tiempo de laminación. Las continuas demandas comerciales de planchas delgadas y terminadas, que el laminador Trio no podía satisfacer eficientemente, aceleró el desarrollo de otros tipos de laminadores.

4.- Laminador Cuarto Reversible de planchas. El desarrollo del laminador de planchas Cuarto Reversible incrementó aun más las ventajas que los laminadores Trios poseían cuando eran comparados con los laminadores Duo Reversibles.

La relación entre los diámetros de los rodillos de apoyo y los rodillos de trabajo fueron incrementados hasta más de 2 : 1 en comparación con la relación de 3 : 2 existente en los laminadores Trios. Para reducciones semejantes, la fuerza de separación entre los rodillos disminuyó y los

rodillos de soporte proporcionaron mayor resistencia y rigidez. Sin embargo, la adopción general de este tipo de laminador de planchas fue retardada hasta que los cojinetes antifricción llegaron a ser utilizables. Tales cojinetes fueron desarrollados para laminadores de bandas en caliente y para laminadores de reducción en frío y su uso fue extendido a los laminadores de planchas Cuarto Reversibles.

El desarrollo de nuevos tipos de motores redujo los efectos de inercia de las partes masivas del laminador y en el cambio de marcha.

5.- Laminador Tandem. Muchos de los laminadores de planchas de Caja Simple han sido adicionados con una caja adicional formando de esta manera un laminador de planchas en tandem. Los laminadores de planchas en tandem representan una amplia variedad de combinaciones de unidades laminadoras, los cuales realizan dos objetivos principales:

-Dividir la reducción total de los planchones entre dos cajas laminadoras, obteniéndose de esta manera una mayor duración de los rodillos laminadores.

-Disminuir el intervalo de tiempo en la obtención de una plancha a partir de un planchón, incrementando de esta manera la capacidad de la unidad.

Una amplia variedad de arreglos en tandem fueron obtenidos por modificaciones de las instalaciones originales. Los arreglos Tandem pueden incluir un desbastador Duo Reversible con un laminador Trio; un desbastador Duo Rever-

sible con un terminador Cuarto; un desbastador Trio con un laminador Trio, o un desbastador Trio con un terminador Cuarto.

6.- Laminadores Continuo y Semicontinuo. Estos grupos de laminadores de planchas incluyen unidades reversibles desbastadores de pasos múltiples, para laminadores semicontinuos, y unidades desbastadores no reversibles para los laminadores continuos, acoplados con dos o más unidades de pase simple en los cuales las planchas son reducidas simultáneamente. Las cajas duo, trio y cuarto con y sin fracturadores de escamas y canteadoras, son usados como unidades de desbaste, mientras que las cajas cuarto son usadas como unidades terminadoras. Los arreglos de los laminadores semi-continuos, aunque requieren una mayor inversión, tienen varias ventajas sobre los laminadores tipo caja simple y tipo tandem. El trabajo total de reducción está dividido en un mayor número de cajas individuales que en el caso de los laminadores en tandem. El desgaste de los rodillos en las cajas individuales es, por lo tanto, menor que en los laminadores anteriores. El tiempo total para la reducción de planchones a planchas también es menor y el tonelaje de producción por unidad de tiempo es más grande.

C.- OPERACIONES UNITARIAS EN LA LAMINACION DE PLANCHAS

Las operaciones realizadas en la laminación de planchas son las siguientes:

1. Calentamiento;

2. Desescamado;
3. Laminación;
4. Nivelación o aplanamiento;
5. Enfriamiento;
6. Cizallamiento o cortamiento.

1.- CALENTAMIENTO

El calentamiento de planchones tiene como finalidad elevar la temperatura de los planchones hasta un grado tal que alcance un estado plástico, para llevar a cabo económicamente el proceso de laminación, mediante el cual los planchones son transformados en planchas.

El calentamiento de planchones es realizado en hornos discontinuos de recalentamiento. Al igual que la mayoría de los hornos, ellos están constituidos por:

- Una cámara de calentamiento de material refractario para contener los materiales y retener el calor;

- Una solera de metal o material refractario para el soporte de la carga. Las soleras metálicas, generalmente, están refrigeradas con agua. Las soleras de los hornos están construidas para permitir que la carga permanezca en una posición fija, o se mueva en el horno durante el calentamiento.

- Sistemas para la producción de calor y para el

control de la temperatura del horno. Ellos consisten de quemadores de petróleo o de gas;

- Sistemas de distribución de calor y eliminación de gases. Ellos consisten de chimeneas y ventiladores que provocan una circulación de los gases en el horno;

Sistemas de carga y descarga. Ellos consisten de máquinas cargadoras, mesas de rodillos, elevadores de puertas, etc.

El tamaño de los hornos está determinado por el área de su solera, así por ejemplo existen hornos continuos de recalentamiento de planchones con soleras de 180 metros cuadrados de área.

La capacidad productiva de un horno de recalentamiento está determinada por el peso del material calentado por unidad de área de solera y por unidad de tiempo; así tenemos por ejemplo, capacidades que varían desde 10 a 1140 Kg/m² de solera por hora.

La capacidad de un horno está determinada por el área superficial, la forma, el espesor y la composición del metal a calentar, así como la temperatura del horno.

a). Hornos tipo Batch o tipo continuo.

Los hornos semicontinuos o tipo batch son hornos en los cuales los materiales cargados permanecen en una posición fija sobre la solera durante su calentamiento.

En el calentamiento de planchones, los hornos ti-

po batch han sido completamente desplazados por los hornos continuos de calentamiento de planchones.

A continuación se dan las desventajas de los hornos discontinuos.

- Alta inversión por unidad de producción;

Baja eficiencia de solera;

- Elevadas horas-hombre por tonelada de acero calentado.

- Inflexibilidad para el calentamiento lento requerido en los instantes iniciales de calentamiento. En el calentamiento de aceros de alto contenido de carbono, o aceros aleados, los hornos deben ser enfriados para realizar el cargamiento.

- Limitación en la longitud de las piezas a calentar por la tendencia de estos a doblarse cuando estos son extraídos.

b). Hornos Continuos.

Los hornos Continuos de recalentamiento de planchones son aquellos en los cuales los planchones se calientan a la temperatura de laminación a medida que él se mueve a través del horno.

El carguío de estos hornos se puede efectuar por una puerta frontal (más común), o a través de una puerta lateral situada en el extremo de carga. En ambos casos, el

planchón es introducido en el horno por medio de unos dispositivos llamados empujadores. La introducción de cada planchón provoca el desplazamiento de la fila continua de planchones situada sobre la solera del horno, y la descarga del planchón recalentado que se encuentra en la puerta de descarga del horno. El planchón descargado cae por unos deslizadores, sobre una mesa de recepción que lo alimenta a la mesa de extensión del laminador de planchas.

La etapa de calentamiento se efectúa utilizando quemadores localizados encima y debajo del nivel de solera, quienes suministran calor por radiación y convección hacia la superficie superior e inferior de los planchones. La etapa de uniformización se efectúa en la zona de uniformización la cual está previsto de un solo quemador superior.

Los hornos modernos son del orden de 24 a 28 metros de largo, con calentamiento superior e inferior, y con zonas de precalentamiento, calentamiento y uniformización. La evolución de los diseños de los hornos continuos de calentamiento de planchones está ilustrada esquemáticamente en la figura 19.

La figura 20 demuestra la sección de un horno moderno, con tres quemadores, usando un flujo a contra corriente de gases y acero.

La mayoría de los hornos continuos para el calentamiento de planchones existentes fueron proyectados y son operados con cargas frías.

La eficiencia térmica de los hornos de recalentamiento dependen de las temperaturas del metal cargado y descargado, de la disposición de equipos recuperadores de calor y del aislamiento del horno.

Los hornos continuos de planchones, equipados con recuperadores y aisladores, tienen generalmente de 30 a 40 por ciento de eficiencia térmica.

La principal pérdida de calor en un horno calentado con combustible es el calor sensible de los gases de combustión. Otras pérdidas incluyen la pérdida de calor por conducción a través de las paredes de la solera y de la bóveda del horno; por radiación a través de las aberturas del horno y otras superficies del horno; por absorción por las partes refrigeradas del horno, así como también el calor latente de los combustibles no quemados en los gases calientes.

En los hornos modernos, con el fin de recuperar parte del calor sensible de los productos de combustión, se emplean recuperadores. Ellos son más deseables que los regeneradores en los casos en que se desea controlar la atmósfera del horno y se desea obtener un flujo constante de combustible.

Ventajas de los hornos continuos de recalentamiento de planchones:

1. Alta producción por inversión;
2. Pocas horas-hombre por tonelada de acero calen

tado;

3. Facilidad en la carga y descarga del acero;

4. Alta eficiencia del área de solera;

5. Mejor control de la velocidad de calentamiento;

6. Alta producción por metro cuadrado de solera ocupada;

7. Puede ser construido para calentar piezas de diversas longitudes.

Desventajas de los hornos continuos de recalentamiento de planchones:

1. Inflexibilidad para el calentamiento eficiente de pequeños lotes de acero de diferentes grados, tamaños y espesores;

2. Dificultad en el mantenimiento de la solera refrigerada con agua y acumulación de escamas sobre la solera;

3. Necesidad de que los bordes de contacto de las piezas cargadas estén a escuadra para prevenir el amontonamiento;

4. Alto costo de evacuación del horno.

El equipo de control del horno está destinado, fundamentalmente, a lograr que los planchones alcancen un estado plástico uniforme adecuado para la laminación, así como también lograr el tipo de escama adecuada.

El espesor y tipo de escama formada sobre la superficie del planchón depende de la temperatura y el tiempo en que el planchón está expuesto al oxígeno del aire, por consiguiente, depende de la relación aire-combustible utilizado.

En general, los hornos continuos son empleados para calentar planchones fríos.

La producción de un horno continuo varía con el tamaño de su solera y el número y posición de sus quemadores. Así tenemos, por ejemplo, que un horno continuo de calentamiento de planchones, de tres zonas, con una solera de 6,100 mm. de ancho y 25 mts. de calentamiento superior e inferior, es capaz de calentar 110 tons. de planchones por hora a la temperatura de laminación de 1230 C, mientras que un horno de 5 zonas es capaz de calentar hasta 250 toneladas por hora.

En los hornos modernos el calor absorbido por los planchones fríos para alcanzar la temperatura de laminación, es del orden de los 700,000 BTU por tonelada, mientras que el calor total suministrado al horno es del orden de 2,000,000 BTU por tonelada, dando por resultado que la eficiencia del combustible es del orden de $700,000/2,000,000 \times 100 = 35 \%$.

2.- DESESCAMADO

De todos los productos planos laminados en caliente, las planchas y las bandas laminadas en caliente deben

satisfacer los más exigentes requerimientos de acabado superficial, y fue natural que los métodos y equipos de desescamado fueran los primeros en desarrollarse. Entre los métodos y equipos se puede mencionar la utilización de una caja de rodillos de entrada en las cuales se dan reducciones ligeras para el fracturamiento inicial de las escamas. Así también se utilizan rociadores hidráulicos modernos que actúan sobre las superficies superior e inferior del planchón; ellos son colocados en el lado de salida de los fracturadores de escamas y en el lado de entrada de las cajas desbastadoras y las primeras cajas terminadoras. Las presiones hidráulicas utilizadas fueron incrementadas desde 40 kg/cm^2 a 60 kg/cm^2 , que prevalecían antiguamente, a 110 kg/cm^2 . Se ha encontrado que con un calentamiento adecuado, la presión de rociado de 70 kg/cm^2 es apropiada para la producción de superficies terminadas.

3.- LAMINACION

La laminación de planchas está sujeta a varias variables, entre las cuales resaltan las siguientes:

La temperatura; el control de la temperatura debe ser tal que no cauce variaciones en las propiedades físicas del acero;

Las características inherentes del equipo, que limitan los espesores, pesos, anchos, longitudes y aplanamiento de las planchas que se puede obtener en ellos;

El aflojamiento de ajuste (bajo el peso de todas

las partes mecánicas) entre los muñones de los rodillos y las cajas, que limitan las tolerancias que se pueden alcanzar en el producto acabado;

La flexión de los rodillos y el bombeo resultante en las planchas que afectan la precisión del laminador.

Cuando los rodillos están sujetos a la fuerza de separación de una plancha que está siendo laminada entre ellos, ellos son equivalentes a dos vigas apoyadas en los centros de los cojinetes y sometidos a una carga uniformemente distribuida sobre toda su longitud. Las vigas uniformemente cargadas tienen la deflexión máxima en el centro y una condición similar existe entre los rodillos. Para las mismas reducciones, los rodillos de pequeño diámetro están sometidos a menores esfuerzos de separación que los rodillos de diámetro grande, pero estas últimas tienen una mayor resistencia a la deflexión. La mínima deflexión de rodillo y el mínimo bombeo de la plancha son encontrados en un laminador de rodillos de trabajo de pequeño diámetro soportados por rodillos de grandes diámetros. El bombeo (incremento del espesor del centro de la plancha sobre sus bordes) está relacionada a la cantidad de deflexión o flexión de los rodillos.

El desgaste de rodillos es un factor importante en la laminación de planchas. Hay solamente un punto en el arco de contacto de los rodillos con el material en operación a la cual la velocidad lineal de los rodillos y del material por laminar es idéntico. Este punto es llamado pun-

to neutral. En el lado de entrada al punto neutral existe un deslizamiento hacia adelante del punto neutral. Estos deslizamientos contribuyen al desgaste del rodillo, y a medida que la porción central de la cara del rodillo se pone en contacto con el material en todo su ancho, el está sujeta al mayor desgaste y desarrolla gradualmente un contorno cóncavo a través de la cara del rodillo acompañada por una superficie áspera. El efecto del desgaste del rodillo sobre el bombeo de la plancha y sobre el acabado de la superficie puede ser visualizado fácilmente.

La variación de temperatura existente en el extremo frontal y el extremo posterior de la plancha constituye también un problema en la laminación de planchas. Cada pase de laminación requiere un intervalo de tiempo para su realización. En los pases iniciales, cuando el material es relativamente grueso y corto, el intervalo de tiempo no tiene efectos prácticos en la creación de diferencias de temperatura en el material. A medida que el material es convertido en una pieza ancha, delgada y alargada, el intervalo de tiempo originará variaciones de temperatura de tales magnitudes que se deben prever las variaciones en las medidas en orden para obtener una pieza con las medidas requeridas. Las diferencias de temperatura son minimizadas por la reducción del tiempo de laminación.

4.- NIVELACION

En general, la cantidad de aplanamiento requerido

por una plancha, después de abandonar los cilindros laminadores, se incrementa con el decrecimiento de su espesor. La eficiencia de aplanamiento de un laminador, se incrementa con el decrecimiento del diámetro y separación entre sus rodillos y, con el incremento de la temperatura de la plancha. Para planchas de pequeño espesor, se utilizan un nivelador de rodillos de pequeño diámetro con ligeras separaciones entre ellos contiguo a la caja terminador del laminador.

La nivelación de planchas gruesas, a la temperatura correspondiente, requiere rodillos con mayor rigidez y resistencia que los rodillos para las planchas delgadas. Las planchas gruesas, debido a su alta temperatura de acabado son sometidos a un enfriamiento para alcanzar la temperatura de nivelación.

Para la nivelación en frío, se utiliza niveladores con rodillos de pequeño diámetro apoyados en rodillos cortos, rígidamente soportados. Ellos proporcionan la combinación de rigidez y bombeo necesario.

5.- ENFRIAMIENTO

Las planchas salidas del nivelador de rodillos deben ser enfriadas uniformemente para evitar la creación de tensiones y deformaciones localizadas. Como la mayor cantidad de calor que abandona la plancha es realizada por contacto con otra superficie metálica que por exposición a la atmósfera, es necesario que el transporte sea realizado en dispositivos tales que solo permita contactos momentáneos, alternados, con la superficie inferior de la plancha para

lograr que el enfriamiento del lado inferior sea efectuado principalmente por radiación de manera similar a la superficie superior. Esta condición de enfriamiento será mantenido hasta que alcance temperaturas en los cuales las planchas no sean susceptibles a la distorsión por el enfriamiento desuniforme.

6.- CORTE

Normalmente las planchas son cizalladas a temperaturas superiores a la temperatura atmosférica. El factor más importante en el cizallado de planchas es la tolerancia apropiada para compensar la contracción de las planchas.

Los equipos manuales de cizallamiento de planchas introduce algunos grados de desviación de la exactitud teórica. Arreglos de dispositivos mecánicos y diales unidos con el equipo de cizallado reduce la frecuencia y el grado de desviación.

La composición química del acero limita en una manera general el máximo espesor de la plancha que puede ser manufacturado por cizallamiento.

Las planchas rectangulares, circulares y semicirculares y anillos pueden requerir cortes a gas o cortadores especiales para ciertas composiciones químicas y espesores.

Equipos de corte especiales, semejantes a cizallas circulares, son usados para formas cortadas en frío a partir de planchas rectangulares, siempre que la composición y el espesor de la plancha lo permita.

7.- IDENTIFICACION, INSPECCION Y CARGAMIENTO

Con excepción de los materiales de pequeños espesores o angostos, las planchas son marcadas por estampado ó pintado para mostrar el número, colada y cualquier otra marca requerida para su identificación.

La inspección puede ser:

a.- Inspección de Forma

Que consiste en la medición del espesor, ancho y largo de la plancha. Además la medición del aplanado, curvado y el escuadrado. Todas estas mediciones deberán estar dentro de las tolerancias establecidas.

b.- Inspección de aspecto superficial

Verificación que las superficies estén libres de defectos que afecten su uso.

En el caso que se requiera tratamientos térmicos, las planchas son enviadas a la línea de tratamiento térmico.

c.- Inspección de Propiedades Físicas y Químicas

Con el fin de realizar la inspección de Propiedades Químicas y Físicas, se toman muestras de las planchas producidas. Entre los ensayos a que son sometidos estas

muestras tenemos:

- 1.- Ensayo de tracción para determinar los valores de:
 - Resistencia a la tracción;
 - Límite Elástico;
 - Alargamiento;
 - Reducción de área.
- 2.- El ensayo de impacto
- 3.- El ensayo de doblado
- 4.- Ensayo de Embutido
- 5.- Impresiones de azufre para verificar si se ha realizado el desmochado correcto
- 6.- Medición del tamaño de grano.

Defecto en un Planchón . "Doble piel"

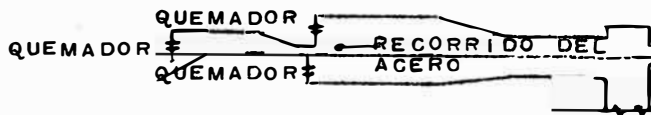




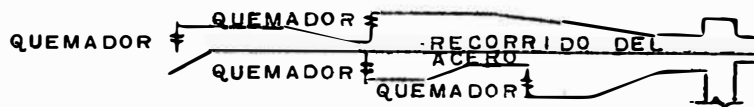
UNA ZONA-CARGA FRONTAL DESCARGA LATERAL



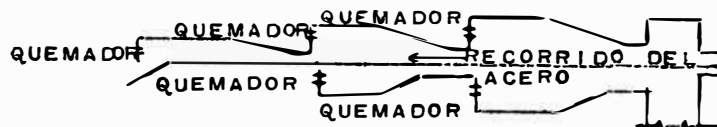
DOS ZONAS-CARGA LATERAL DESCARGA LATERAL



HORNO DE TRES ZONAS



HORNO DE CUATRO ZONAS



HORNO DE CINCO ZONAS

FIG. 19: REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA EVOLUCION DE LOS HORNOS DE RECALENTAMIENTO.

PLANO 03

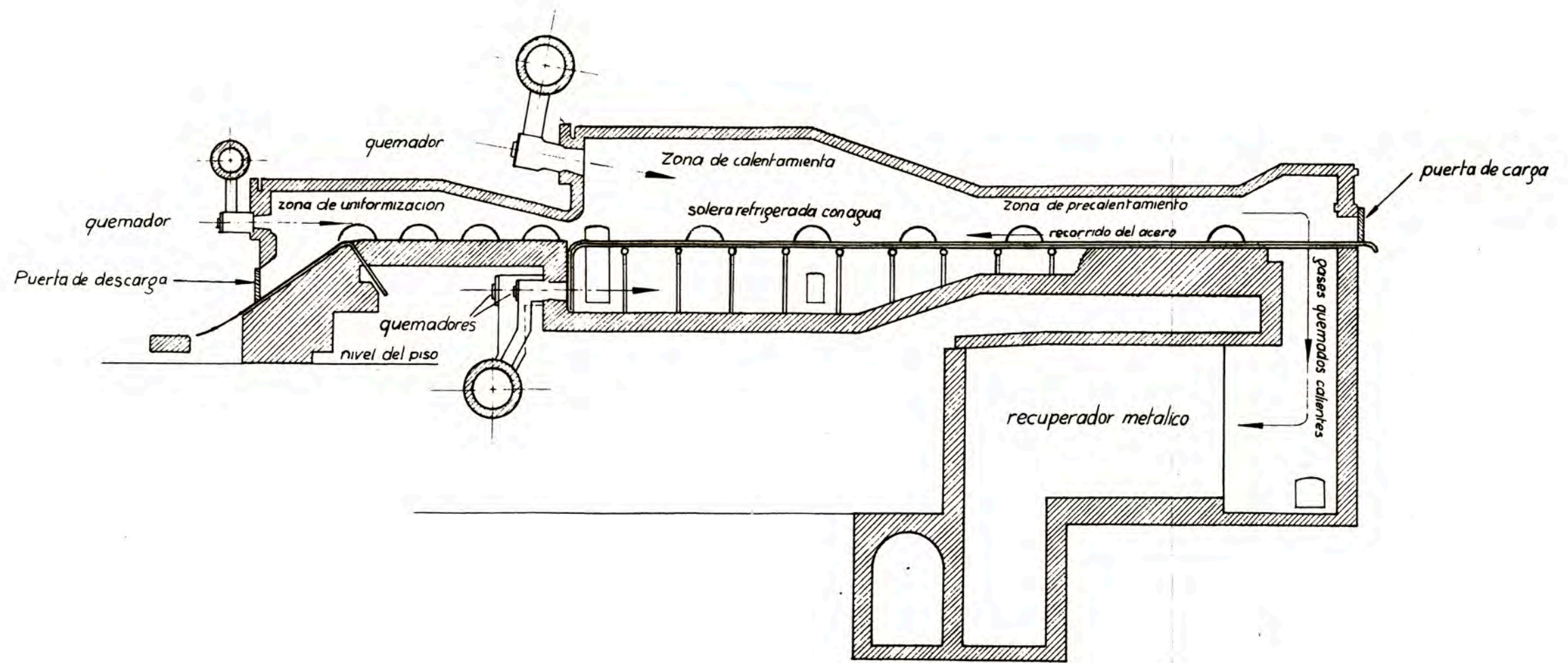


fig 20 Seccion longitudinal esquematica de un horno continuo de recalentamiento de planchones

BIBLIOGRAFIA

- 1.- THE MAKING, SHAPING AND TREATING OF STEEL: Capítulos 18, 19, 20, 21, 22, 23. Octava edición, editado por la USS en 1964. USA.
 - 2.- LAMINACAO E FORJAMENTO DOS ACOS: por el Prof. Louis Colombier, editado por A.B.M. Brasil.
 - 3.- QUALITY CONTROL HAND BOOK: Por Jurom. Editado por McGraw Hill Co. USA.
 - 4.- RECOMENDACIONES DE NORMAS PANAMERICANAS: Preparadas en los Seminarios de 1962-1963 por el Comité Panamericano de Normas Técnicas (COPANT) en colaboración con el Instituto Latinoamericano de Fierro y Acero (ILAFIA).
 - 5.- METAL HANDBOOK: Properties and Selection of Metals. 1961 Eighth Edition. Volumen 1. Publicado por American Society for Metals.
 - 6.- STEEL PRODUCTS MANUAL: Enero de 1964. Editado por American Iron and Steel Institute.
 - 7.- Apuntes del autor, en los cursos de Fierro y Acero II, y Metalurgia Física del Dpto. de Metalurgia de la U.N.I. 1967.
-