

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA DE

PETROLEO Y PETROQUIMICA



**“ TECNOLOGIA EN LA FABRI-
CACION DE CILINDROS DE
LAMINACION ”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ROGER A. SAMAME LEON

PROMOCION 1983

LIMA - PERU - 1977

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
INTRODUCCION	3
1. ASPECTOS GENERALES	7
1. Tipos de cilindros para Laminación.	10
1.1 Cilindros para Laminación, de Hierro Fundido.	11
1.2 Cilindros para Laminación, de Acero Fundido.	12
2. Descripción de la Fabricación.	13
2.1 Fabricación de Cilindros en Hierro Fundido.	21
2.2 Fabricación de Cilindros en Acero Fundido.	26
2. METALURGIA DE LOS CILINDROS LAMINADOS.	29
1. Propiedades requeridas.	29
2. Consideraciones de Composición Química y Microestructura.	32
3. El Acoquillado en los Cilindros.	39
3.1 Cilindros de Hierro Fundido con Temple definido.	39
3.2 Cilindros de Hierro Fundido con Temple indefinido.	43
4. Tratamientos Térmicos.	45
4.1 Relación con el Diseño de los Hornos.	52
3. SELECCION DEL MATERIAL PARA LA FABRICACION DE CILINDROS LAMINA- DORES.	57
1. Factores básicos.	58
2. Calidades y cualidades recomendables	60
2.1 Cilindros en Acero Forjado.	61
2.2 Cilindros en Acero Moldeado.	65
2.3 Cilindros en Hierro Fundido.	67

4. MECANIZADO DE CILINDROS.	74
1. Operación del Virutamiento.	74
2. El Rectificado Cilíndrico Externo.	81
5. DISEÑO DE UN CILINDRO DE LAMINACION.	85
1. Planteamiento.	86
2. Cálculos	91
3. Planos del Cilindro.	100
6. EVALUACION DEL ESTUDIO Y ASPECTOS COMPLEMENTARIOS.	110
1. Recomendaciones	112
2. Consideraciones Económicas.	117
CONCLUSIONES	122
BIBLIOGRAFIA.	124

INTRODUCCION.

Los cilindros de laminación constituyen los medios más importantes para el conformado de metales en la Industria de los Materiales Ferrosos y No Ferrosos.

Así como la invención de la rueda revolucionó el concepto del transporte, la introducción de los cilindros de laminación permitió obtener grandes cantidades de metales conformados a costos bastante convenientes y las constantes mejoras, en la calidad de ellos, están estrechamente relacionadas con el desarrollo de la industria del acero, de algunos metales no ferrosos y aún con algunos casos de materiales plásticos no metálicos.

La historia de los cilindros de laminación es muy oscura y los primeros testimonios documentados se remontan al año 1449, en Alemania, en donde Rudolph de Nuremberg construye un pequeño tren con cilindros, logrando achatar alambres de oro.

En 1553 el Francés Brulier Lamina oro y plata en chapas para fabricar monedas. Sin embargo el poeta Eobanus Hess, en su poema "Urbs Norimbergia" escrito en latín el año 1532 describe un laminador que trabajaba hierro en caliente y lo estiraba para transformarlo en cintas, sin necesidad de martillarlos. Es posible que Hess se refiriera a la invención de su compatriota Hans Lobsinger, oriundo también de Nuremberg.

El Inglés Bervis Bulmer en 1590 patentó una laminadora para fabri -

car pequeñas cintas en metales preciosos e incluso hierro. Por esa época, el Francés Godefroi de Bochs monta en el condado inglés de Kent un ingenio, constituido por discos de bordes endurecidos espaciados en un eje y comandado por rueda hidráulica, que utilizó en la fabricación de clavos.

El advenimiento del Siglo 17 nos trae los primeros documentos incontrovertibles que demuestran que el hombre comienza a laminar productos planos en caliente. Hay evidencias del uso de cilindros de hierro fundido, ubicados en marcos de madera, utilizados para el laminado de chapas de plomo y estaño en frío y de hierro pudelado en caliente. Escritores alemanes hacen remontar a Sajonia en 1620 para referir la fabricación de chapa para hojalata, la cual es exportada a Inglaterra alrededor del año 1655.

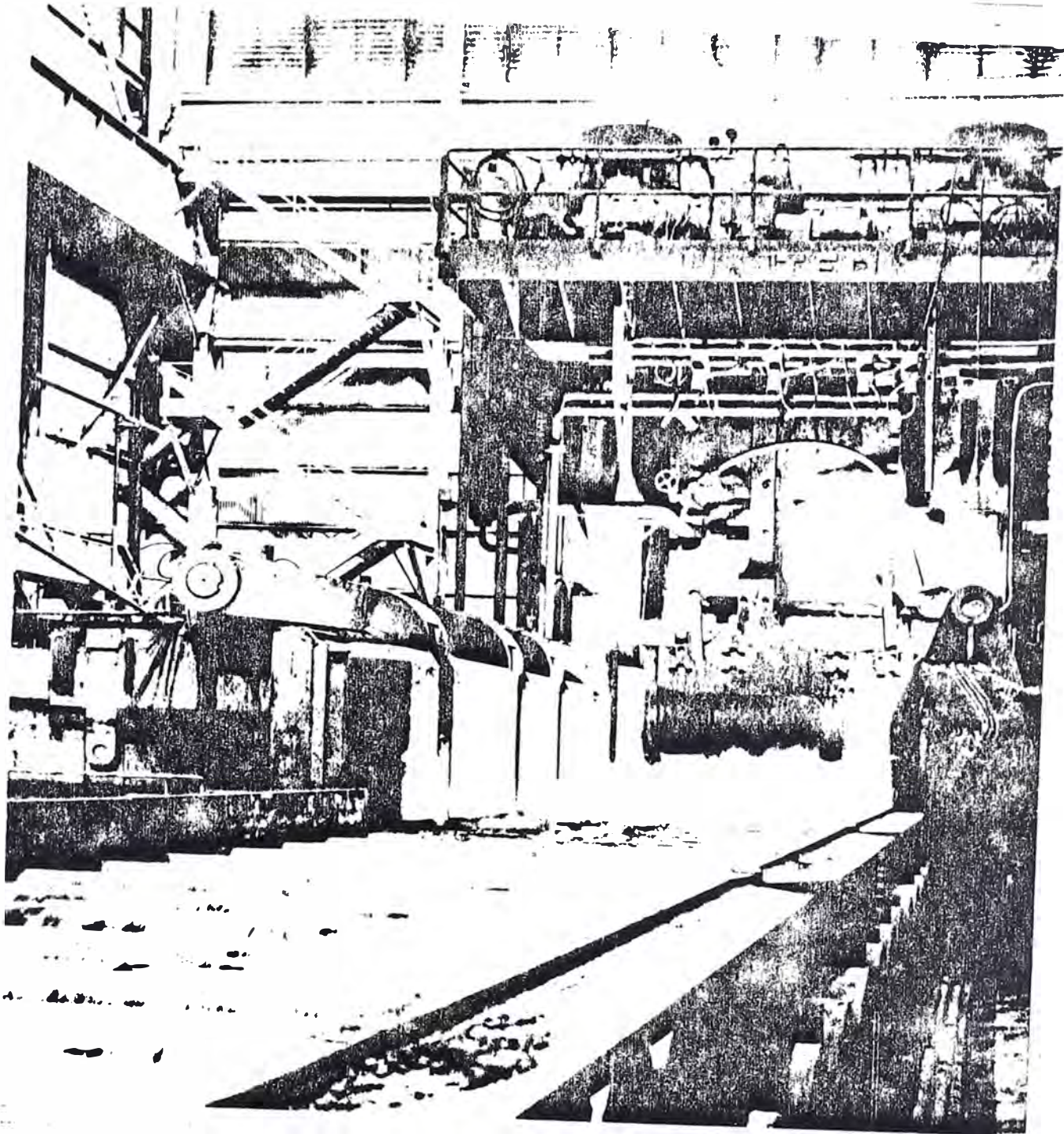
En 1697 aparece por primera vez una evidencia escrita de la introducción de cilindros acoquillados cuyo inventor, John Hanbury de Gales, los usa para laminar chapas de 48" x 24" para estañar con lo cual Gales arrebató a Sajonia la supremacía en el campo de la hojalata.

La centuria del siglo 18 marca el asentamiento definitivo de la laminación, merced fundamentalmente a los trabajos del inglés Henry Cort, quién con justicia es llamado el Padre de la Laminación, ya que el 17 de Enero de 1783 emite su histórica patente N°1351 la que describe, en una operación unitaria, el desbaste trabajando directamente la masa pudelada entre cilindros, o sea eliminando el forjado intermedio. Luego introduce un calentamiento secundario y lamina

las barras en cilindros acanalados calibrados, obteniendo secciones gradualmente más pequeñas mediante pasadas sucesivas con giros a 90°. El proceso es de diez a quince veces más rápido que lo conocido hasta entonces y se le considera el origen de la laminación moderna.

Los desarrollos de Cort no tardan en popularizarse y de Inglaterra pasan a Francia, Bélgica, Luxemburgo, etc.

Desde 1800 hasta el presente han tenido lugar una serie de innovaciones que han permitido obtener metales conformados de configuraciones tanto más complejas, trabajando con lingotes de mayores tonelajes y hacia metas que signifiquen cada vez mejores performances.



1. ASPECTOS GENERALES.

Se llama laminación al proceso consistente en deformar plásticamente los metales, para reducirles su sección y/o cambiar su forma, haciéndolos pasar entre cilindros. Es el procedimiento más utilizado para el conformado de metales, porque es el que mejor se presta a producciones elevadas y permite obtener un buen control de los productos finales.

La laminación suele iniciarse con el lingote colado y es posible obtener diferentes tipos de formas o productos, tales como tochos, planchones, redondos, chapas, rieles, perfiles estructurales, etc.

Un laminador se compone esencialmente de un conjunto de cilindros, cojinetes adecuados, las columnas de soporte o bastidores y un sistema motriz con control de velocidad para el accionamiento de los cilindros.

Los laminadores se clasifican de acuerdo al número y disposición de los cilindros. El tipo más sencillo y corriente es el laminador dúo, en el cual dos cilindros de igual diámetro giran hacia la misma dirección. Luego tenemos el laminador trio que tiene dos cilindros, uno superior y otro inferior, accionados mecánicamente y un tercer cilindro intermedio que gira por fricción. El laminador cuarto consiste de dos cilindros de trabajo de pequeño diámetro, que permiten notable disminución en la potencia necesaria para laminar, cada uno de los cuales han de ser soportados por cilindros de mayor diámetro llamados de apoyo o respaldo.

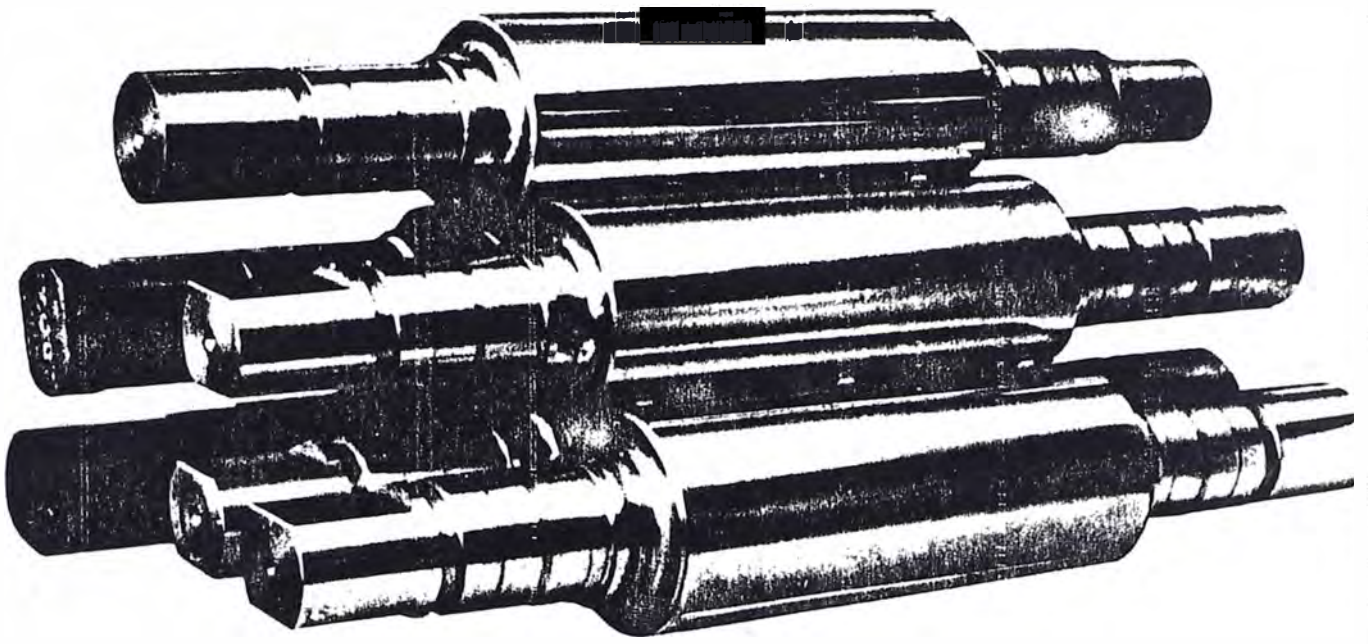
Existen otros tipos de laminadores, tales como el Cluster y el Sendzimir, en los que cada cilindro de trabajo está respaldado por todo un juego de cilindros.

Para conseguir producciones más elevadas, es necesario acoplar los laminadores en serie de forma que el material pase sucesivamente a través de ellos, este conjunto es lo que se denomina un tren de laminación y a cada laminador de los que lo componen se le denomina una caja, estación o stand. Como en cada caja es diferente la reducción sufrida por el material, éste se debe mover a diferente velocidad en cada una de las que componen el tren. La velocidad de los rodillos o cilindros debe estar convenientemente sincronizada para que los de cada caja tomen el material a la misma velocidad con que sale de la caja precedente.

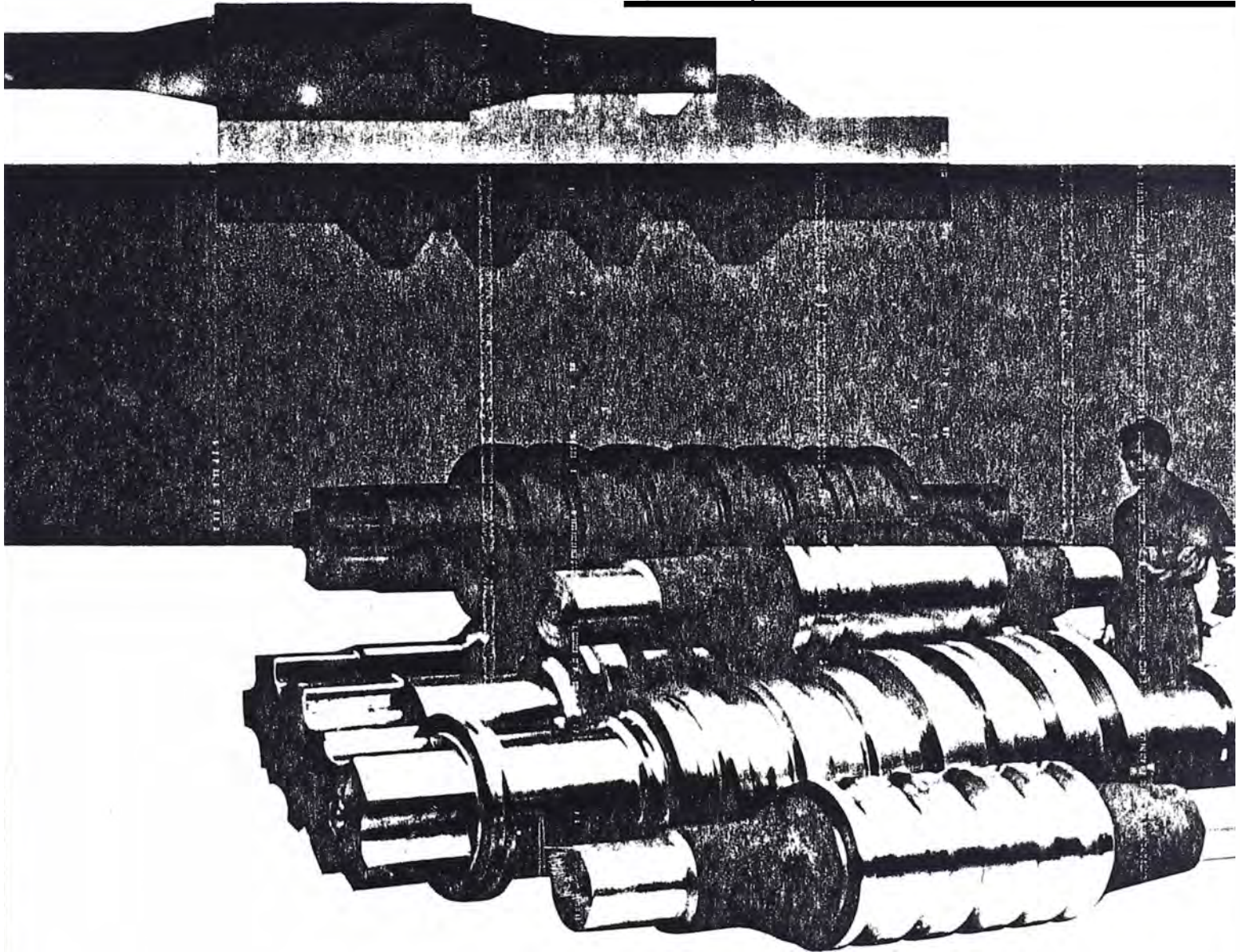
En lo que respecta al cilindro o rodillo de laminación, las partes fundamentales que lo constituyen son:

- La tabla o cuerpo del cilindro. Corresponde a la sección central y de mayor diámetro. Es la parte principal y la destinada a efectuar el trabajo de laminado propiamente dicho.
- Los cuellos, construidos a ambos lados de la tabla y lo más cerca posible a ella, que apoyan sobre cojinetes para permitir el movimiento de rotación.

Los muñones, situados a los extremos de los cuellos y permiten el acople al mando motriz, pueden ser de formas variadas.



Cilindros para laminar bandas en caliente



Diversos cilindros para perfiles, precalibrado

1.1 TIPOS DE CILINDROS PARA LAMINACION

Con el fin de satisfacer las innumerables exigencias a que se encuentran sometidos en los distintos trenes de laminación y en las diferentes posiciones dentro de un mismo tren, se ha desarrollado una variedad sumamente extensa de cilindros en lo que a sus características físicas y metalúrgicas se refiere.

Dentro de los dos grandes grupos en que podemos clasificar a los cilindros, forjados y fundidos, éstos últimos han ido ganando terreno debido a que su calidad ha sido constantemente mejorada, mediante el desarrollo de nuevas aleaciones y de nuevos métodos de fabricación.

Los cilindros fundidos suelen a su vez clasificarse dentro de dos familias:

- Cilindros de hierro fundido.
- Cilindros de acero fundido.

El contenido de carbono varía desde 0.25 % hasta 3.80 % y no se toma como punto de separación al clásico 1.70 % C sino la presencia o ausencia de grafito, respectivamente, en las zonas no acoquilladas. Según esta definición, cilindros aún hasta con 2.60 % C serán considerados de acero fundido, obviamente mientras que cumplan la condición indicada.

1.1.1 CILINDROS PARA LAMINACION, DE HIERRO FUNDIDO.

Como se mencionó anteriormente, son aquellos que presentan carbono libre o sea grafito precipitado ya sea durante la solidificación y/o el enfriamiento al estado sólido.

La cantidad, forma, distribución y tamaño del carbono libre precipitado como grafito dependen de la composición química, velocidad de enfriamiento y método de fabricación empleados.

Siendo el grafito una fase no coherente con la matriz metálica y de muy pobre resistencia mecánica, su presencia es equivalente a la de cavidades internas del material con la consecuente disminución de sección efectiva frente a las sollicitaciones mecánicas y además actúa como focos concentradores de tensiones.

El grafito no es susceptible de ser modificado mediante tratamiento térmico y por ser un microconstituyente que juega un rol decisivo en el comportamiento mecánico de los hierros fundidos, la tecnología en la fabricación de cilindros de este grupo debe ser muy depurada y es más exigente que para los cilindros de acero fundido.

Sin embargo frente a tal problemática, el grafito aporta ventajas por su mayor capacidad de disipar el calor, por actuar como material autolubrificante y proveer mejores condiciones para el agarre del metal a laminarse. Además la obtención del grafito en forma de nódulos o esferoides, mediante el empleo del magnesio y/o tierras raras, ha significado un aporte trascendental ya que la mejo-

ra de las propiedades mecánicas de los hierros fundidos es sustancial y esto ha permitido reemplazar ventajosamente al acero en la fabricación de determinados cilindros para laminación.

1.1.2 CILINDROS PARA LAMINACION, DE ACERO FUNDIDO.

Los cilindros de acero fundido logran alcanzar valores de resistencia y tenacidad inferiores a los forjados pero suficientes para cubrir los requerimientos necesarios en servicio, razón por la cual han logrado reemplazarlos por su menor costo y la obviamente menor inversión en el equipo de fabricación. Los cilindros de acero fundido son susceptibles de ser mejorados en sus propiedades mecánicas, aún para corregir posibles desviaciones de calidad en su elaboración, mediante tratamientos térmicos tales como esferoidizado o globulizado, normalizado, templado y revenido, etc. Los cilindros de este tipo suelen fabricarse en el rango de 0.30 a 2.60 % de carbono. A medida que aumenta el contenido de dicho elemento se incrementa la resistencia a la tracción, en desmedro de la elongación, hasta alcanzar un valor máximo a la composición EUTECTOIDE. Hasta aquí solamente la transformación de la austenita y las propiedades de las fases resultantes son de interés metalúrgico. En los aceros hipereutectoides la dureza varía en relación directa al contenido de carbono mientras que la resistencia a la tracción queda supeeditada a la forma, cantidad y distribución de los carburos presentes. La morfología de este microconstituyente es función de la velocidad de enfriamiento durante la solidificación del cilindro, el tipo de tratamiento térmico y/o la acción de determinados elementos aleantes.

1.2 DESCRIPCION DE LA FABRICACION.

Debido a la compleja y especializada técnica que involucra, la manufactura de cilindros para laminación es efectuada solamente por algunas pocas empresas aún en los países altamente industrializados. Cada cilindro debe ser fabricado de acuerdo a los requerimientos de la función específica que cumplirá dentro del tren para laminación, el cual deberá estar encuadrado dentro de los límites de equipo disponible por la firma manufacturera. La descripción de la fabricación será presentada de manera individualizada en lo que respecta a las diferentes etapas del proceso.

1. SELECCION DE LA COMPOSICION QUIMICA.

La mayoría de los trenes para laminación están en operación durante varios años y han desarrollado una historia bastante completa sobre el tipo de materiales para cilindros que les han rendido más satisfactoriamente. Es importante determinar cual ha sido esta historia cuando se trate sobre aplicaciones específicas de laminado, esto es el tipo de materiales que les ha sido suministrado en el pasado, la clase de problemas que han encontrado y los rendimientos obtenidos. Es asimismo muy conveniente, para los metalúrgicos de cilindros, efectuar visitas ocasionales a tantas plantas de laminación como les sea posible para apreciar los tipos de laminado que se realizan, las condiciones de trabajo a que están sometidos los cilindros y los problemas que pueden surgir durante la operación.

De esa forma, a medida que transcurre el tiempo irán adquiriendo

una experiencia personal muy importante la cual acoplada a la experiencia intrínseca captada en su fundición, en donde han aprendido a reconocer algunas virtudes y limitaciones de los diversos materiales que producen, ayudará a efectuar la selección apropiada para una aplicación determinada.

II METODO DE FABRICACION.

Entre los márgenes usuales en la industria de la fundición, cada rango composicional permite la obtención de determinadas propiedades físicas en función de la disipación térmica que se genere durante la solidificación y/o enfriamiento al estado sólido de cualesquier pieza colada.

En la fabricación de cilindros para laminación los regímenes de enfriamiento son controlados confeccionando los moldes con materiales que poseen determinadas capacidades de disipación térmica. Es así que se presentan los tres esquemas básicos siguientes:

- Cilindros colados en moldes de arena refractaria.
- Cilindros colados en coquilla. Las zonas del molde que corresponden a los cuellos y muñones son confeccionadas en arena refractaria mientras que para la tabla el molde es metálico.
- Cilindros colados en coquilla revestida. Es un esquema similar al anterior con la diferencia de que el molde metálico para la tabla, es recubierto con una capa de arena refractaria.

III. CONFECCION DEL PLANO DE ENSAMBLE DEL MOLDE.

A partir del plano del cilindro terminado, esto es con las dimensiones y calidades de superficie necesarias para entrar en servicio, se introducen modificaciones dimensionales que permitan la solidificación dirigida hacia un alimentador o reservorio de metal. Luego se establecen los sobredimensionados necesarios para los maquinados que se requieran. Se determinan los espesores convenientes para las paredes del molde, las dimensiones de las cajas de moldeo y accesorios a utilizarse. Teniendo en cuenta las consideraciones señaladas se procede a confeccionar el plano de **ensamble** del molde para el cilindro, el cual deberá incluir el sistema de colada adecuado para el vaciado del metal líquido.

Dicho plano constituirá la base para el desarrollo de las operaciones posteriores con miras a la obtención de un cilindro fundido.

IV. CONFECCION DEL UTILAJE.

Esta etapa constituye la fase preliminar para la fabricación propiamente dicha y comprende la elaboración del conjunto de accesorios que se requieren para la consecución del molde, entre dichos accesorios hay que señalar, por ser los más importantes, los siguientes:

- Cajas de Moldeo.

El diseño es el convencionalmente usado en los talleres de fundición, de rigidez y estabilidad adecuados a las dimensiones del -

cilindro a fabricarse. Los planos basales deberán ser maquinados y paralelos para garantizar un ensamble vertical correcto.

La caja que constituirá la base del molde debe tener una ventana lateral para el acople de las cajas auxiliares que llevarán los canales de ingreso del metal líquido.

- Coquillas.

Cuando sean requeridas se confeccionan en hierro fundido gris, con tratamiento térmico de recocido y mecanizadas según el método de fabricación a seguir.

- Modelos.

De los cuellos, muñones, alimentador, canales de colada y ocasionalmente de la tabla del cilindro.

Son confeccionados en madera o aluminio y centrados mediante dispositivos que permitan garantizar la coincidencia de las partes durante el ensamble del molde.

Deberán cumplir con los requisitos usuales para los talleres de fundición, entre los cuales hay que recalcar la conicidad necesaria para la salida o extracción en el moldeo y el sobredimensionado que permita contrarrestar la contracción de la pieza durante el enfriamiento al estado sólido.

V. PROCESO DE MOLDEO.

El aspecto común a los tres métodos de fabricación lo constituye -

el ensamble del molde para la colada vertical de los cilindros, a través de un canal de entrada tangencial y por la parte inferior del molde. Ello permite la centrifugación del metal líquido durante la colada, de modo que los gases e inclusiones no metálicas sean conducidos hacia el eje del cilindro y posteriormente transportados, por el flujo líquido, al alimentador en donde no ocasionarán deterioro a la integridad de la pieza. En lo que respecta a la elaboración de las partes del molde confeccionadas en arenas refractarias, la compactación de éstas alrededor de los modelos se efectúa mediante apisonadores neumáticos, proyectores de arena del tipo Sandslinger o por vibración para el caso de mezclas con resinas furánicas de fraguado en frío.

Cuando se trata de coquillas revestidas, especialmente para los cilindros con canales en la tabla, el proceso de moldeo es más complicado y deberá ser efectuado por personal altamente calificado ya que se requiere el empleo de plantillas calibradas para el terraje de la cobertura, previamente adherida a las coquillas mediante alguna pasta resistente al calor.

Se utilizan arenas sintéticas para moldeo, generalmente las de base sílice satisfacen la condición de refractariedad sobre todo si se les recubre con pintura de buena calidad tales como las de grafito o zirconio. Para condiciones muy severas pueden utilizarse arenas para moldeo base cromita o zirconio.

Es muy importante el control de la granulometría, el porcentaje de humedad, la permeabilidad y el contenido de volátiles a fin de ase

gurar un proceso bajo control y eliminar deficiencias en las piezas fundidas.

VI. ENSAMBLE DEL MOLDE.

Cuando el molde ya está confeccionado se le somete a un ciclo de secado y las coquillas son precalentadas, a fin de eliminar y prevenir la adsorción de humedad respectivamente. Luego se procede al ensamble de las partes que constituyen el molde, fijándolas entre sí mediante grampas o pernos, teniendo especial cuidado en la correcta coincidencia de dichas partes y la verticalidad del conjunto.

La operación de ensamble debe ser sincronizada con la preparación del metal a colarse, sobre todo cuando se trata de moldes con coquillas no revestidas.

Los moldes de cilindros de gran longitud son usualmente colocados en fosos ad hoc para facilitar la operación de colada y la supervisión de la misma.

VII. ELABORACION DEL METAL PARA LA COLADA.

En la elaboración de los metales líquidos, para la fabricación de cilindros, tienen amplia reputación los hornos de hogar abierto y los hornos eléctricos de arco trifásico. Sin embargo algunas fundiciones utilizan hornos de inducción, rotativos y ocasionalmente cubilotes

En todo caso la selección de la unidad de fusión se determina en base a su capacidad y al cumplimiento de los requisitos necesarios para la elaboración de un metal bajo estrictos patrones de calidad.

Cuando se trata de fabricar cilindros compuestos, constituidos por dos metales de composición química distinta, es obvio que se requerirá disponer de dos hornos de fusión que operen simultáneamente.

VIII. COLADA DEL CILINDRO.

El sangrado del horno de fusión se realiza cuando se haya obtenido la temperatura adecuada del metal líquido y su composición química se encuentre en el rango pre establecido. Las cucharas de colada, que reciben al metal procedente del horno fusión, deben favorecer la colada de metal exento de escoria. En este sentido se prefieren las cucharas de colada por el fondo cuando se trate de acero y las del tipo de tetera con pico para hierro fundidos. Es indispensable precalentarlas encima de los $1,000^{\circ}\text{C}$ para que las pérdidas térmicas no sean muy sensibles.

Después de las adiciones y escoriado usuales, la cuchara ya con el metal líquido es transportada por una grúa puente hacia el molde del cilindro. Luego de verificar la temperatura del caldo se procede a la colada o vaciado del metal dentro del molde.

Para garantizar el cumplimiento de la función del alimentador este se cubre con material exotérmico o se instala algún dispositivo de arco eléctrico, llamados Hot Tops, para retardar la solidificación.

IX ACABADO, INSPECCION Y TRATAMIENTO TERMICO.

Después de ser desmoldeado, el cilindro es transportado a la zona de acabado de piezas fundidas, en donde se efectúa el rebarbado, corte del alimentador y granallado de la superficie. Es entonces cuando el cilindro quedará listo para recibir el tratamiento térmico pre establecido según las propiedades físicas deseadas.

Los tratamientos térmicos pueden ser:

- Relevado de tensiones.
- Recocido simple.
Recocido doble.
- Normalizado y esferoidizado.
- Normalizado doble y revenido.
Normalizado, temple y revenido.

La velocidad de calentamiento, control y homogeneidad de las temperaturas suelen ser críticos.

Las inspecciones y pruebas para el control de calidad se realizan a partir del momento en que se desmoldea el cilindro y el seguimiento es permanente hasta la etapa final..

X. MAQUINADO DEL CILINDRO.

Es el conjunto de operaciones que permiten proveer al cilindro de las dimensiones y calidades de superficie que le serán necesarias

para su puesta en servicio.

Debido a la forma que caracteriza a los cilindros de laminación, el torno es la máquina herramienta por excelencia para efectuar las remociones de material en su maquinado. Solamente en algunos casos requiere ser complementado con trabajos de fresado.

1.2.1 FABRICACION DE CILINDROS EN HIERRO FUNDIDO.

Pertenecen a éste ítem los cilindros elaborados con hierros fundidos aleados o sin aleación, con tenores de carbono entre 2.60 y 3.70 %. Pueden ser confeccionados, de acuerdo a las características deseadas, según cualesquiera de los tres esquemas básicos presentados en lo referente a métodos de fabricación, esto es:

-Cilindros colados en moldes de arena refractaria. Constituyen la versión más simple y económica de producción, pero de empleo restringido para laminadores que operan bajo condiciones poco severas; son considerados blandos ya que se obtienen durezas en el rango de 25 a 35 Shore C.

La fabricación se efectúa bajo los patrones convencionalmente usados en los talleres de fundición razón por la cual no requiere mayores comentarios.

- Cilindros colados en coquillas revestidas. Este método posibilita la obtención de valores altos en resistencia mecánica y durezas en el rango de 35 a 60 shore C, por lo que se les considera

semiduros, que permiten su utilización bajo condiciones de servicio más severas.

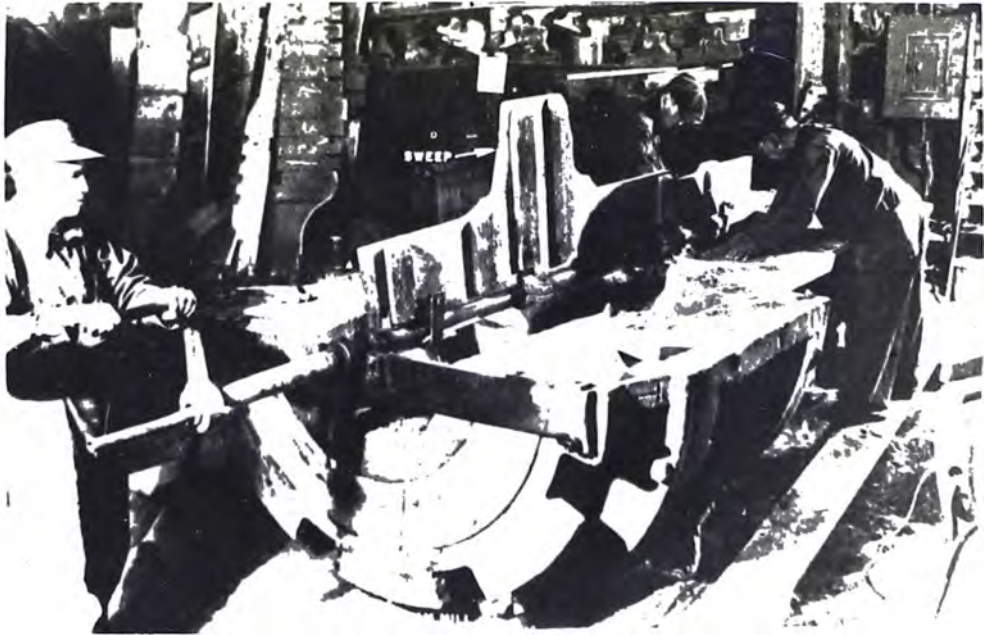
La mejora en propiedades físicas se debe al afinamiento de grano y de los microconstituyentes, que se producen por efecto de la mayor disipación térmica del molde gracias a los enfriadores. Si bien es cierto que el metal colado no está en contacto directo con las coquillas, sino separado por una cobertura de arena refractaria adherida a ellas, aún en dichas condiciones absorben gran cantidad de energía calórica y generan un subenfriamiento térmico altamente beneficioso.

En el método con coquillas revestidas, utilizando para la fabricación de cilindros con tablas acanaladas el molde queda partido según un plano que contiene al eje del cilindro.

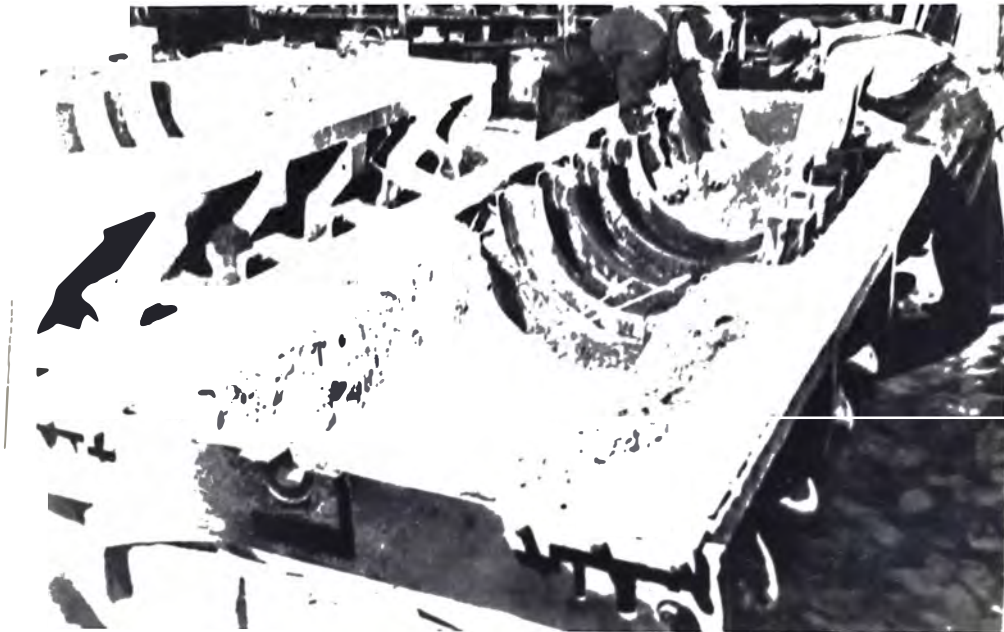
La confección de cada medio molde se efectúa por terrajeo de revolución con plantillas fijadas a un eje rígido montado sobre cojinetes dispuestos en ambos extremos de la caja de moldeo.

En primer lugar se compacta arena de moldeo aproximándola en exceso al contorno donde irán apoyadas las coquillas y el cual se logrará por terrajeo con una primera plantilla. Luego se posicionan dichas coquillas, fijándolas a la caja de moldeo mediante sistemas de armaduras y barras, para ser recubiertas con arena refractaria especialmente preparada. A esta cobertura se le dará el contorno final del cilindro terrajeando con una segunda plantilla.

Para ensamblar el molde ambas mitades se hacen coincidir y el con



Fotografía N°1. Terraqueo Primario.



Fotografía N°2. Colocando las coquillas (a revestir)



Fotografía N°3 . Revistiendo las coquillas con arena refractaria.



Fotografía N°4 Ensamblado del Molde.

junto es izado a la posición vertical.

- Cilindros colados en coquilla. Con este método es posible lograr durezas bastante elevadas en la tabla del cilindro, en el rango de 60 a 85 Shore C, mientras que tanto los cuellos como los muñones presentarán características completamente distintas y compatibles con las funciones que les corresponderán en servicio.

La diferencia podrá ser aún más marcada si se introduce la variante de doble colada. Esta consiste en colar, en primera instancia, un metal líquido de composición química capaz de generar microconstituyentes sumamente duros y luego colar otro metal de distinta composición pero susceptible de producir las propiedades físicas adecuadas. Para ello se llenará la cavidad del molde con el primer metal hasta que sobrepase el nivel más alto de las coquillas. Estas por su elevada capacidad de disipación térmica inducen, en un tiempo relativamente corto, la solidificación de una corteza de espesor determinado. Mientras que el resto del metal permanece aún al estado líquido se le desaloja y expulsa al exterior, a través de un conducto estratégicamente ubicado, al efectuar la colada del segundo metal.

De ese modo se obtendrá un cilindro constituido básicamente por el último metal vaciado, pero cuya tabla posee una corteza con la composición del primero. Las propiedades mecánicas que se logren en ambas partes estarán en función de las aleaciones seleccionadas para su fabricación.

Los cilindros colados en coquilla, tanto los de doble colada co-

mo los obtenidos por colada de un solo metal, son así denominados por el hecho de que el molde es metálico pero solamente en la zona ^{que} corresponde a la Tabla. El resto del molde es confeccionado en arena refractaria por los métodos convencionales y el conjunto presenta planos de partición normales al eje del cilindro.

Este método de fabricación genera regímenes de enfriamiento sumamente elevados en la tabla ya que las coquillas suelen ser protegidas, del contacto directo con el metal líquido vaciado, mediante películas muy delgadas de pinturas especiales. No ocurre lo mismo con los cuellos, muñones y el alimentador ya que las arenas refractarias, que constituyen dichas partes del molde, poseen capacidades muy inferiores de disipación térmica.

1.2.2 FABRICACION DE CILINDROS EN ACERO FUNDIDO.

Pertenecen a este ítem los cilindros elaborados con aceros fundidos aleados o sin aleación, con tenores de carbono entre 0.25 y 2.60 % las propiedades físicas del cilindro terminado dependen básicamente de la aleación seleccionada y del o los tratamientos térmicos a que son sometidos. Solamente los requerimientos para una solidificación direccional óptima y algunas veces las condiciones de morfología del cilindro son determinantes en la elección del método de fabricación a seguir.

De los tres esquemas básicos ya presentados, todos ellos descritos en el ítem anterior, podrá adoptarse cualesquiera de los siguientes:

- Cilindros colados en moldes de arena refractaria; es utilizado cuando la relación longitud/ diámetro, en cada una de las partes del cilindro, es igual o menor de 2.5 y también cuando la deformación intencional del diseño, para lograr dicha condición, sea económicamente más conveniente.

La observancia de este principio permite satisfacer la condición de distancia para la alimentación, uno de los factores básicos en la producción de piezas fundidas sin cavidades de contracción. El diseño del alimentador deberá ser estudiado cuidadosamente, de acuerdo al criterio de los módulos \odot al método del factor de forma, siendo usual incrementar los diámetros del cuello y muñón superiores a fin de permitir la correcta alimentación de la Tabla, por ser ésta la zona de mayor diámetro del cilindro.

- Cilindros colados en coquillas revestidas. Se utiliza en la fabricación de cilindros cuya geometría presenta problemas críticos para la solidificación direccional.

Para los cilindros con tabla acanalada el proceso de confección del molde es similar al descrito en el ítem anterior, esto es con las coquillas partidas según un plano longitudinal, y que contiene al eje del cilindro.

Cuando se trate de cilindros con tabla plana, la coquilla podrá ser entera, sea de una pieza o de varia con particiones normales al eje del cilindro. El revestimiento refractario se aplica sobre la coquilla y el diámetro necesario se obtiene por terrajeo mediante una platina que se desplaza sobre planti

llas de contorno circular, previamente fijadas a los dos planos basales de la coquilla.

El método de fabricación con coquillas revestidas permite la producción de cilindros esbeltos y puede ser aplicado para la obtención de cilindros de doble colada. En este caso se utilizan aceros susceptibles de endurecimiento por temple para la zona periférica de la tabla y aceros con propiedades balanceadas de resistencia/elongación para el núcleo. De esta forma se dispondrá de una tabla con óptima resistencia al desgaste y un núcleo capaz de absorber las elevadas tensiones generadas durante el temple y el servicio.

Cilindros colados en coquilla. Este método es utilizado para cilindros fundidos con aceros hipereutectoides y el esquema es similar al descrito en el ítem anterior, correspondiente a los de hierro fundido.

Una variante del método la constituye el empleo de moldes metálicos para la obtención de cilindros por vaciado centrífugo.

2. METALURGIA DE LOS CILINDROS LAMINADORES.

Durante la deformación plástica del material que se lamina, todas y cada una de las partes que constituyen a los cilindros laminadores están expuestas a una serie de sollicitaciones mecánicas. El núcleo, los cuellos y muñones soportan esfuerzos de flexión y torsión mientras que la superficie de la Tabla, que efectúa el trabajo de laminado propiamente dicho, soporta esfuerzos de compresión y fricción. Cuando se trata de operaciones de laminado en caliente, el cilindro completo y en especial la superficie mencionada tendrán que afrontar esfuerzos adicionales de origen térmico.

2.1 PROPIEDADES REQUERIDAS.

La demanda de productos siderúrgicos se ha incrementado rápidamente y a nivel mundial a través de los últimos años. Para satisfacer la ha sido necesario una mejora constante en los índices de productividad de las distintas industrias involucradas, entre las cuales ocupa un sitio preponderante la industria de laminación.

Ello ha motivado exigencias cada vez mayores para con los fabricantes de cilindros para laminación en cuanto a la calidad de sus productos, determinando así la necesidad de evolucionar en la tecnología de fabricación a fin de ofrecer cilindros con propiedades superiores, tales como las siguientes:

- Elevada resistencia al desgaste, el cual se produce por la fricción con el flujo de metal que laminan y la acción abrasiva de

la cascarilla de óxido del mismo.

El patrón más aproximado para medirla es la dureza. Usualmente ésta se determina por el método del escleroscopio, por ser un ensayo que no deja huellas sobre la superficie y además presenta la mayor comodidad para efectuarla.

- Buena resistencia a la flexión para resistir a las roturas, normales al eje del cilindro, que tiende a provocar la fuerza separatriz de laminación. El módulo de elasticidad y la elongación del material constituyen los índices referenciales.
- La alta resistencia a la fatiga, por tratarse de cuerpos cilíndricos en rotación y bajo esfuerzos de flexión, se generan ciclos alternados de tracción/compresión. Bajo este aspecto es de gran importancia la resistencia a la tracción, del material que constituye al cilindro, ya que existe una relación directa entre ambas propiedades.
- Resistencia al desconchado o exfoliación. La presión de laminación actuando en dirección radial y a lo largo de la línea de contacto longitudinal, con el cilindro de trabajo, genera esfuerzos locales de compresión muy elevados. Debido a la repetición de tales esfuerzos durante cada revolución del cilindro se llega a producir la fluencia de una capa periférica, de espesor inicial muy pequeño pero progresivo, que dará lugar a esfuerzos de corte entre las capas externas concéntricas y que tienden a provocar la exfoliación. El efecto es más pronunciado en los procesos de laminado en frío de productos planos y/o cuando se -

trata de cilindros que presentan una gradiente de durezas desde la periferia hacia el núcleo. El modelo de variación o penetración de dureza tiene gran importancia al respecto.

- Resistencia al choque térmico y a las grietas térmicas. La primera condición se plantea bajo condiciones normales de laminación debido al calentamiento, por fricción con el metal que se lamina y por el contenido calórico de éste que le trasmite parcialmente al cilindro, con la subsiguientes refrigeración por agua que se provee.

Las laminadores que trabajan a velocidades altas, para operaciones en caliente y con reducciones fuertes, tales como los desbastadores y de planchones, someten a los cilindros a temperaturas de trabajo casi constantes, pero relativamente altas. Estas condiciones motivan la disminución en la resistencia a la fluencia y la dilatación de las capas externas lo cual propende hacia la formación de grietas térmicas en la superficie de trabajo y que se caracterizan por un aspecto de mosaico.

- Mordientes y calidad de terminación, el metal a laminarse no será admitido entre los cilindros si la tangente del ángulo de contacto excede al coeficiente de fricción entre ellos. De allí que, mientras sea posible, se provee a los cilindros de una superficie de trabajo áspera para así incrementar el coeficiente de fricción. En algunos casos, por ejemplo en los cilindros de desbaste, se llega inclusive al tallado intencional de muescas con la misma finalidad. Por otra parte se requiere la ausencia de cavidades y/o inclusiones en la superficie de los cilindros, especialmente en la tabla y los cuellos, además de ciertas cualidades frente a la acción corrosiva del agua de refrigeración.

2.2. CONSIDERACIONES DE COMPOSICION QUIMICA Y MICROESTRUCTURA .

La obtención de las propiedades señaladas depende de procedimientos de fabricación cada vez más sofisticados que permitan el desarrollo de las características intrínsecas a las aleaciones utilizadas e incluso el optimizado de ellas, ya que algunas propiedades son contradictorias entre sí y requieren soluciones de compromiso.

La adecuada respuesta a las complejas sollicitaciones en servicio es función de la interrelación que existe entre la composición química con la proporción, morfología y distribución de los microconstituyentes capaces de ser generados. Además es tremenda la incidencia del cuadro de tensiones residuales que detente el cilindro elaborado. Ellas se producen debido a la heterogeneidad en las velocidades de enfriamiento y las variaciones de volumen por cambio de fases ya sea durante la solidificación, el enfriamiento al estado sólido y/o los tratamientos térmicos.

En lo que respecta a la composición química, en el Cuadro 2.2.a se consigna la influencia de los elementos usualmente presentes en las aleaciones para cilindros.

Debido a que estas piezas son generalmente de secciones gruesas, lo cual promueve lentas velocidades de enfriamiento, es muy importante seleccionar los elementos aleantes en forma adecuada para alterar la posición de las curvas de comienzo y fin de transformación en los diagramas temperatura/tiempo/transformación. De esta manera será posible propiciar la presencia de los microconstituyentes

CUADRO 2.2.a

CARBONO	<p>Incrementa dureza, resistencia al desgaste y fragilidad. Disminuye profundidad de la concha acoquillada en los hierros fundidos.</p>
SILICIO	<p>En los aceros: Disminuye resistencia al impacto, excelente desoxidante. Se le utiliza en el rango de 0.20 a 0.60 %.</p>
MANGANESO	<p>Aumenta dureza, fragilidad y resistencia a la tracción Neutraliza al azufre formando sulfuros evitando así la tendencia al agrietamiento en caliente. Utilizado como desoxidante, hasta 0.60 % en los aceros. En los hierros fundidos reduce la profundidad de concha acoquillada para rangos bajos, pero la incrementa con tenores más altos.</p>
NIQUEL	<p>Incrementa dureza, resistencia a las grietas térmicas y resistencia a la tracción. En los hierros fundidos además promueve la grafitización y la disminución en la profundidad de concha acoquillada.</p>
CROMO	<p>Incrementa la dureza por su gran potencial formador de carburos y la resistencia al desgaste. Muy utilizado. Aumenta la profundidad de concha en los hierros fundidos.</p>
MOLIBDENO	<p>Incrementa la resistencia a la tracción, la tenacidad y dureza. Promueve el afinamiento de grano y mejora la resistencia a las grietas térmicas.</p>
VANADIO	<p>En los aceros: incrementa la resistencia mecánica, en los hierros fundidos: aumenta la profundidad de concha y la resistencia a las grietas térmicas.</p>
FOSFORO Y AZUFRE	<p>A pesar de que el fósforo incrementa la fluidez, ambos no aportan cualidades positivas. Son impurezas que no deben exceder el 0.06% cada uno.</p>

deseados, bajo regímenes de enfriamiento compatibles con la integridad del cilindro.

Otro aspecto importante de los elementos aleantes es la influencia que ellos tienen sobre las propiedades mecánicas en caliente. Es oportuno anotar que en los cilindros de trabajo, para procesos de laminado en caliente, la capa superficial de la tabla puede alcanzar temperaturas del orden de los 500 a 600°C no obstante de la refrigeración por agua que se les provee.

En cuanto a los microconstituyentes de los cilindros, se consignan a continuación los principales.

- Ferrita.

Forma alotrópica del hierro con estructura cristalina cúbica de cuerpo centrado. Admite solamente un máximo de 0.008 % de carbono intersticial, a temperatura ambiente, mientras que acepta a otros elementos en los siguientes tenores:

Si = 18.5 %, Mn = 15 %, Cr = ilimitado, Ni = 10 A 25 %
Mo = 37.5 %, V = ilimitado, Co = 75 %, W = 30 a 50 %, Al = 36 %, Ti = 6 %, P = 2.8 %, B = 0.15 Máximo.

Austenita

Forma alotrópica del hierro con estructura cristalina cúbica de caras centradas. Admite hasta 1.7 % de carbono intersticial. Es una fase estable a temperaturas altas aunque susceptible de obtenerse a temperatura ambiente por acción del níquel y/o manga

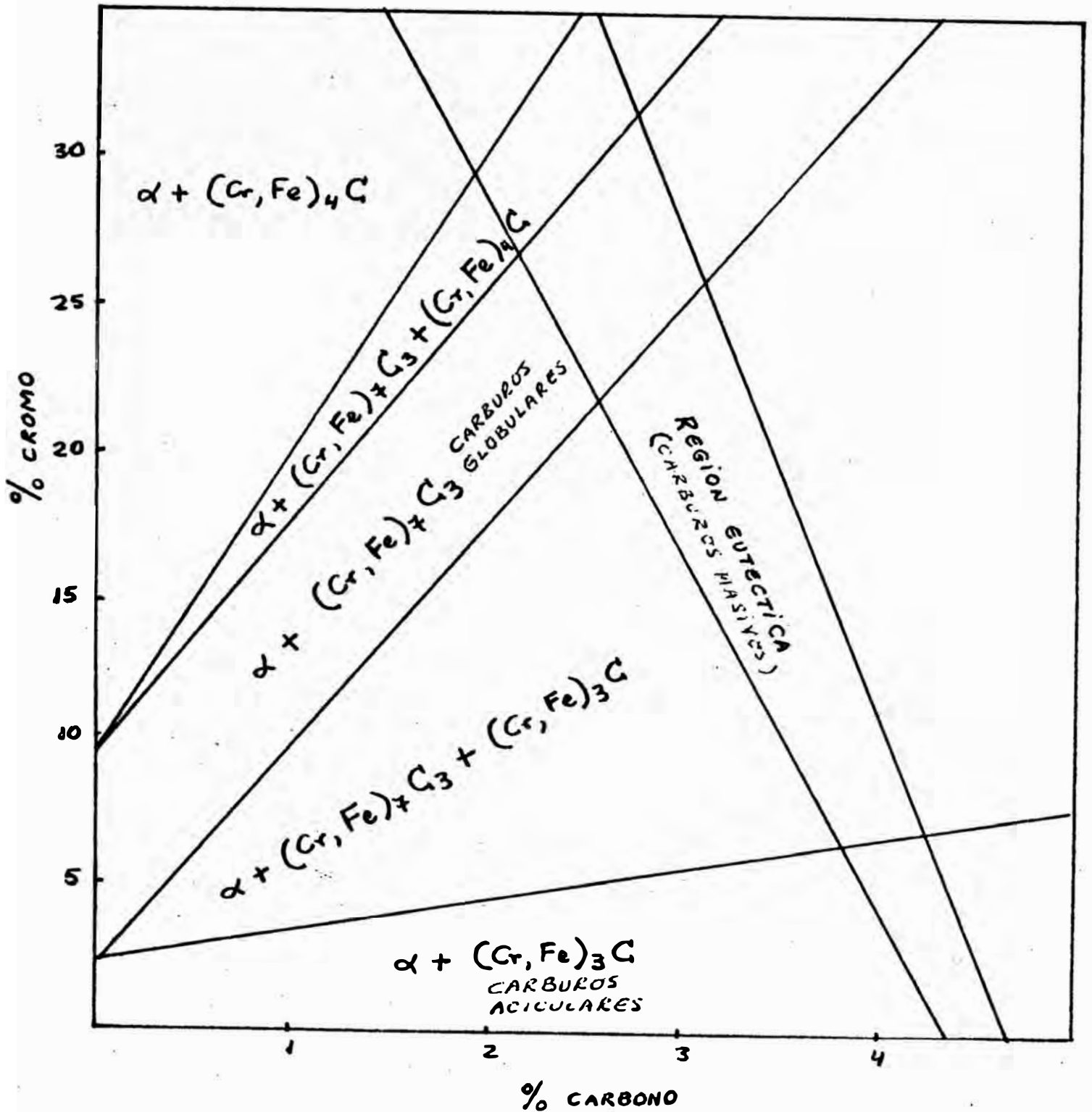
neso. Usualmente es indeseable por su tendencia a descomponerse durante el servicio, en otras fases de mayor estabilidad. Los cambios de volumen que ello involucra propenden al desconchado y a la generación de grietas térmicas.

-Carburos. Elementos como el Fe, Mo, Mn, Cr, V, Mg, W y Ti poseen gran afinidad por el carbono, en magnitud creciente según el orden señalado, para formar compuestos químicos denominados carburos. Elevada dureza y elongación nula son las características comunes a todos los carburos simples o compuestos pero el efecto en fragilizador, que confieren a la matriz metálica, está en función de su morfología. Los carburos masivos, los aciculares y aquellos que precipitan en los bordes de grano son altamente perjudiciales en ese sentido mientras que los carburos de forma globular, pequeños y uniformemente distribuidos, son los más deseados por cuanto proporcionan alta resistencia al desgaste y a la fluencia sin pérdida sensible de tenacidad. Los carburos pueden presentar estructuras cristalinas ortorrómbicas, hexagonales o cúbicas y son compuestos químicos con relaciones estequiométricas fijas, entre las cuales son dignas de mención:

Fe_3Mo_2C , Fe_3MoC , Mn_3C , V_4C_3 , W_2C , WC , Fe_4W_2C y la Fe_3C llamada cementita.

Por ser el cromo uno de los elementos aleantes de uso cada vez más difundido en la fabricación de cilindros y debido a que posee un alto potencial para la formación de carburos, el gráfico 2.2.a presenta los distintos tipos de carburos que se generan en función de los contenidos de cromo y carbono en aleaciones base

GRAFICO 2.2.a



fierro.

Perlita.

Es el producto en la transformación eutectoide de la austenita y consiste en el agregado de ferrita con carburos de Fe simples o compuestos. Cuando dichos microconstituyentes se disponen en placas alternadas paralelas al conjunto se le denomina perlita propiamente dicha y cuando lo hacen en placas alternadas radiales se le da el nombre de troostita.

Las velocidades de enfriamiento rápidas propician la disminución del espaciado interlamelar y con velocidades cercanas a la crítica de temple se generan las formaciones de troostita. Paralelamente se incrementan la resistencia a la tracción y la dureza mientras que la elongación disminuye.

- *Bainita.*

Son agregados de carburos globulares, identificables por encima de los 2,500 aumentos, sobre una matriz de ferrita acicular. Dichos carburos pueden estar dispuestos paralelamente al eje de hábito de la ferrita u orientados a 60° respecto al mismo.

El primer caso corresponde a la bainita superior de aspecto arborescente y propiedades mecánicas poco interesantes, mientras que el segundo caso se refiere a la bainita inferior de aspecto acicular y muy deseada por sus excelentes propiedades mecánicas y que además no introduce tensiones severas al generarse.

La transformación de la austenita a bainita se efectúa bajo condiciones isotérmicas y con velocidades de enfriamiento que permitan sortear al dominio perlítico, pero requiere de tiempos sumamente prolongados. Sin embargo los elementos aleantes cromo y molibdeno tienen la particularidad de propiciarla.

- Martensita.

Es una solución sólida de hierro sobresaturado con carbono, de estructura cristalina tetragonal de cuerpo centrado, producida a partir de la austenita mediante velocidades de enfriamiento superiores a la crítica de temple.

La transformación martensítica se produce sin difusión y por lo tanto puede efectuarse con gran rapidéz, además involucra una expansión volumétrica mayor del 4 %. Estos hechos sumados a las altas velocidades de enfriamiento, requeridas para sortear el dominio perlítico, introducen fuertes tensiones en el metal.

Los elementos aleantes que incrementan la templabilidad tales como el Mn, Ni, Mo, Cr, V y el carbono hasta 0.80.%, propician la transformación aún bajo regímenes de enfriamiento poco severos.

A pesar de las dificultades inherentes a la obtención de la estructura martensítica en secciones gruesas, en los últimos años se ha logrado desarrollar técnicas refinadas para superarlas y así poder disponer de las notables propiedades mecánicas que caracterizan a esta estructura acicular. Al respecto hay que resaltar la importancia de los procesos de doble colada y también

el tratamiento térmico diferencial, en la fabricación de cilindros laminadores.

2.3 EL ACOQUILLADO EN LOS CILINDROS.

Las aleaciones Fe/C hipereutectoides tienen la particularidad de mantener al carbono en forma combinada, constituyendo carburos, cuando la solidificación se efectúa bruscamente y de este modo se inhibe la precipitación de grafito.

En la fabricación de cilindros laminadores se saca partido de ello cuando se utilizan coquillas, o sea moldes metálicos, para la zona que corresponde a la tabla y así obtener una matriz metálica con abundantes carburos, compatible con determinadas condiciones de servicio.

Sin embargo el grado de inhibición de la precipitación grafitica, total o parcial, es función de la aleación utilizada y entonces se no posible obtener cualesquiera de los dos modelos que se tratarán a continuación.

2.3.1 CILINDROS DE HIERRO FUNDIDO CON TEMPLE DEFINIDO.

Todos los cilindros de este tipo, con o sin aleantes, presentan tres zonas concéntricas claramente diferenciables sobre una fractura que contenga la sección transversal acoquillada. De afuera hacia adentro se aprecia, en primer lugar una envolvente de textura columnar brillante y en donde todo el carbono está en la forma

combinada, a continuación le sigue una zona intermedia o de transición con aspecto moteado y que contiene tanto carburos como grafito libre precipitados. Finalmente la zona central de aspecto gris debido a que casi todo el carbono se encuentra en la forma de grafito.

Las características de resistencia mecánica y espesor de cada una de las tres zonas señaladas son determinantes en la calidad de un cilindro laminador con temple definido.

Especial atención merecen, la concha acoquillada por ser la que efectúa el trabajo de laminado propiamente dicho y la zona central que soporta los esfuerzos de flexión/torsión durante el servicio. El tenor de carbono tiene gran influencia sobre las dos zonas ya que la cantidad de carburos en la concha y la de grafito en el núcleo están en relación directa con dicho elemento. Ambos microconstituyentes deterioran la resistencia mecánica de la matriz metálica, no obstante la incidencia de los carburos sobre la dureza, razón por la cual se fija como límite máximo 3.60 % y excepcionalmente 3.80 % de carbono.

El efecto de varios elementos aleantes sobre la dureza y resistencia a la tracción, en un hierro fundido base con 2.00 % de carbono se muestra en los Gráficos 2.3. a, b, c y d.

Por ser usual la práctica de rectificar periódicamente el diámetro de la Tabla, es necesario disponer de una concha acoquillada con adecuada profundidad. Sin embargo esto es aún más relevante duran

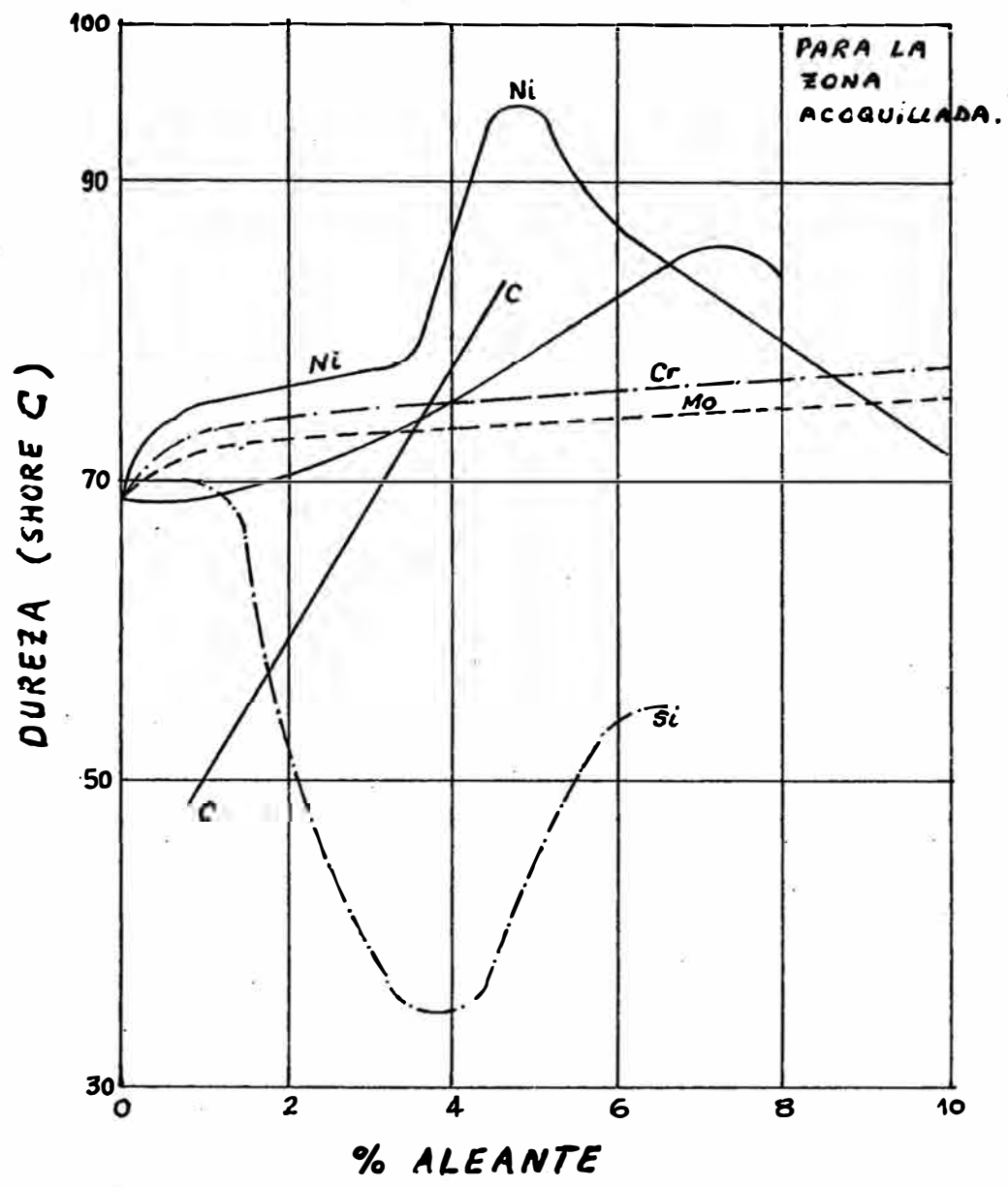
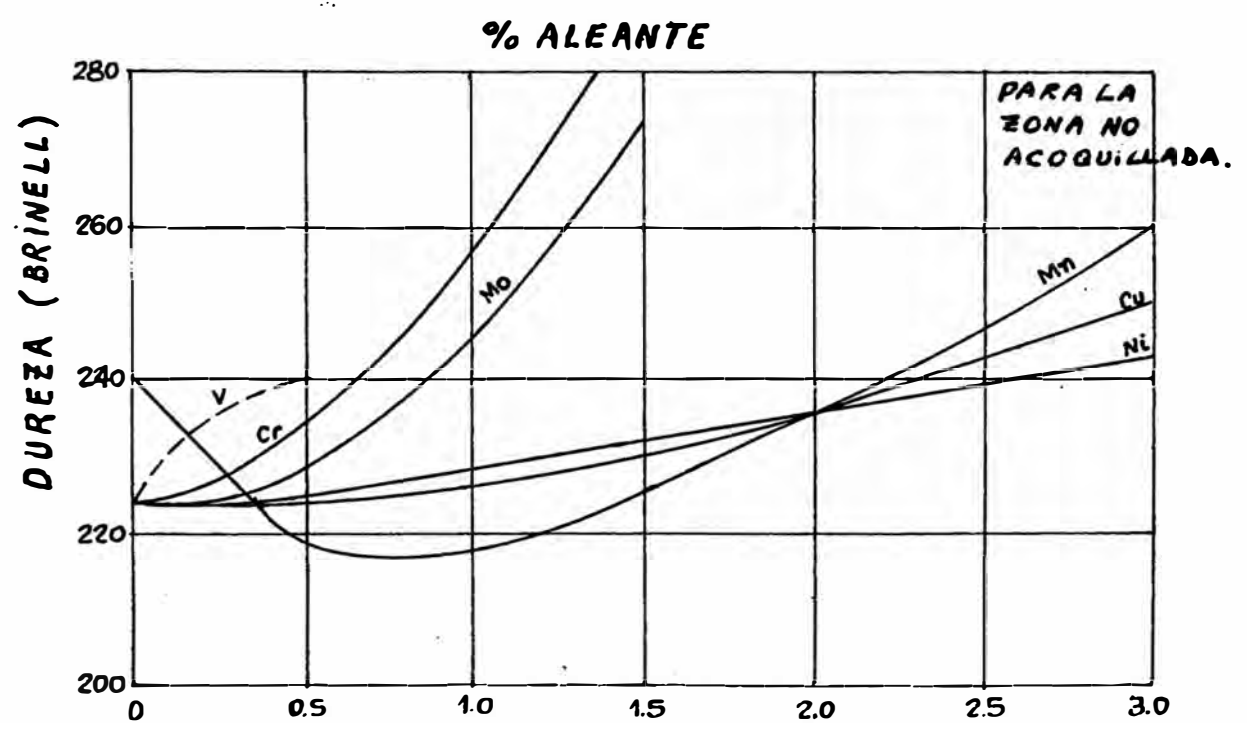


GRAFICO 2.3.b.



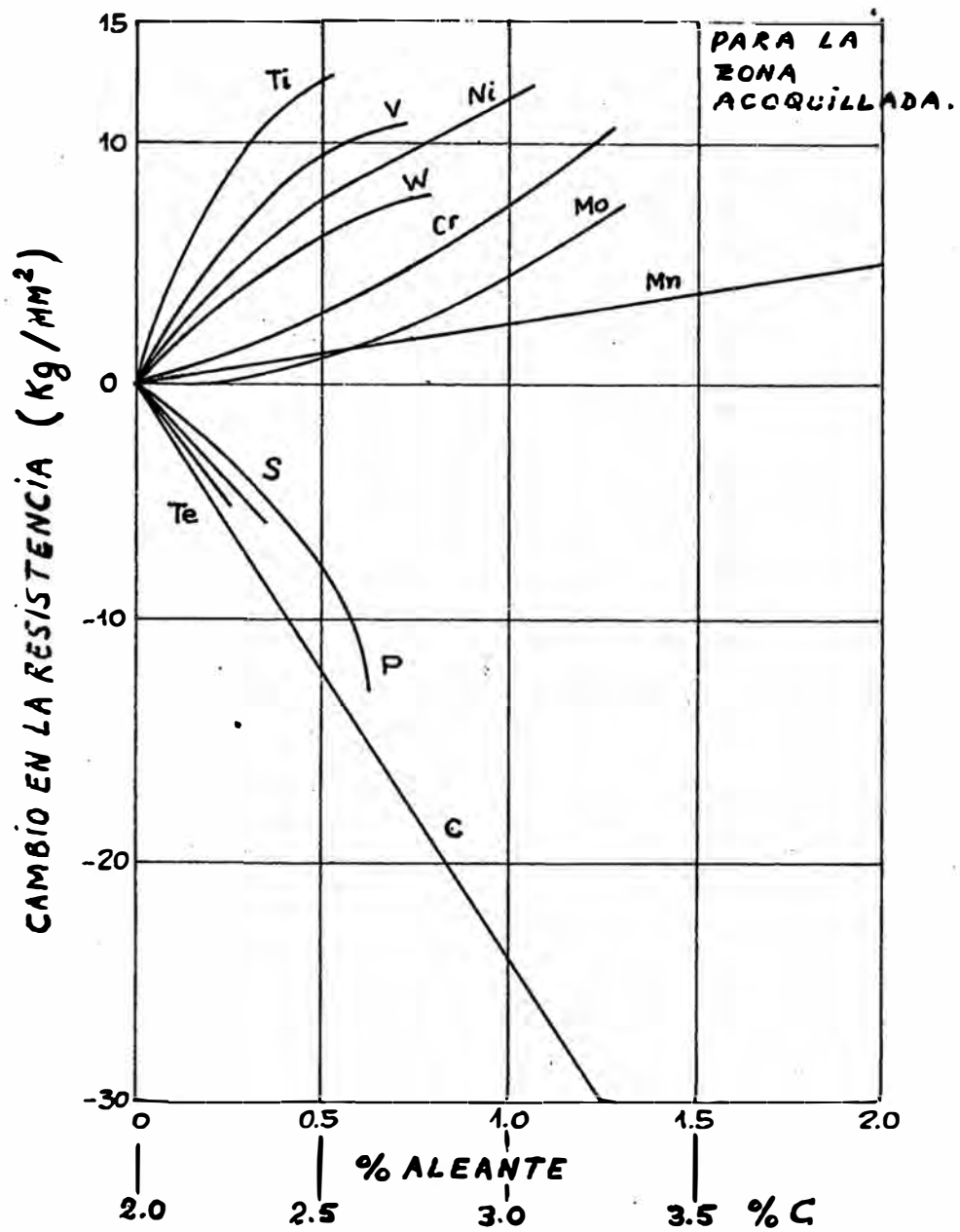
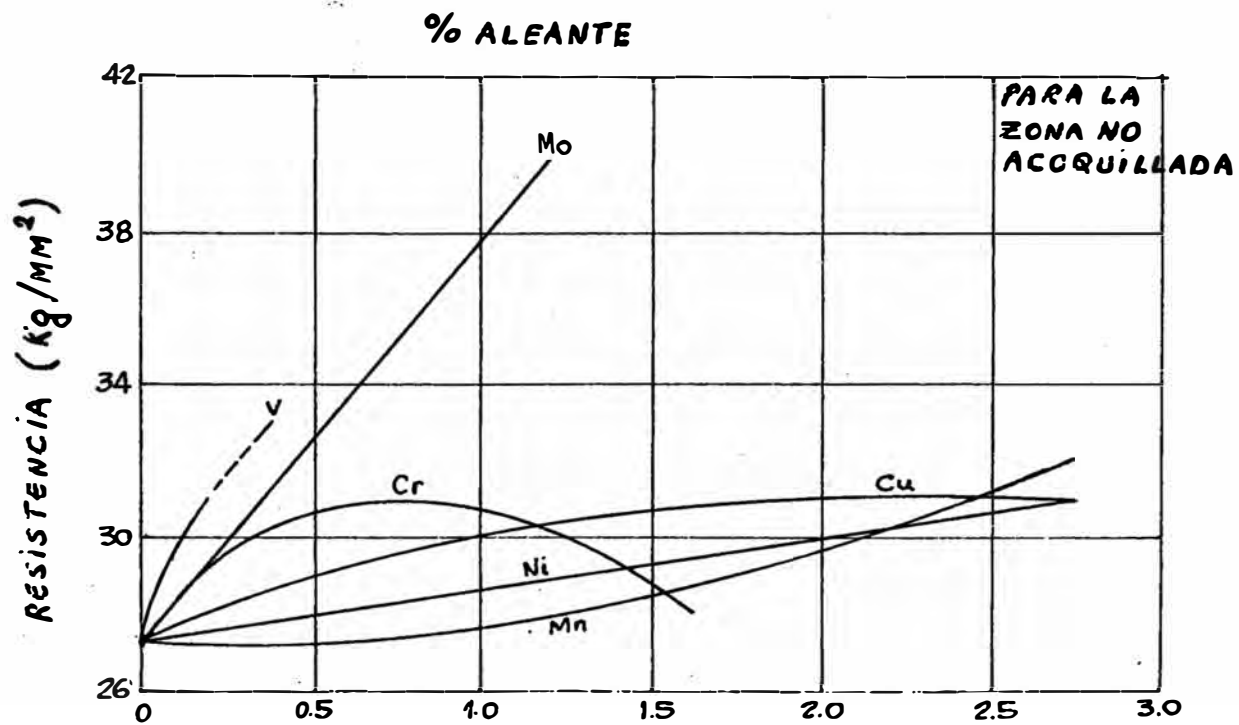


GRAFICO 2.3. d.



te el proceso de fabricación, ya que la concha debe ser lo suficientemente robusta para soportar la presión interna que se genera al precipitar el grafito libre en la zona de transición, en caso contrario se producen grietas longitudinales sobre la superficie de la Tabla que determinan el rechazo del cilindro. Generalmente una concha con 30 milímetros de espesor cumple con los requisitos necesarios, pero cuando se precisan espesores mayores se deberá recurrir al proceso de doble colada. De este modo se elimina la zona intermedia, cuyo espesor se incrementa a medida que lo hace la zona acoquillada en el proceso de colada simple y entre ambas reducen la sección del núcleo, quedando éste en inferioridad de condiciones frente a las sollicitaciones de flexión y susceptible de rotura a la altura de los cuellos.

Cuando la zona intermedia es de poco espesor hay tendencia al desconchado durante el servicio. Hay que señalar que el azufre actúa en ese sentido mientras que el cromo y el vanadio producen el efecto contrario.

2.3.2 CILINDROS DE HIERRO FUNDIDO CON TEMPLE INDEFINIDO

Este tipo de cilindros no presentan una concha acoquillada nítida ya que contienen grafito libre en toda la sección transversal de la Tabla. El cambio de estructuras metalográficas y durezas es gradual desde la periferia hasta el centro. La presencia de grafito en la superficie rompe y afina la textura columnar que caracteriza a los carburos producidos por el subenfriamiento térmico que induce el acoquillado.

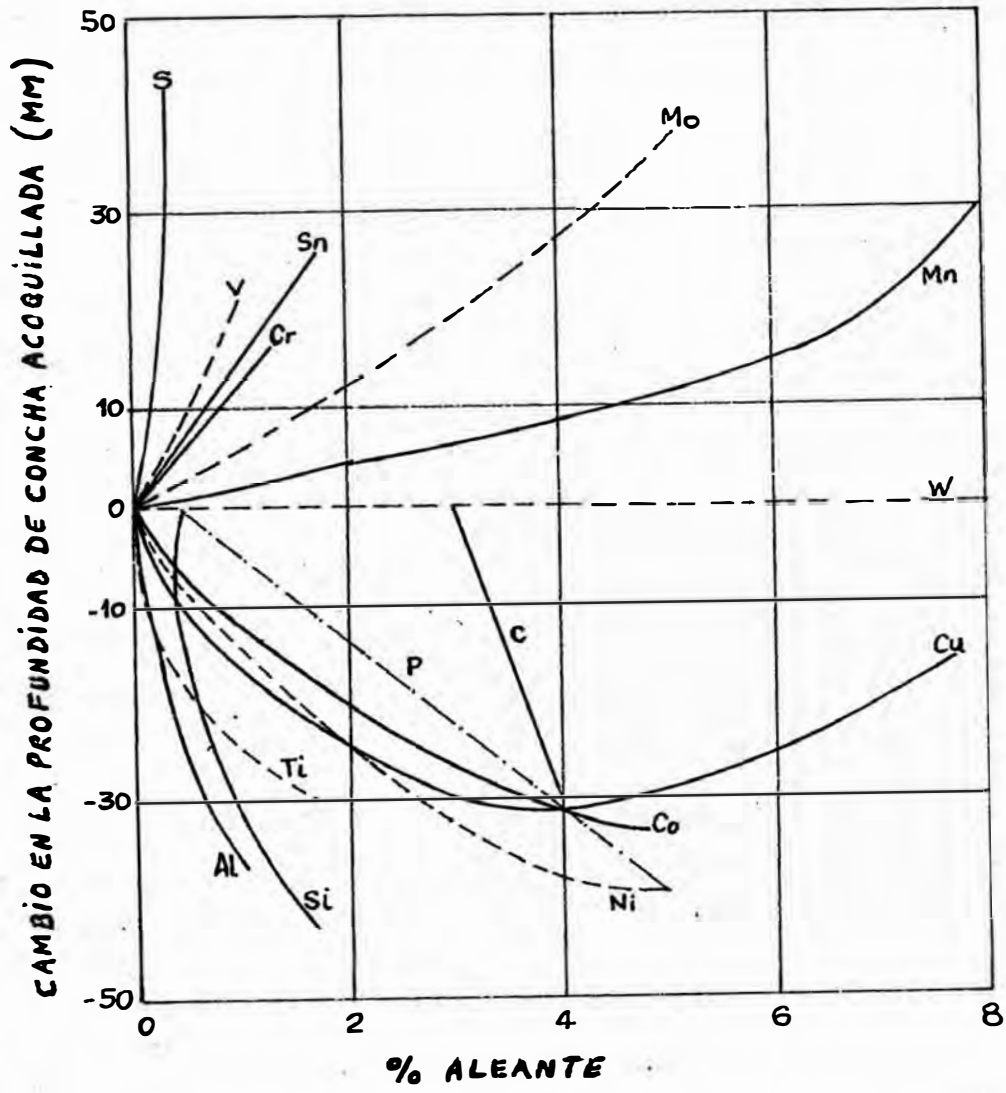
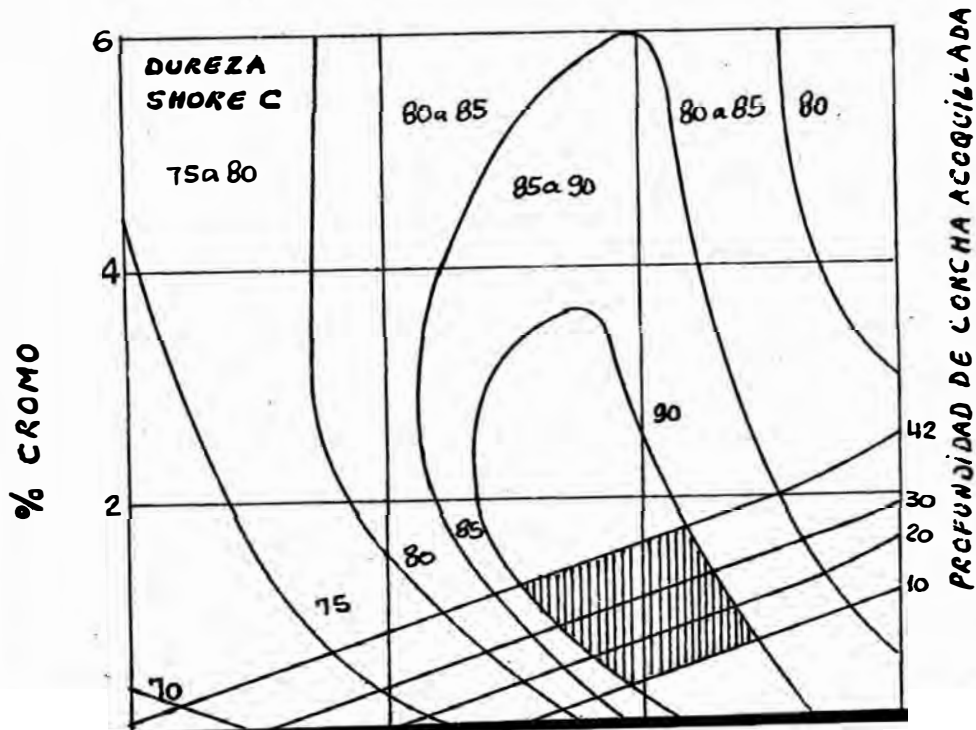


GRAFICO 2.3.f



Los cilindros con temple indefinido se fabrican mediante el balance adecuado del carbono y silicio con elementos aleantes tanto grafitizantes como formadores de carburos, entre los cuales los más importantes son el cromo, níquel y molibdeno. El metal líquido es colado, así como el tipo anterior descrito, dentro de un molde metálico para la zona que corresponde a la Tabla.

Dependiendo del contenido de los elementos aleantes, en la capa superficial podrán obtenerse durezas desde 55 hasta 85 shore C con la gran ventaja de presentar una gradiente uniforme hacia el núcleo, lo cual permite utilizar este tipo de cilindros para el laminado de productos no planos que requieren de tablas acanaladas hasta con 50 milímetros de profundidad. Además ofrecen la no menos importante ventaja adicional de una mejor susceptibilidad al choque térmico debido a la mayor conductividad térmica que provee el grafito libre y la acción amortiguadora de las microtensiones de origen térmico que proporciona dicho microconstituyente.

En los cilindros de este tipo el contenido máximo en carbono es de 3.20 % para los de colada simple y hasta 3.50 % para el metal duro en los de doble colada. Cuando se precisan resistencias cercanas a las de los aceros fundidos, se elaboran cilindros de temple indefinido con hierro nodular ya que el grafito en la forma esferoidal se caracteriza por un efecto concentrador de tensiones de tracción bastante menor del que induce el grafito laminar.

2.4 TRATAMIENTOS TÉRMICOS.

Los tratamientos térmicos constituyen un ítem obligado en el proce

so de fabricación de los cilindros laminadores debido a que permiten el desarrollo de las propiedades más deseadas en las aleaciones utilizadas en la elaboración. Muchas veces algunas propiedades son contradictorias entre sí y precisan de soluciones por compromiso que demandan la combinación de dos o más tratamientos térmicos para lograrlo.

De entre la gama de tratamientos térmicos existentes, los que a continuación se describen son los aplicables para los cilindros laminadores

- Recocido completo.

Se efectúa a temperaturas de 20 a 40 °C por encima de la crítica A_3 seguido de un enfriamiento lento, usualmente dentro del horno. Tiene por finalidad obtener la máxima elongación en los aceros hipoeutectoides no aleados ya que destruye la estructura Widmannstätten, así denominadas a las formaciones de ferrita acicular, y simultáneamente produce el relevado de las tensiones residuales generadas durante la solidificación y el enfriamiento al estado sólido dentro del molde.

El recocido completo promueve la formación de ferrita recristalizada y perlita gruesa.

Normalizado, se efectúa a temperaturas de 50 a 70°C por encima de la crítica A_3 seguido de un enfriamiento al aire. Tiene por finalidad obtener la mejor resistencia a la tracción y dureza en los aceros hipoeutectoides no aleados, debido a la presencia de perlita fina.

El normalizado permite homogenizar la composición química del material que constituye al cilindro y por esta razón es indispensable efectuarlo previamente a los tratamientos térmicos de temple superficial en los aceros hipoeutectoides aleados. De este modo será posible aprovechar, en mayor grado, la influencia que tienen los elementos aleantes sobre la templabilidad del material.

- Esferoidizado.

Se efectúa a temperaturas de 10 a 50°C por debajo de la crítica A_1 , pero con ciclos sumamente prolongados que son mayores a las 100 horas. Por esta razón se prefiere exceder la temperatura A_1 en 15 a 20°C y luego enfriar a razón de 10 a 25°C por hora.

El esferoidizado da lugar a la precipitación de carburos globulizados y homogéneamente distribuidos en la matriz, permitiendo así la obtención de elongaciones altas, simultáneamente con excelentes características en resistencia a la tracción y al desgaste.

Aun cuando el esferoidizado suele aplicarse en aceros con tenores de carbono entre 0.60 y 0.80 %, resulta mucho más importante en los aceros hipereutectoides por cuanto éstos precipitan carburos en los bordes de grano que deterioran seriamente las propiedades mecánicas del material.

Paralelamente al esferoidizado se logra el relevamiento de tensiones residuales y el afinamiento de grano por recristalización.

- Templado.

Se efectúa a temperaturas de 30 a 50°C por encima de la crítica A_3 para los aceros con tenores de carbono hasta el punto eutectoide, mientras que en los aceros hipereutectoides es usual trabajar en el rango comprendido entre las temperaturas críticas A_1 y A_{cm} , con el objeto de evitar el excesivo crecimiento de grano y además retener parte del carbono en forma de carburos.

La finalidad básica del templado es la obtención de la fase martensítica, para la envolvente en la tabla del cilindro, cuyas propiedades satisfacen las condiciones de servicio en dicha zona.

El espesor e de la envolvente martensítica puede ser determinado con una aproximación industrialmente aceptable, en base a los

trabajos sobre templabilidad de Grossmann, Asimov y Urban. El primer paso consiste en hallar el diámetro crítico ideal D_i , el cual está en función del contenido de carbono y el tamaño de grano tal como se muestra en el Gráfico 2.4.a, valor que debe multiplicarse por todos y cada uno de los factores correspondientes a los respectivos contenidos de elementos aleantes que presenta el Gráfico 2.4.b. Seguidamente debe encontrarse el diámetro crítico actual D_a , que corresponde al D_i obtenido y a la severidad de temple H elegida, mediante el Gráfico 2.4.c. A continuación en el Gráfico 2.4.d se encontrará la relación que existirá entre el diámetro de la sección no endurecida D_u y el diámetro de la tabla del cilindro D_B . El espesor buscado será:

$$e = 1/2 (D_B - D_u)$$

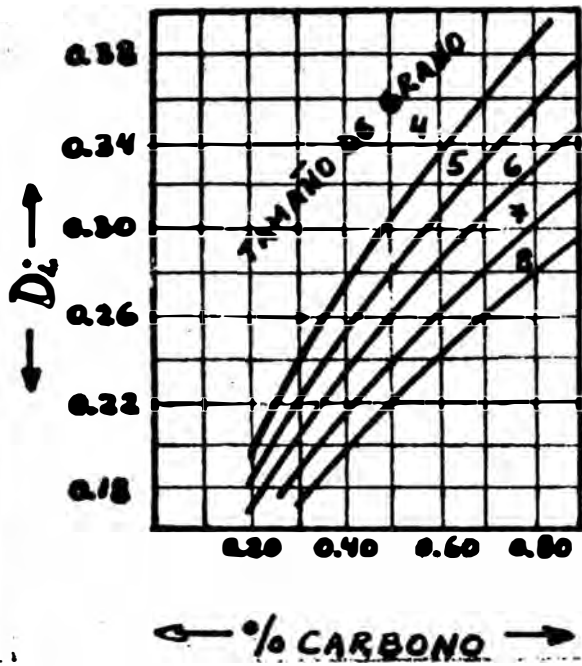


GRAFICO 2.4.a

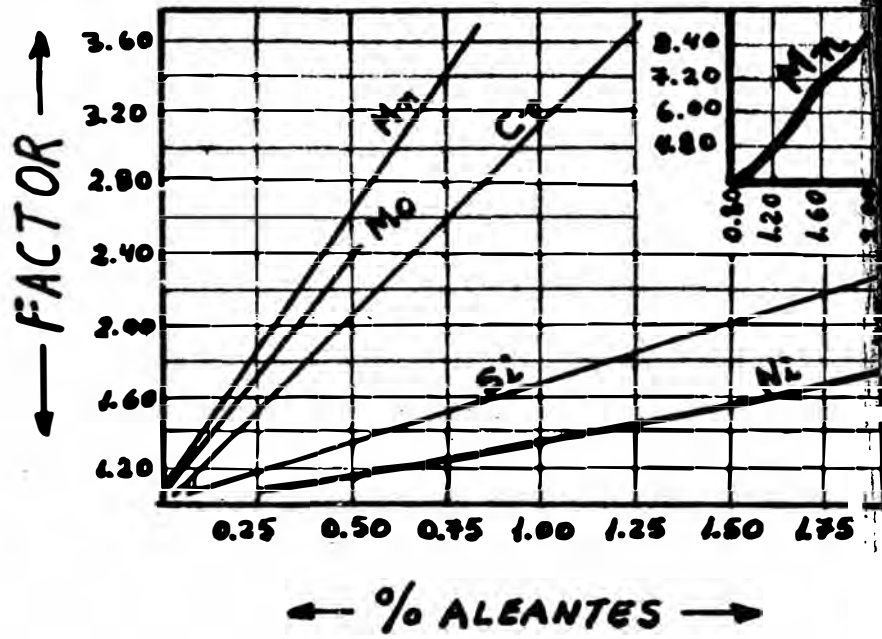


GRAFICO 2.4.b

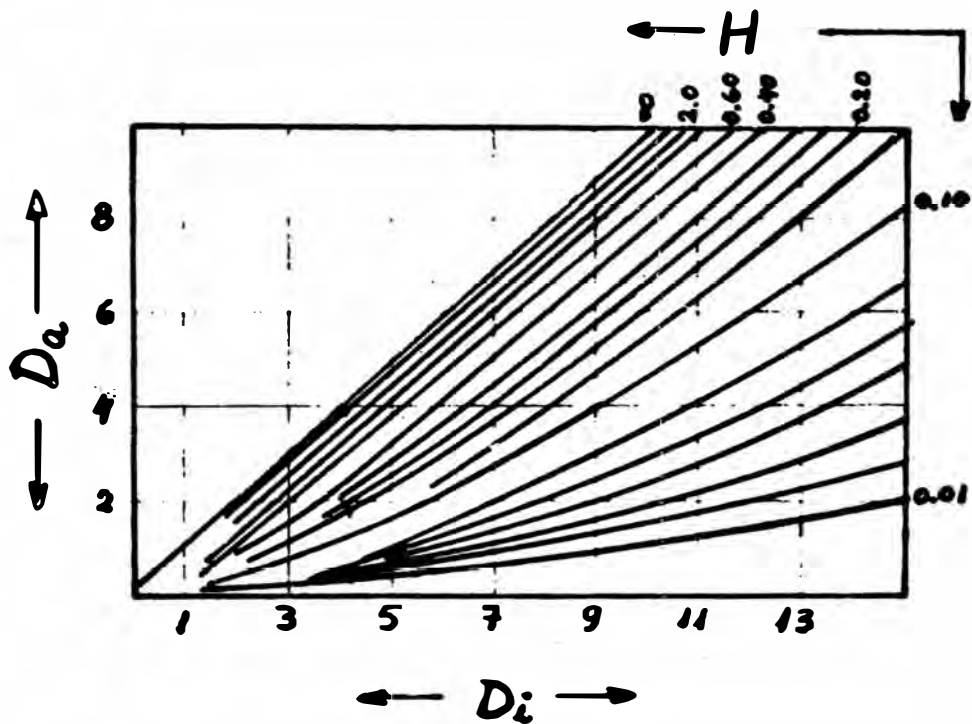
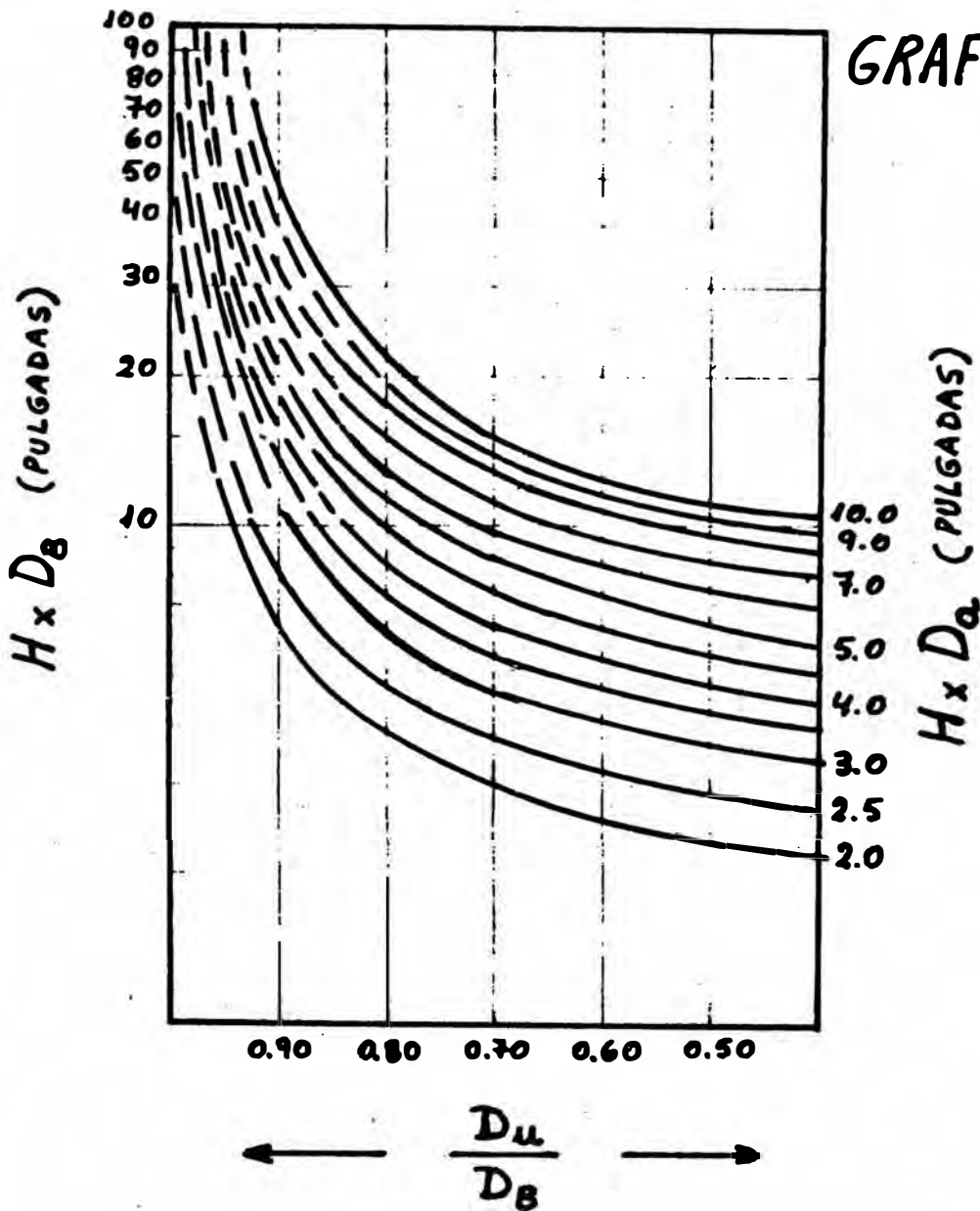


GRAFICO 2.4.c

GRAFICO 2.4.d



CUADRO 2.4.a

MEDIO REFRIGERANTE UTILIZADO	SEVERIDAD DE TEMPLE (H)													
	Aire	Aceite	Agua	Salmuera										
<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;">Tipo</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Circulaci3n</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	Tipo					Circulaci3n								
Tipo														
Circulaci3n														
Ninguna	0.02	0.25/0.30	0.90/1.00	2.00										
Ligera	----	0.30/0.35	1.00/1.10	2.00/2.20										
Moderada	----	0.35/0.40	1.20/1.30	----										
Buena	----	0.40/0.50	1.40/1.50	----										
Fuerte	----	0.50/0.80	1.60/2.00	----										
Violenta	0.08	0.80/1.10	4.00	5.00										

El contenido de martensita en la matriz de la envolvente así determinada, va decreciendo en relación directa a la distancia hasta la superficie y estará en el orden del 50 % al llegar a la profundidad e . Los aceros de temple al aire forzado son propensos a generar austenita residual y deberá ésta ser transformada mediante un posterior tratamiento isotérmico en el rango bainítico.

- Revenido.

Se efectúa a temperaturas por debajo de la crítica A_1 y generalmente en el rango de los 550 a 650 °C.

El revenido tiene por objeto optimizar las propiedades mecánicas de la martensita al grado deseado, para lo cual se regulan los parámetros de temperatura y tiempo. Simultáneamente se obtiene el relajamiento de las tensiones residuales generadas por el enfriamiento rápido y los cambios de fase.

Cuando se presenta austenita retenida después del temple, es necesario efectuar el revenido en dos etapas. En la primera etapa, en el rango de los 350 a 450°C, se propicia la transformación de la austenita en bainita inferior y en la segunda etapa, a mayor temperatura, se proporciona el revenido propiamente dicho - el cual involucra la precipitación homogénea de carburos globulares muy pequeños, a partir de la martensita sobresaturada en carbono.

- Relevado de tensiones.

Permite el relajamiento de las tensiones residuales aprovechando la propiedad de termofluencia que poseen los metales, esto es

la disminución en el límite elástico y la capacidad de deformarse plásticamente, en mayor grado, por acción de la temperatura.

Normalmente no es de esperar que se produzcan transformaciones micro estructurales, en lo cual se diferencia del revenido a pesar de que ambos tratamientos se efectúan en el mismo rango de temperaturas.

Es usual relevar tensiones después del normalizado e imprescindible en los cilindros de hierro fundido acoquillado.

El porcentaje de las tensiones residuales relevadas está en función directa a la temperatura y al tiempo otorgados en el tratamiento.

2.4.1 RELACION CON EL DISEÑO DE LOS HORNOS.

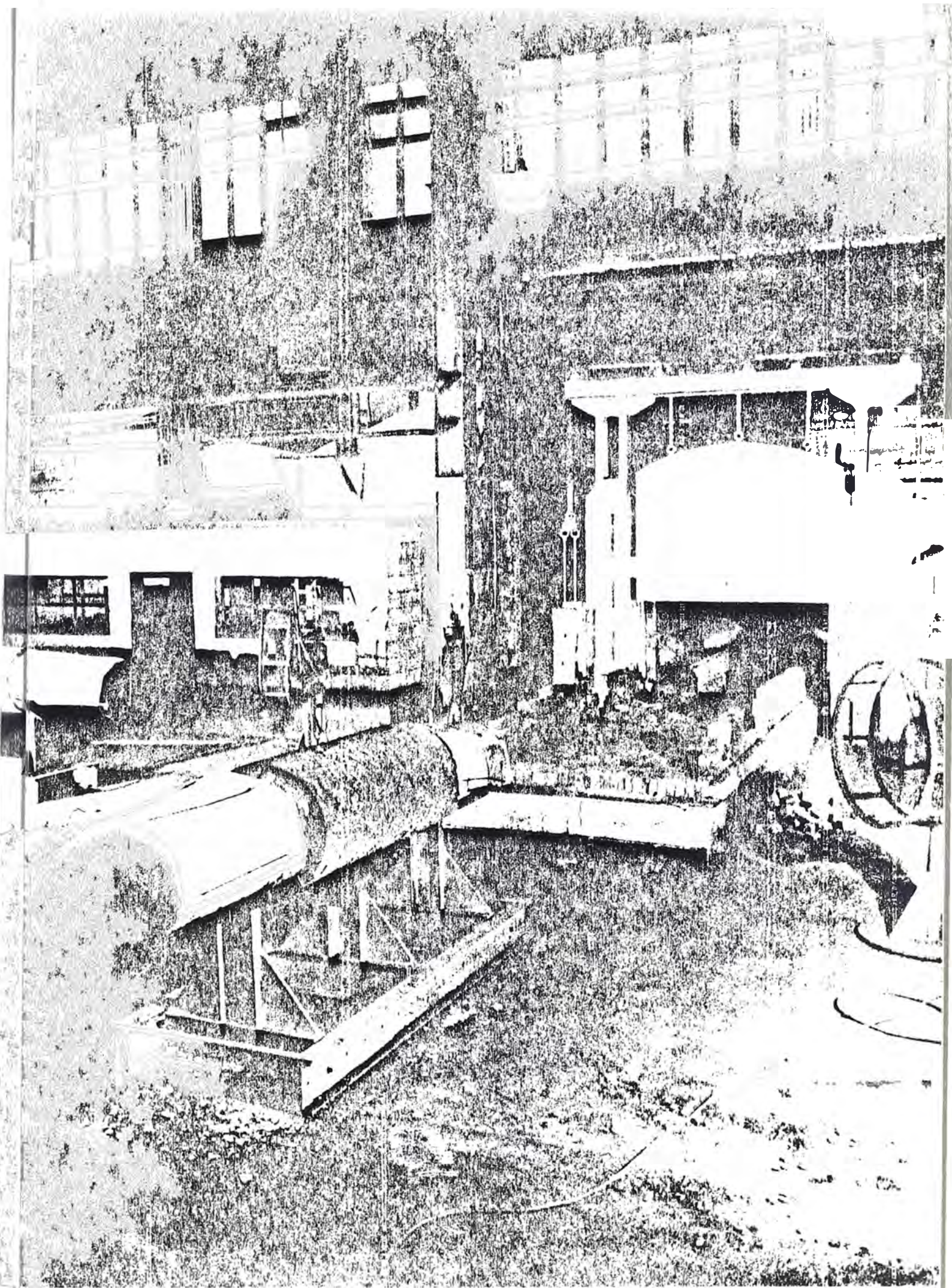
Los tratamientos térmicos convencionales para los cilindros laminadores exigen regímenes de calentamiento extremadamente lentos, que varían desde los 28°C/hora para tablas con 20 pulgadas de diámetro hasta los 4°C/hora para los cilindros con tablas mayores a las 56 pulgadas de diámetro. Ello significa que los hornos a utilizarse deben ser capaces de admitir tales velocidades de calentamiento y también garantizar una gran uniformidad u homogeneidad de temperaturas dentro de la cámara. Además deberán estar provistos, ya sea con termocuplas de contacto o mediante termocuplas estratégicamente ubicadas en el interior de la cámara del horno.

Debido a que los ciclos de tratamiento son bastantes prolongados entre 70 a 200 horas, es económicamente importante lograr el máximo aprovechamiento en cada hornada. Sin embargo deben respetarse los espaciamientos entre cilindros, de 250 milímetros como mínimo, así como también el espaciado con respecto al piso y paredes del horno, para los cuales se recomienda un mínimo de 500 milímetros. De esta manera se consigue adecuada uniformidad en la distribución de la energía calorífica y además se preserva a los cilindros de calentamientos bruscos e inhomogéneos.

Los hornos pueden ser de distintos tipos y utilizar diferentes combustibles, mientras satisfagan los requisitos enunciados, pero los de plataforma móvil y también los de campana elevable presentan mayor facilidad para el manipuleo de los cilindros en caliente.

En cuanto al equipo complementario hay que mencionar las grúas- -- puente para el transporte de los cilindros y los dispositivos para la aplicación del medio refrigerante en los tratamientos de - normalizado y/o templado. En estos casos cada cilindro se coloca sobre rodillos giratorios que le imprimen movimiento de rotación alrededor de su eje y de este modo el enfriamiento de la tabla será uniforme, mientras que los cuellos y muñones son previamente protegidos mediante fundas no conductoras del calor.

Uno de los adelantos más importantes, en la fabricación de cilindros de acero fundido con calidad superior, es el empleo de una técnica de tratamiento térmico diferencial en la cual las propiedades óptimas de los cuellos, muñones y núcleo interior del cilindro ^{se} dan con tratamientos térmicos preliminares tales como normali-



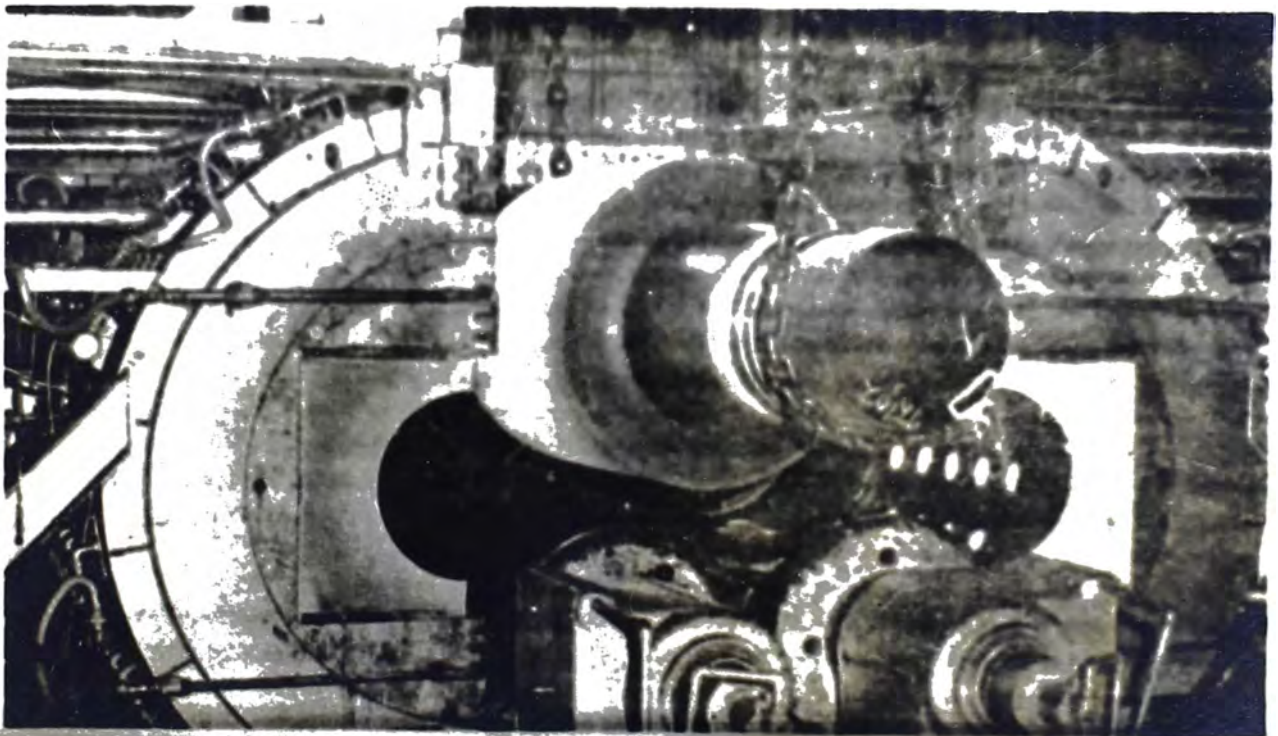
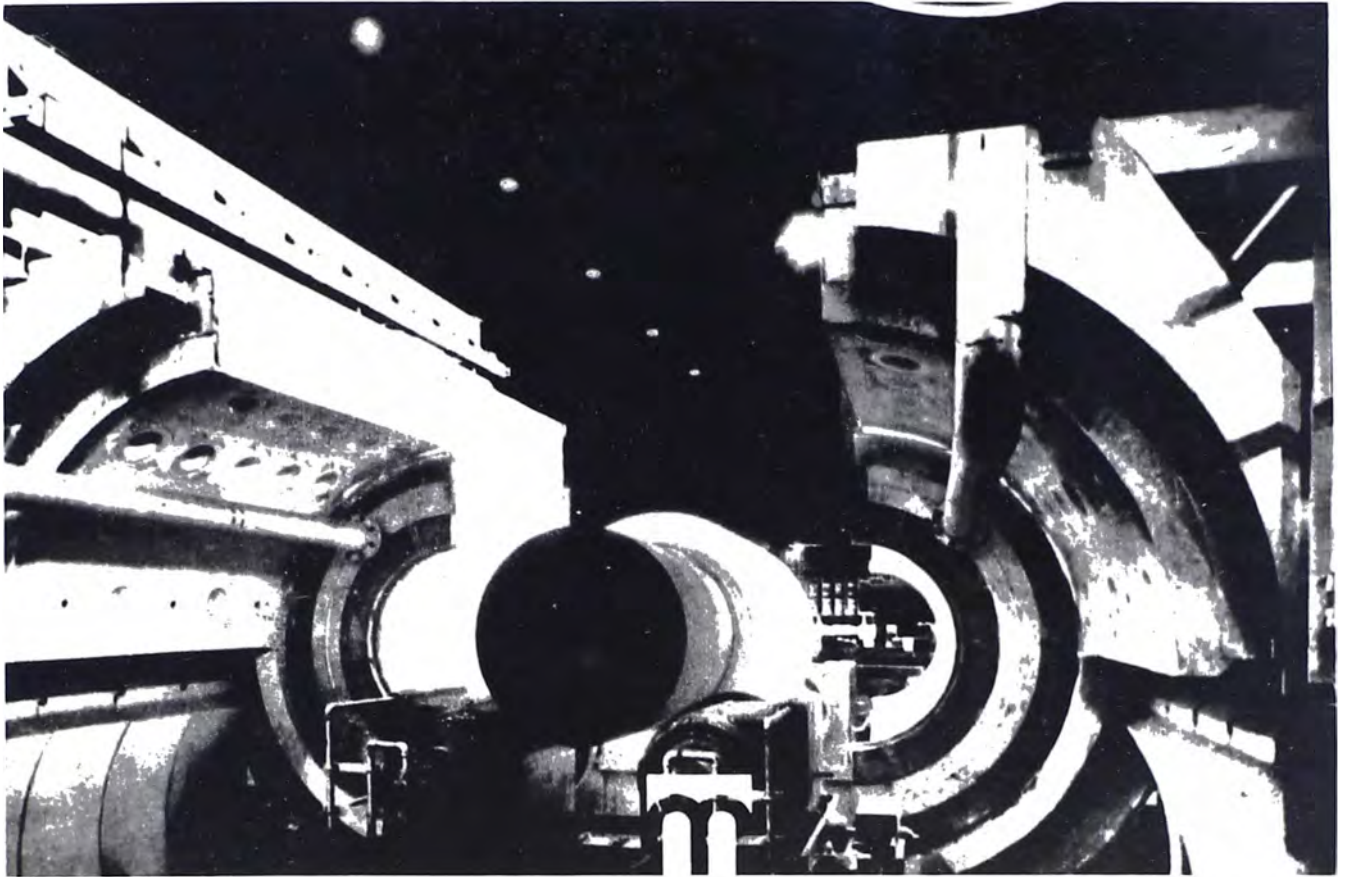


Figura 2. Fotografía de un horno Selsa para cilindros con tratamiento térmico diferencial. El cilindro que se ve en la foto es uno de apoyo de laminador en caliente, de 49.3/8"x54".

zado y/o esferoidizado. Seguidamente la Tabla^{es} sometida a un temple selectivo para lograr una envolvente de vida útil máxima.

La secuencia del proceso era utilizada desde varias décadas atrás, sin embargo el temple de la envolvente se efectuaba a la llama y permitía obtener cortezas templadas hasta una profundidad de solamente 10 milímetros, lo cual conducía a fallas por desconchado durante el servicio. El avance tecnológico en los últimos diez años ha sido capaz de desarrollar hornos para tratamiento térmico con velocidades de calentamiento tremendamente altas, del orden de los 300°C/ minuto, que permiten lograr profundidades de temple hasta de 80 milímetros.

En los cilindros de acero forjado existían problemas similares -- cuando se utilizaban procesos de temple diferencial mediante inducción eléctrica con frecuencias desde los 1,200 hasta los 600 ciclos. La solución la encontraron al usar frecuencias bajas, 180 y 60 ciclos, ya que la penetración de calor P está regida por las expresiones:

$$P_1 = 3.88 \sqrt{1/F} ; \quad P_2 = 20.1 \sqrt{1/F}$$

Para temperaturas por debajo y arriba del punto curie (1,350°F) -- respectivamente, en donde F es la frecuencia en ciclos/segundo de la corriente eléctrica utilizada y P es la penetración en centímetros. Para el tratamiento final, del temple selectivo para la Tabla, el cilindro debe estar precalentado a temperaturas por debajo de la crítica A_1 a fin de preservar las características del núcleo, cuellos y muñones obtenidas en los tratamientos preliminares.

3.0 SELECCION DEL MATERIAL PARA LA FABRICACION DE CILINDROS LAMINADORES.

El trabajo de un laminador consiste en conformar materiales libres de defectos y al menor costo posible, aspecto en el cual tiene gran incidencia la evaluación del comportamiento de los cilindros laminadores; en dicha evaluación se consideran:

- a. El tonelaje de material laminado por el cilindro durante su vida útil.*
- b. El costo de mantenimiento del cilindro, que comprende a los maquinados de reacondicionamiento y la mano de obra para efectuar los cambios.*
- c. El lucro cesante, o sea el valor de la producción no realizada durante las paradas para el cambio de cilindros.*
- d. La capacidad de absorber los percances normales durante el proceso de laminación.*

Tales consideraciones permiten seleccionar el tipo de cilindro óptimo, para una operación específica de laminado, en base a la experimentación y que indudablemente será la más concluyente. Sin embargo hay que señalar el hecho ampliamente comprobado que la experiencia obtenida en una planta no puede aplicarse de manera rígida a otra planta, aún cuando ambas produzcan la misma forma. Esto se debe a que raramente existirán dos trenes laminadores con idénti -

ticas condiciones imperantes en el proceso, de ahí que cualesquier recomendación debe ser tomada solamente como una guía referencial.

3.1 FACTORES BASICOS.

El mayor o menor grado de importancia de las propiedades requeridas en los cilindros laminadores, expuestas en el capítulo anterior, está supeditado a las condiciones imperantes para cada operación específica de laminado. Estas se refieren a factores básicos tales como la resistencia a la deformación que presente el material a laminarse y los que a continuación se tratan.

- Producto a laminarse.

En el conformado de productos planos una gran parte de la longitud de la tabla, pero con escasa área, está en contacto con el metal a laminarse. La presión de laminación es usualmente mayor que en el conformado de productos no planos, de ahí que incluso se requieran cuellos y muñones más robustos así como también relaciones longitud/ diámetro, para la tabla, cuidadosamente calculadas.

Por otra parte, los productos no planos determinan la necesidad de una mayor profundidad de la envolvente endurecida en la tabla.

- Temperatura de laminado.

Los procesos de laminado en frío se efectúan a temperaturas inferiores a la de recristalización del material que se lamina, pudiendo ser iniciados inclusive a la temperatura ambiente, cuya

mayor resistencia a la deformación plantea la demanda de presiones de laminación más elevadas. Además los cilindros deben retener un acabado superficial satisfactorio a fin de transmitir dicha característica al material procesado, siendo las operaciones en frío más exigentes en este aspecto y en el de tolerancias dimensionales.

- Posición y función del cilindro en el laminador.

Los cilindros de un laminador dúo están sometidos a condiciones menos severas que los cilindros de trabajo en un laminador cuarto, ya que tanto la presión de laminación como las velocidades periféricas son más bajas.

El cilindro intermedio de un laminador trío deberá ser más duro que los cilindros extremos para compensar el doble del trabajo que efectúa. El sacrificio en elongación que ello representa es posible debido a que se le puede considerar, en cierto grado soportando por los otros.

En un laminador cuarto se recomienda que los cilindros de apoyo tengan una dureza del 20 al 25 % inferior a los cilindros de trabajo.

En cuanto a la función del laminador dentro del tren, hay que señalar que los cilindros terminadores deben ser más duros que los empleados en los laminadores intermedios y éstos a su vez serlo en mayor grado que los cilindros desbastadores. Tal posición es ventajosa, pues en los trenes con laminadores dúos es usual

instalar cilindros nuevos para la función de terminadores y después de cierto tonelaje o campaña de producción, dichos cilindros son rectificadas para luego ser instalados en el laminador inmediato anterior y así sucesivamente. Esto permite una menor diversificación en las calidades de cilindros para el abastecimiento de la planta y un aprovechamiento más lógico de los mismos.

Disponibilidad de equipo. La bondad de los sistemas de precalentamiento y enfriamiento para los cilindros influyen en el grado necesario de las propiedades térmicas de éstos. El orden, de mayor a menor resistencia frente a los esfuerzos térmicos de los materiales utilizados en la fabricación de cilindros es el siguiente:

Aceros hipoeutectoides → aceros hipereutectoides → aceros eutectoides → hierros fundidos, aunque el tipo y concentración de los elementos aleantes puede alterar esta secuencia.

Por otra parte, es frecuente el caso de plantas de laminación que no pueden utilizar los cilindros de alta dureza, por no contar con un adecuado taller de maquinado para los rectificadas de reacondicionamiento.

3.2 CALIDADES Y CUALIDADES RECOMENDABLES.

La gran cantidad de tipos de cilindros laminadores disponibles hoy en día suelen confundir para los efectos de selección, más

aún cuando muchos de ellos amparan sus características bajo denominaciones comerciales. Por esa razón, ha sido necesario desarrollar una clasificación basada en el material empleado en la elaboración y la estructura predominante en la zona de trabajo hasta una profundidad específica compatible con la operación de laminado, la cual es afectada por la composición química y el método de fabricación. La estructura en los cuellos, muñones y en el núcleo del cilindro está supeditada al material que los constituye y al tratamiento térmico efectuado, así como también a los regímenes de enfriamiento durante la solidificación y las transformaciones al estado sólido dentro del molde.

La clasificación propuesta por J.C. Thieme y S. Ammareller, aceptada en Alemania, es muy interesante y será presentada a continuación, aún cuando difiere en algunos aspectos a las utilizadas en otros países fabricantes de cilindros.

3.2.1 CILINDROS EN ACERO FORJADO.

Los designaremos con las siglas AF. se caracterizan por ser muy compactos y presentar al estado en bruto una casi total ausencia de tensiones residuales.

AF.11 Cilindros forjados en Aceros Hipoeutectoides.

Están capacitados para soportar las solicitaciones más severas por flexión, torsión e impacto. Debido a la presencia de ferrita su resistencia al desgaste es baja y además tienden a producir la ad

herencia del material que se lamina. Sin embargo los contenidos de carbono superiores a 0.45 %, la aleación con cromo/molibdeno y tratamiento térmico de temple diferencial permiten superar dichos inconvenientes.

La composición química fluctúa en los siguientes rangos:

$C = 0.45 - 0.55 \%$, $Si = 0.25 - 0.50 \%$, $Mn = 0.50 - 0.80 \%$.

$Cr = 0.20 - 0.60 \%$, $Mo = 0.15 - 0.30 \%$

La resistencia a la tracción, con normalizado, suele variar entre 100/120 KSi para cilindros con tablas hasta de 24" \emptyset y 85/105 KSi para tablas mayores a las 40" \emptyset

Los cilindros de este tipo se utilizan en operaciones de desbaste, para el laminado de planchones y en operaciones especiales de desbaste con poca o sin agua de refrigeración.

AF.12.1 Cilindros forjados en Acero casi Eutectoides.

Poseen mejor resistencia al desgaste que los anteriores debido a los tenores más altos en carbono y elementos aleantes. La composición química varía entre los rangos: $C = 0.55 - 0.65 \%$, $Si = 0.30 - 0.60 \%$, $Mn = 0.60 - 0.90 \%$

$Cr = 0.60 - 1.10 \%$, $Mo = 0.15 - 0.30 \%$, $V = 0.10 \%$ máximo.

Con temple en aire forzado se obtiene perlita fina, con durezas de 40/45 shore D y resistencia a la tracción entre 130/155 KSi.

Con temple en aceite o spray de agua se obtiene bainita inferior, con durezas de 50/60 shore D y resistencia a la tracción entre 130/155 KSi. cilindros con estas características se utilizan en las primeras cajas de los trenes semiterminadores y como cilindros de respaldo, para operaciones de laminado en caliente.

AF.12.2 Cilindros forjados en Aceros Eutectoides.

Son prácticamente insustituibles para operaciones de laminado en frío bajo sollicitaciones de flexión y desgaste sumamente severas.

Se suministran con durezas hasta 100 shore C cuando se trata de cilindros de trabajo y con 80/90 shore C para cilindros de apoyo. A fin de garantizar la ausencia de grietas internas es necesario partir de lingotes de muy alta calidad, esto es con un mínimo de impurezas e inclusiones, condición que puede ser lograda solamente con técnicas depuradas de colada al vacío y la elaboración de acero con alta pureza, sea, en horno básico de arco o en horno eléctrico de electrodo consumible con marcha de fusión al vacío.

El endurecimiento se efectúa por temple diferencial, en hornos a gas de alta performance o por inducción, seguido de un prolongado relevado de tensiones a temperaturas entre 100 y 200 ° C.

Los cilindros de este tipo generalmente se fabrican ahuecados para tablas mayores a las 10 pulgadas en el diámetro. Cuando este excede las 32 pulgadas se prefiere confeccionarlos de dos piezas, una de ellas es la camisa endurecida mientras que la otra, también

forjada, comprende al núcleo con los cuellos y muñones.

El diámetro \emptyset de la tabla también determina la necesidad de alterar los rangos en la composición química de los cilindros y se indica a continuación.

Si, $\emptyset \leq 4"$

C = 0.90-1.10 %, Si = 0.20 %, Mn = 0.40 %, Cr = 1.00-1.50%

Si, $4" < \emptyset \leq 12"$.

C = 0.80-0.95%, Si = 0.20%, Mn = 0.40%, Cr = 1.60-2.00%

Si, $12" < \emptyset \leq 32"$:

C = 0.80-0.90%, Si=0.20%, Mn = 0.40%, Cr = 1.60-2.00%, Mo=0.20-0.50%

AF.13 Cilindros forjados en Aceros Hipereutectoides.

Exceptuando a los de alto cromo, son de uso muy limitado debido a que no ofrecen ventajas Técnico/económicas sobre los de acero moldeado.

Los cilindros de trabajo, de pequeño diámetro, para laminadores - cluster y sendzimir se fabrican en el rango de composición química siguiente:

C = 1.50-2.00%, Cr = 12.00-12.50%, Mo = 0.90% máximo V = 0.20-0.90%
presentan excelente resistencia a temperaturas altas, pudiendo -- ser utilizados en operaciones de laminado en frío o en caliente.

3.2.2 CILINDROS EN ACERO MOLDEADO.

Los designaremos con las siglas AM; tanto la composición química como los tratamientos térmicos no difieren básicamente de sus similares forjados aunque los valores de tenacidad y resistencia que se obtienen son inferiores a los de éstos últimos.

AM.21 Cilindros Moldeados en Aceros Hipoeutectoides

Es usual utilizar los aleados con 0.50/1.20% de cromo y 0.30/0.50% de molibdeno. Con normalizado al ~~aire~~ es posible obtener elongaciones de 4 a 6 % con resistencias a la tracción entre 65/70 KSi y 90/100 KSi para tenores de carbono de 0.40 a 0.80 % respectivamente.

Se aplican en laminadores pesados y medianos para desbaste, así como también para el laminado de planchones.

AM.22.1 Cilindros Moldeados en Aceros casi Eutectoides.

Su microestructura^{d*} perlita fina con bainita, logradas con tratamientos térmicos de normalizado y temple al aire seguido de un revenido alto. Los rangos de composición química son:

C = 0.65%-0.80%, Si=0.30-0.50%, Mn=0.50-0.90%, Cr =0.50-1.60%.
Mo= 0.20 - 0.70%, Ni = hasta 1.50%.

Es posible obtener durezas de 40/55 shore D, con resistencias a la tracción entre 85/105 KSi y elongaciones de 2.50/5.00 %. Con pro-

cesos de doble colada se logran durezas entre 60/65 shore D.

Se utilizan como cilindros de apoyo para operaciones de laminado en caliente y de trabajo en desbaste pesado. Los cilindros compuestos se aplican en el laminado de planchas, chapas y tiras.

AM.22.2 Cilindros moldeados en Aceros Eutectoides.

Su estructura martensítica se logra con tratamientos térmicos de temple al aire o con aceite y en base a la composición química que fluctúa dentro de los siguientes rangos:

C = 0.80-1.20%, Si = 0.30-0.50%, Mn = 1.40-2.50%

Cr = 1.40-1.80%, Mo = 0.15 - 0.30%.

La dureza que presentan puede variar entre 50/62 shore D, para los cilindros macizos, hasta 80 shore D para los elaborados mediante doble colada. Los primeros se utilizan tanto para respaldo como para trabajo en el laminado de tiras en caliente mientras que los últimos son excelentes como cilindros de respaldo en operaciones de laminado en frío.

AM 23 Cilindros moldeados en Aceros Hipereutectoides.

Se caracterizan por presentar carburos precipitados en una matriz cuya microestructura puede variar desde la perlítica hasta la martensítica, dependiendo del método de fabricación, el contenido de elementos aleantes y/o los tratamientos térmicos efectuados. La

composición química fluctúa entre:

1.40/1.60% C, 0.30/0.50% Si, 0.50/1.00% Mn, 0.50/1.50% Cr, 0.50/1.50% Ni

1.80/2.00% C, 0.30/0.50% Si, 0.50/1.00% Mn, 0.50/1.50% Cr, 0.50/1.50% Ni

2.40/2.60% C, 0.30/0.50% Si, 0.50/1.00% Mn, 0.50/1.50% Cr, 0.50/1.50% Ni

para los grados blandos, medios duros respectivamente es necesario tener en cuenta que tanto la resistencia a la tracción como la elongación decrecen, desde 85/90 KSi hasta 35/40 KSi y de 2.5/3.5% hasta casi cero respectivamente, a medida que se incrementa el tenor de carbono.

Algunas veces los cilindros de este tipo, con los contenidos altos en carbono, se cuelan sobre tablas acoquilladas.

En los últimos años se han desarrollado técnicas de colada centrífuga para la fabricación de camisas en acero hipereutectoide con tenores de cromo entre 12/18%.

Las operaciones de laminado pesado y mediano de productos no planos, en las cajas semiterminadoras y en las primeras cajas terminadoras, constituyen el principal campo de aplicación para los cilindros de este tipo.

3.2.3 CILINDROS EN HIERRO FUNDIDO.

Los designaremos con las siglas HF. Las propiedades físicas de los cilindros de esta familia dependen del método de fabricación

y la composición química utilizada. En cuanto a los tratamientos térmicos, exceptuando a los elaborados con hierro nodular, el relevado de tensiones es la regla general.

HF.10 CILINDROS SIN GRAFITO EN LA SUPERFICIE DE TRABAJO.

Todos los de este grupo son colados con la tabla acoquillada y corresponden a los designados como de temple definido.

Son utilizados para el conformado de productos planos y de aquellos que exijan pequeñas profundidades de paso, tales como varillas de poco diámetro o alambrones, para operaciones en caliente de metales ferrosos y en frío cuando se trata de no ferrosos.

La microestructura de la matriz y la dureza están en función de la composición química. Las calidades usuales:

2.60/3.80% C, 0.40/1.00% Si, 0.20/0.80% Mn, 0.30/0.60% P, 0.06/0.15% S

2.80/3.40% C, 0.50/0.80% Si, 0.40/0.60% Mn, 0.40/0.60% P, 0.20/0.60% Mo

2.70/3.20% C, 0.50/0.80% Si, 0.60/0.80% Mn, 0.40/0.60% P, 0.30/0.50% Mo

que presentan durezas entre 50/75 Shore D y una matriz perlítica; con:

3.50/3.80% C, 0.40/0.80% Si, 0.40/0.80% Mn, 0.60/1.20% Cr, 2.50/3.50% Ni,

0.30/0.60% P, Hasta 0.60% Mo, 0.08/0.15% S es posible obtener

una matriz perlítico/Bainítica con durezas entre 80/95 Shore D.

mientras que aleaciones tales como:

3.70% C, 0.40/0.60% Si, 0.60/0.80% Mn, 1.60/1.90% Cr, 4.00/4.30% Ni

0.30/0.50%P, 0.02/0.06% S

3.70% C, 0.50/0.70% Si, 3.50/3.80% Mn, 0.10/0.50% Cr, 2.60/3.00% Ni
0.30/0.50% P, 0.01/0.02% S.

permiten obtener matrices martensíticas con durezas entre 96/102 Shore D.

Se puede apreciar que los cilindros de este grupo contienen tenores altos de fósforo en su composición química y esto constituye la excepción a la regla de mantenerlo en el nivel más bajo posible, para evitar su efecto enfragilizador. La finalidad que en este caso cumple dicho elemento es muy importante ya que, por su tendencia a segregarse hacia el núcleo y formar fosforos de bajo punto de fusión, mantiene lagunas líquidas en dicha zona las cuales son extrudadas hacia el alimentador cuando se produce la precipitación del grafito. De otro modo, al no disponerse de espacio extra para la aparición de esta fase, la concha acoquillada podría romperse aún dentro del molde por efecto de la expansión del núcleo.

HF 20.1 CILINDROS CON GRAFITO PERO SIN CARBUROS EN LA ZONA DE TRABAJO.

Pueden ser obtenidos tanto por el método de colada en arena así como también con el de coquillas revestidas.

El rango de composición química:

2.00/2.80% C, 0.80/1.20% Si, 0.60/1.20% Mn, hasta
0.50 % Cr, hasta 0.50 % Ni, hasta 0.30 % P,

0.10% S máximo, permite obtener durezas entre 30/40 Shore D, 40/55 Shore D según el método de fabricación. Pese a su limitada duración los cilindros de este tipo son utilizados en plantas de baja producción, en donde muchas veces no se justifica una calidad superior de más alto precio, para el laminado de planchas y también en productos que requieran pasadas profundas.

HF-20.2 CILINDROS CON GRAFITO Y CARBUROS EN LA ZONA DE TRABAJO.

Todos los de este grupo son colados con la tabla acoquillada y corresponden a los designados como de temple indefinido.

El modelo de durezas que presentan permite efectuar sucesivos rectificadores de reacondicionamiento y lograr una excelente duración en su vida útil. Los grados denominados medio duros, entre 50/60 shore D, se caracterizan por su matriz perlítico/bainítica y pueden ser obtenidos con los siguientes rangos de composición química

2.50/2.80% C, 1.20/1.60% Si, 0.70/1.20% Mn, 0,30 P máximo, 0.10% S Max.

2.50/2.80% C, 1.20/1.60% Si, 0.70/1.20% Mn, 0.40/0.60% Cr, 0.20/0.50% Ni, 0.20/
0.30% P máximo, 0.10% máximo de S.

2.50/2.80% C, 1.20/1.60% Si, 0.70/1.20% Mn, 0.50/0.80% Cr, 1.00/1.50%, Ni, 0.30%
P máximo, 0.10% S máximo.

2.70/3.00% C, 1.20/1.60% Si, 0.70/1.20% Mn, 0.30/0.50% Mo, 0.30% P máximo, 0.10%
S máximo.

Se utilizaban para el conformado de productos que requieren pasadas profundas aunque últimamente han extendido su campo de acción a los laminado

res de desbaste para planchas y planchones, en donde han demostrado su baja sensibilidad a los esfuerzos de origen térmico.

Los grados duros, con bainita y martensita en su matriz, se utilizan para el laminado de tiras en caliente. En las cajas de desbaste se recomienda cilindros con durezas entre 65/75 shore D, obtenidos en el rango de composición:

3.10/3.30% C, 0.80/1.00% Si, 0.40/0.60% Mn, 0.70/1.20% Cr, 2.00/3.50% Ni, 0.20/0.30% Mo.

Mientras que las cajas terminadoras requieren durezas entre 70/90 Shore D, para lo cual se deberá utilizar la aleación siguiente:

3.20/3.50% C, 0.80/1.20% Si, 0.50/1.00% Mn, 1.50/2.00% Cr, 4.00/4.60% Ni, 0.30/0.50% Mo.

Para el laminado de tiras anchas y como cilindros de apoyo, es preferible fabricarlos mediante el proceso de doble colada.

HF.30 CILINDROS EN HIERRO NODULAR.

Se fabrican con el método de colada en arena cuando es necesario evitar la presencia de carburos, para obtener los valores más altos en resistencia a la tracción y elongación. Estas propiedades, así como la dureza, están en función de la microestructura de la matriz, la cual puede ser alterada mediante tratamientos térmicos.

<u>MICROESTRUCTURA</u>	<u>DUREZA (Shore D)</u>	<u>RESIST. TRACCION (KSi)</u>	<u>ELONGACION(%)</u>
Perlita + Ferrita	30/40	65/90	2/5
Perlita	38/50	70/100	1/3
Bainita	45/55	70/115	0.5/2

Los cilindros de este grupo se utilizan en el conformado de productos no planos, los más blandos en las cajas rompe escamas y los más duros en las cajas desbastadoras.

Para lograr durezas bastante más altas es indispensable la presencia de carburos en la matriz y ello se logra con el método de colada en tabla acoquillada, correspondiendo también a los denominados de temple indefinido. En este caso la microestructura es regulada exclusivamente en base a la composición química, siendo aplicado solamente el tratamiento térmico para relevado de tensiones, pudiendo conseguirse la propiedades siguientes:

<u>MICROESTRUCTURA</u>	<u>DUREZA (Shore D)</u>	<u>RESIST. TRACCION(KSi)</u>	<u>ELONGACION (%)</u>
Perlita	50/65	50/80	0.5/1
Bainita	60/80	55/100	0/0.6
Martensita	75/95	-----	-----

Los cilindros de menor dureza se utilizan en las cajas desbastadoras para el laminado de planchas, planchones y en el conformado de productos no planos que requieren pasadas profundas. Los cilíndros de mayor dureza se aplican en el laminado de barras, especialmente en procesos continuos pero para el conformado de productos no planos con medianas profundidas de paso se recomienda fabri

carlos con doble colada. En este caso, cumpliendo con la regla ge nérica para los cilindros compuestos, el núcleo será colado con una composición adecuada para obtener una importante elongación.

Los cilindros en hierro nodular son elaborados con tenores mínimos en fósforo y azufre, 0.10% máximo y 0.02% máximo respectivamente, y contenidos de magnesio residual entre 0.05/0.10%. La composición química se elige, dependiendo del diámetro del cilindro y de la microestructura deseada, de entre los rangos a continuación indicados.

MICROESTRUCTURA	% C	% Si	%Mn	%Cr	%Ni	Mo%
Perlita + Ferrita	2.80/3.40	1.50/2.20	0.20/0.80	0/0.50	0.50/2.00	0/0.40
Perlita	3.20/3.60	1.00/1.80	0.50/2.50	0/1.00	0.50/3.00	0/0.40
Bainita	3.20/3.60	1.00/1.80	0.50/1.50	0/1.20	2.50/4.50	0.50/1.20
Martensita	3.40/3.80	0.80/1.50	0.50/1.50	0.50/1.50	3.50/4.50	0/0.40

4. MECANIZADO DE CILINDROS.

En la fabricación de cilindros laminadores el mecanizado parece ser un factor de poca importancia, sin embargo las operaciones suelen ser mas dificultosas a medida que se incrementan las dimensiones, la dureza y la complejidad en la configuración del cilindro.

Debido a que los cilindros se caracterizan casi generalmente por su peso elevado, es necesario disponer de tornos lo suficientemente robustos y con los adecuados accesorios para el montaje a fin de efectuar el mecanizado dentro de los altos niveles de precisión dimensional requeridos y a un costo razonablemente competitivo.

4.1 OPERACION DE VIRUTAMIENTO.

Se realiza en tornos equipados con lunetas provistas de cojinetes en bronce sobre las cuales es montado el cilindro, sin emplear la contra punta, a fin de conseguir la coaxialidad de los cuellos y muñones con la tabla.

Cuando se trata de cilindros acanalados se prefiere utilizar una mesa que abarque la longitud total de la tabla, en donde se posicionan las portacuchillas de accionamiento manual.

Geometría del Filo.

Con este término se define la situación de la cuchilla de corte

frente a la pieza y tomando en cuenta el desplazamiento entre ambas.

Es importante contar con una cuchilla de corte robusta capaz de soportar los golpes contra puntos duros, porosidades, cáscaras de óxido, rajaduras en los cilindros que se reacondicionan, etc. Dicha cuchilla será tanto más robusta cuanto mayor sea el ángulo de filo B, no obstante que por cada grado en que éste se incrementa el torno demandará una potencia adicional entre 0.5 a 1.0%.

Por otra parte, cuando aumenta el ángulo de posicionamiento e se logra una mayor duración del filo, debido a que la viruta se distribuye sobre un filo más largo, pero suele utilizarse hasta un valor máximo de 60° ya que paralelamente se incrementa la acción de frenado sobre la pieza. Sin embargo para el torneado de muñones se trabaja con $e = 0$ porque permite vaciar con mayor comodidad al costado de la tabla.

Ángulo de Ataque negativo.

Llamado también ángulo místico porque en realidad la cuchilla no corta sino arrastra, permitiendo así el virutamiento de materiales extremadamente duros.

La introducción del ángulo negativo ha permitido robustecer la cuchilla de corte, siendo digno de mención el hecho de que al pasar de un ángulo positivo de $+15^\circ$ a otro negativo de -5° se obtiene un aumento de aproximadamente de 50 % en la resistencia del filo.

Las ventajas principales derivada del empleo de herramientas de este tipo son las siguientes:

- Mayor velocidad de torneado, de 80/100 metros por minuto o mas.
- Optima superficie mecanizada, debido a que el filo secundario raspa la parte torneada dándoles un afinado.
- Eliminación de deformaciones en la pieza durante el torneado, ya que el calor generado por el trabajo permanece concentrado, casi totalmente, en la viruta la cual al estar muy caliente fluye con rapidéz hacia el exterior, prácticamente se evita a la arista ficticia.

Menor probabilidad de rotura en la punta de la cuchilla, permitiendo efectuar operaciones de mecanizado discontinuas.

- Eliminación o reducción del refrigerante, con la posibilidad de poder observar directamente a la pieza durante el torneado y controlar la marcha de la operación.

Como desventajas se tiene:

Mayor potencia necesaria, sin embargo este item tiene poca incidencia en el costo de mecanizado.

- Tendencia a vibrar, precisando tornos más robustos y con mayor rigidéz.

Cinemática del Corte intermitente.

El recorrido que el filo efectúa en el material, cuando lo está cortando, es otro factor que interviene en la duración de una herramienta.

En las operaciones de fresado se recomienda el corte escalonado

con la secuencia 1 - 2 - 3 - 4, esto es el orden según el cual los filos tocan a la pieza, para proporcionar un desarrollo "lento" de contacto entre filo y pieza. De este modo se obtiene una duración elevada del filo y menos quebraduras del mismo. Las condiciones que deberán cumplirse, según Kronnenberg son las siguientes:

- Que el ángulo de interferencia (F) sea mayor que el ángulo radial (α).

- Que el ángulo auxiliar (i) sea mayor que el ángulo de posicionamiento (e); $tg.i = \frac{tg. a}{tg. r - tg. F}$ (■), en donde a = Angulo axial.

No deberá excederse al valor máximo calculado para F porque la duración de las cuchillas decae notablemente.

Fuerza Específica de Virutamiento (Ks).

Es uno de los parámetros que intervienen en el cálculo de la potencia de torneado y se define como el esfuerzo para el arranque de viruta con sección unitaria. Su valor se incrementa si se aumenta el ángulo de filo en la herramienta, así como también cuando mayores sean la dureza y resistencia a la tracción del material que se mecaniza.

Se obtienen valores menores en la fuerza específica y por lo tanto un mejor aprovechamiento de la potencia del torno, cuando se incrementa la sección de viruta (s) que es removida. Se considera un buen índice si se logra una pulgada cúbica de viruta por minuto de operación y por cada caballo de vapor (cv) consumido.

Diagrama de Producción.

Entre la velocidad y la sección de corte hay dos leyes fundamentales, la línea de herramienta que incluye el tiempo de duración de ésta y la línea de máquina que considera la potencia de la misma. Estas dos leyes son distintas y suelen representarse en un Gráfico doble logarítmico denominado diagrama de Producción, el cuál es el más importante en la técnica de virutamiento ya que permite la plena utilización de la máquina y de la herramienta con la correspondiente velocidad de corte máxima, para cada calidad de material que se mecaniza. El análisis de los diagrama de producción señala las siguientes conclusiones:

- La velocidad y sección de corte se deben determinar según la línea de máquina y la herramienta será seleccionada de acuerdo a los valores así obtenidos.
- Es recomendable aumentar la velocidad y disminuir la sección según la línea de máquina, empleando herramientas de metal duro de muy buena calidad, cuando las piezas son normalmente estables y se desee un buen acabado superficial.
- Cuando se tengan que trabajar piezas muy robustas en máquinas pesadas es recomendable disminuir la velocidad y aumentar la sección, según la línea de máquina.

Calidades de Herramienta y las Velocidades de Corte.

El calor que se desarrolla durante las operaciones de mecanizado, según la ley de Herbert, aumenta con el cubo de la velocidad de --

corte y se obtiene a expensas de la energía total consumida por la máquina, pudiendo variar entre 1/100 y 1/10 de ellas según se pase de trabajos lentos a los veloces respectivamente.

En la práctica interesa conocer la temperatura que alcanza la viruta y por lo tanto la herramienta ya que de ninguna manera se deberá exceder la temperatura máxima de servicio de dicha herramienta, la cual depende de la calidad del material que la constituye y que a manera de referencia señalaremos las siguientes:

200 / 400°C para aceros al carbono, 500/550°C para aceros rápidos comunes.

650/720°C Para aceros rápidos especiales, 670/850°C para stellite y

750/900°C para pastillas carburadas.

Relación entre la velocidad de corte (v) con la duración de herramienta (T).

La ley de Taylor liga a éstas dos variables mediante la expresión $V.T^y = \text{Constante}$, en donde el exponente y es un parámetro que depende de los materiales que constituyen a la herramienta y a la pieza que se mecaniza.

Es obvio que al emplear elevadas velocidades de corte, si bien el tiempo de mecanizado resultará pequeño, la herramienta tendrá una duración menor con la consiguiente pérdida de tiempo para los afilados o cambios de la misma y además los costos de herramienta se incrementan considerablemente. El caso contrario, con bajas velocidades de corte, conduce a prolongados tiempos de operación en el mecanizado con mayor duración de la herramienta, cuya sensi

bilidad a tales cambios es dada por el exponente y .

Para mecanizar acero, el valor de y varía entre 0.15 a 0.30 según se trabaje con cuchillas de acero rápido o con pastillas carburadas respectivamente, mientras que para mecanizar hierros fundidos $y = 0.25$ en ambos tipos de materiales para la herramienta.

Velocidad Combinada en el Torneado.

El volumen de material removido se obtiene al multiplicar la velocidad de corte (V) por la sección (S) de la viruta producida, -- siéndo ésta a su vez el producto de la profundidad de corte (p) por la velocidad de avance (a) de la herramienta. Es obvio que cuanto mayor sea el producto $V \times S$ tanto menor será el tiempo de trabajo. Sin embargo el factor económico es de gran importancia en las operaciones de fabricación, especialmente en el mecanizado de cilindros laminadores que requiere de herramientas especiales de elevado precio.

Es usual graficar el costo de producción en el mecanizado en función de la velocidad de corte, para condiciones prefijadas en la velocidad de avance. Las curvas presentan la forma de copa. Con baja velocidad de corte se obtiene un costo de producción elevado por la incidencia del tiempo de máquina y de la mano de obra. Aumentando gradualmente la velocidad se llega a un costo óptimo y luego nuevamente a un costo mayor porque el costo del herramental aumenta en forma considerable.

4.2 EL RECTIFICADO CILINDRICO EXTERNO.

Es una operación mecánica consistente en obtener una pieza mediante el removido de una cantidad de metal, bajo la forma de virutas muy pequeñas, mediante la acción abrasiva de una muela de esmeril que gira a gran velocidad y en el sentido contrario al de la pieza. Mientras que está rota, a baja velocidad, su superficie está permanentemente inundada con un líquido refrigerante.

Debemos anotar que, con cierta frecuencia, la tabla de los cilindros laminadores es rectificadora según una generatriz ligeramente cóncava ó en otros casos convexa, por motivos relacionados con la práctica de laminado.

Fundamento de la Operación.

El rectificado es una de las operaciones de mecanizado de mayor importancia ya que permite la remoción de grandes cantidades del metal y asegurando, aún bajo altas velocidades de producción, dimensiones con precisión del millonésimo de pulgada y por lo tanto con una alta calidad de superficie.

El material de la pieza que se mecaniza es removido al entrar en contacto, bajo una presión determinada, con los millones de granos que constituyen a la muela los cuales poseen aristas cortantes y están dotados de una gran energía cinética ya que las velocidades lineales usuales son cercanas a los 120 kilómetros por hora; debido a su naturaleza, dichos granos se quiebran durante la operación

y generan nuevas aristas cortantes para luego ser expulsados por la fuerza centrífuga de la muela, siendo inmediatamente reemplazados con otros granos que repiten el ciclo.

En cuanto al tipo de abrasivo, los de carburo de silicio se utilizan para los cilindros en hierro fundido mientras que el óxido de aluminio se emplea para los cilindros en acero.

La profundidad de Corte Granular y la Dureza de la Muela.

La profundidad de corte granular (D_g) se define como el espesor de material removido, a la pieza que se rectifica, en cada pasada de la muela. Su valor depende de la profundidad radial de corte (D_r) con la cual está relacionada mediante la expresión:

$$D_g = 2 \times D_r \times \text{Constante.}$$

A medida que D_g se incrementa mayor será el trabajo exigido a cada uno de los granos abrasivos, por lo que éstos se desgastarán y desprenderán con mayor rapidez. De este modo la muela presentará nuevos granos, con sus aristas cortantes íntegras, para propiciar una operación agilizada. Es evidente que dicho proceso cíclico depende de la dureza intrínseca del abrasivo así como también de la naturaleza del aglomerante utilizado en la fabricación de la muela. Por esta razón, en el rectificado de cilindros laminados se prefieren las del tipo blando, aún cuando determinan un mayor consumo de abrasivo frente a las muelas del tipo duro.

Obviamente que las condiciones de operación tienen que ser econó-

micamente optimizadas y en este sentido influyen las circunstancias particulares para cada taller de rectificado.

Influencia de los Diámetros y de las Velocidades.

Para una operación de rectificado satisfactoria se deberá cumplir con tres requisitos básicos, éstos son:

- La reducción gradual de la velocidad lineal de muela, debiendo iniciarse con 6,000 piés por minuto durante el desbaste hasta llegar a los 4,000 piés por minuto en las pasadas de acabado -- final. El material del cilindro así como también la dureza y el grano de la muela determinan los mejores valores para dicha faja de velocidades y los momentos más adecuados para efectuar las reducciones.
- El incremento gradual en la velocidad lineal del cilindro, debiendo iniciarse entre 80 a 125 piés por minuto durante el desbaste e incrementarla hasta los 200 piés por minuto para las pasadas de acabado.
- La reducción gradual de la velocidad de avance para la muela, desde $\frac{2}{3}$ a $\frac{3}{4}$ de su longitud durante el desbaste se disminuye a $\frac{1}{4}$ o $\frac{1}{2}$ de dicha longitud tanto para el emparejado como para el acabado final. Los avances señalados corresponden para una revolución del cilindro.

Durante los pases de acabado hay que evitar que la muela sobrepase en mas de $\frac{1}{4}$ de su longitud al extremo de la tabla.

las tres variables indicadas suelen controlarse independientemente, pero para verificar una presión de trabajo constante se requiere instalar un amperímetro, conectado a la línea de tensión para la muela. Los valores recomendados son:

75/80 amperios durante el desbaste.

40/45 amperios para las pasadas intermedias (emparejado).

20/25 Amperios para las pasadas de acabado.

5. DISEÑO DE UN CILINDRO DE LAMINACION.

A pesar de que la era actual se caracteriza por una tendencia hacia grados de especialización cada vez mayores, en el área del conocimiento tecnológico que corresponde al diseño de elementos metálicos para maquinaria existe una marcada interdependencia entre la mecánica y la metalurgia.

Es obvio que ambas ciencias son necesarias para la correcta evaluación de la capacidad, para el servicio, de elementos fabricados con materiales metálicos.

En el caso de los cilindros laminadores, la etapa previa a su diseño consiste en la determinación de las fuerzas actuales durante una operación específica de laminación. Luego se procede al dimensionamiento de las partes que constituyen al cilindro, en función de los esfuerzos actuantes sobre cada una de ellas y de las propiedades físicas del o los materiales que satisfagan tales condiciones. Sin embargo la elección del material puede estar limitada por consideraciones de disponibilidad, costo, técnica de manufactura, requerimientos para el mecanizado, etc.

Las condiciones imperantes durante el servicio de los cilindros laminadores son bastante complejas ya que involucran desgaste por fricción, esfuerzos de origen térmico, corrosión y sollicitaciones bajo cargas dinámicas las cuales son frecuentemente difíciles de precisar. Toda esta situación da lugar a que el proceso de diseño no sea una ciencia exacta y se deba recurrir a fórmulas basadas en

análisis teóricos simplificados así como también al empleo de relaciones empíricas fundamentadas en la experiencia..

5.1 PLANTEAMIENTO.

Las dimensiones características de un cilindro son el diámetro nominal de su tabla y la longitud de la misma. En los cilindros con canales se considera generalmente que el diámetro nominal de la tabla es la distancia entre los ejes de los cilindros en el momento de la laminación, resultando así que dicho diámetro es mayor que el real o de trabajo. La relación entre el diámetro nominal de la tabla y el diámetro de trabajo es usualmente inferior a 1.4 para evitar que los canales sean demasiado profundos.

La elección del diámetro de trabajo de los cilindros se realiza - teniendo en cuenta el ángulo de laminación admisible α y la resistencia de los cilindros a la flexión.

Los ángulos de laminación máximos, empleados con mayor frecuencia se indican en el Cuadro 5.1.1 y de acuerdo con ellos el diámetro de trabajo del cilindro deberá cumplir la condición:

$$D_p \geq \frac{\Delta h}{1 - \cos \alpha} \quad , \quad \text{ó} \quad D_p \geq \frac{\Delta h}{2 \operatorname{Sen}^2 \frac{\alpha}{2}}$$

el diámetro del cilindro, en los laminadores de productos planos, se fija en relación con el ancho del material laminado y la necesidad de una flexión mínima, la cual es muy importante en la la-

CUADRO 5.1.1.

NATURALEZA DE LA LAMINACION	ANGULO DE LAMINACION α , en grados.	$\frac{\Delta h}{D_p}$
Laminación en frío con lubricación en cilindros perfectamente pulidos.	3 a 4	$\frac{1}{700}$ a $\frac{1}{400}$
Igual, cuando se lamina con presión de cilindros, después que la pieza ha sido aluminada en los cilindros.	6 a 8	$\frac{1}{170}$ a $\frac{1}{100}$
Cuando se lamina en frío, empleando cilindros más rugosos	5 a 8	$\frac{1}{250}$ a $\frac{1}{100}$
Cuando se laminan tubos en caliente, sobre mandriles cortos, en laminadores automáticos.	12 a 14	$\frac{1}{60}$ a $\frac{1}{40}$
Cuando se laminan en caliente productos planos.	15 a 22	$\frac{1}{30}$ a $\frac{1}{15}$
Cuando se laminan perfiles.	22 a 24	$\frac{1}{15}$ a $\frac{1}{12}$
En laminación con cilindros de superficies ásperas • preparadas especialmente.	27 a 34	$\frac{1}{9}$ a $\frac{1}{6}$

CUADRO 5.1.2

LAMINADORES	d/D	l/d
Trios de perfiles	0.55	0.92 - 1.20
Dúos de Perfiles	0.60 - 0.70	1.20
Desbastadores	0.55 - 0.60	1.00
Chapa, fina y gruesa.	0.67 - 0.75	0.83 - 1.00
Dúos de bandas	0.75 - 0.80	0.80 - 1.00

minación de bandas. La longitud de la Tabla (L) está en proporción con su diámetro, generalmente dentro de los siguientes límites:

En laminadores dúos, para laminar hojalata	$L = (1.3 \text{ a } 1.5) D.$
En laminadores dúos, para laminar bandas	$L = (1.5 \text{ a } 2.2) D.$
En laminadores para planchas	$L = (2.2 \text{ a } 2.8) D.$
En laminadores cuarto;	
Para los cilindros de trabajo	$L = (2.5 \text{ a } 4.0) D.$
Para los cilindros de apoyo	$L = (1.3 \text{ a } 2.5) D.$

En los trenes de laminación en frío de bandas anchas y estrechas especialmente cuando se trata de bandas en acero o de otros metales que posean una elevada resistencia a la deformación, el diámetro del cilindro debe elegirse considerando el espesor mínimo necesario del producto laminado. Al emplear cilindros de gran diámetro, la compresión elástica localizada en la zona de contacto puede ser tan alta que se hace imposible la laminación de bandas delgadas, tanto estrechas como anchas.

Tomando como base la experiencia práctica, se recomienda que el diámetro de los cilindros en acero, para la laminación de éste debe de cumplir la condición:

$$D \leq (1,500 \text{ a } 2,000) h \text{ cuando se lamina con tensión.}$$

$$D \leq 1,000 h \text{ cuando se lamina sin tensión.}$$

Siendo h el espesor de la banda, al salir del laminador, sea estrecha o ancha. Las relaciones indicadas pueden ser alteradas cuando se utilizan cilindros extraduros, con dureza encima de 100 shore C, a causa del límite elástico más elevado que presentan.

La longitud de la tabla de los cilindros lisos se fija por el an cho máximo (b) de la chapa o banda laminada según las relaciones:

$L = b + 100$ milímetros, cuando b varía entre 400/1,200 milímetros

$L = b + 200/400$ milímetros, cuando b es mayor de 1,200 milímetros.

La longitud de la tabla de los cilindros con canales depende de la función que cumplen dentro del tren de laminación, es así que:

$L = (2.2 \text{ a } 2.7) D$, en laminadores de desbaste para lingores.

$L = (2.2 \text{ a } 3.0) D$, en laminadores de desbaste intermedios.

$L = (1.5 \text{ a } 2.0) D$, en laminadores terminadores.

El desbaste de los cilindros, con el uso, hace necesario operaciones de rectificado y pulido cuantas veces sea necesario. En cada rectificado se elimina una capa superficial de 0.5 a 5 milímetros y en cada pulido se remueve otra capa de 0.01 a 0.5 milímetros, dependiendo de la profundidad de los defectos superficiales producidos durante el servicio y los canales deberán ser eliminados; generalmente el rectificado total máximo admisible se expresa en porcentaje respecto al diámetro de un cilindro nuevo, siendo:

10 a 12 % para laminadores de desbaste.

8 a 10 % para laminadores de perfiles

5 a 7 % para laminadores de chapa, fina o gruesa

3 a 6 % para laminadores, en frío, de bandas.

Los cuellos del cilindro pueden ser dimensionados de acuerdo al

CUADRO 5.1.3

d_1	D_3	n_1	l_2	l_3
140	148	29	90	100
150	162	31	95	110
160	176	33	105	120
180	196	38	115	130
200	216	41	130	150
220	238	44	140	160
240	258	49	155	175
260	278	54	170	200
280	300	58	185	215
300	320	62	195	225
320	340	66	210	240
340	362	70	225	255
370	392	77	245	275
390	412	80	260	290
420	448	88	275	305
450	480	94	295	325

cuadro 5.1.2 Cuando se utilizan cojinetes, pero para cilindros con rodamientos se recomienda que el diámetro del cuello (d) sea:

$$d = (0.50 \text{ a } 0.55) D$$

Los extremos accionados de los cilindros se construyen con formas diversas, las cuales dependen de la manera de conectar con el equipo motriz, sin embargo los del tipo de trébol son los más utilizados y cuyo dimensionamiento puede efectuarse según el Cuadro

5.1.3 En lo que respecta a la selección del material para la fabricación de cilindros laminadores, los Cuadros 5.1.4 y 5.1.5 proporcionan una guía referencial de bastante utilidad ya que están basados en la experiencia y consideran los factores básicos enunciados en el Capítulo N° 3.

En el procedimiento usual la resistencia a la rotura recibe atención prioritaria para luego en forma gradual ir la sacrificando -- cambiando hacia calidades de mayor dureza y que permitan obtener una mayor vida útil del cilindro.

5.2 CALCULOS

Generalmente, la tabla del cilindro se calcula para flexión únicamente, los cuellos para flexión y torsión, mientras que el extremo accionador solamente para torsión.

La sección transversal más peligrosa, en la Tabla de un cilindro liso, se encuentra en la mitad de su longitud. El momento flecc -

tor (M_b) en dicha sección transversal es:

$$M_b = P \left[\frac{m}{4} - \frac{b}{8} \right]$$

P = Fuerza separatriz sobre el cilindro.

m = Distancia entre los centros de apoyo

b = Ancho de la chapa que se lamina.

La tensión nominal de flexión (p) en la zona central será:

$$p = \frac{M_b}{0.1 \times D^3}$$

En los cilindros de laminación acanalados, la sección transversal más peligrosa puede estar en cualesquiera de las canales y se determina calculando las tensiones, en cada una de ellas, generadas durante el paso del metal que se lamina.

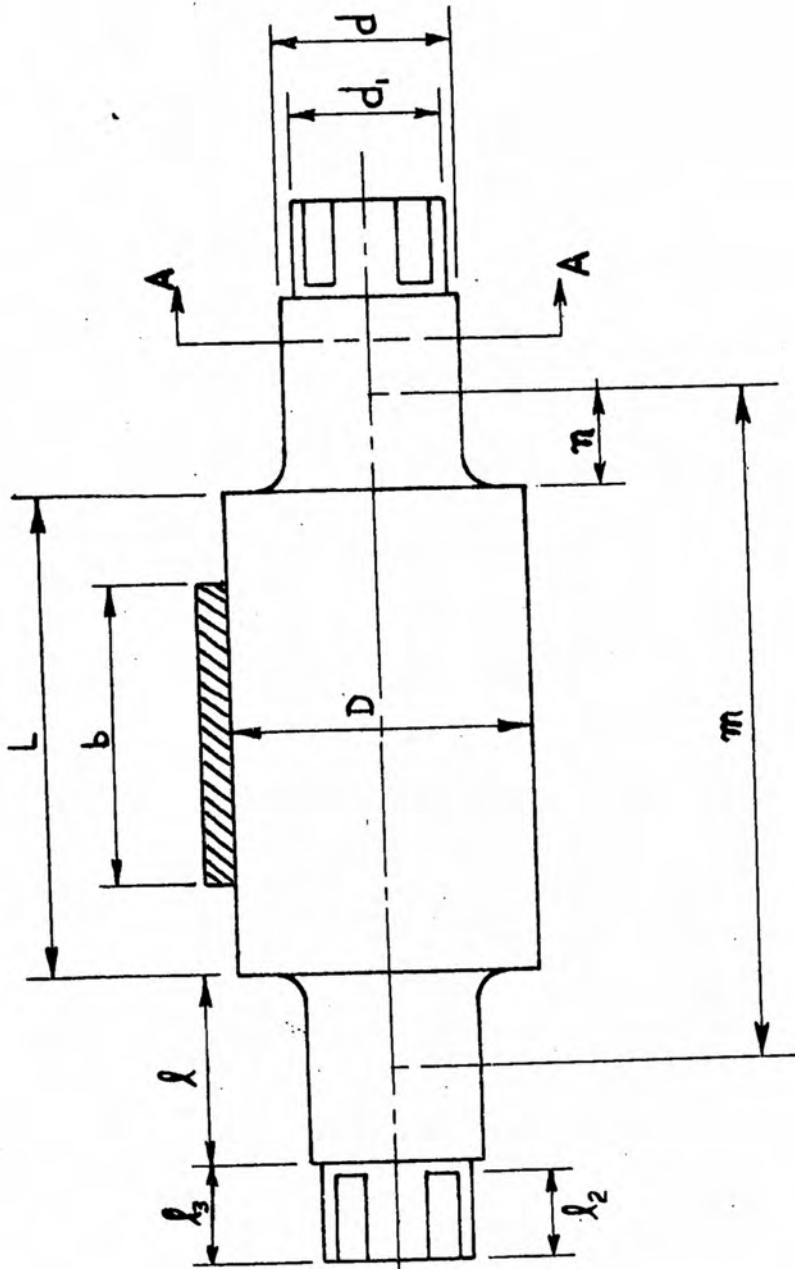
En los cuellos del cilindro el momento de flexión (M'_b) se determina por el valor máximo de la reaccionante. Para cilindros lisos:

$$M'_b = \frac{P}{2} \times n ; \quad n = \text{Distancia del centro del apoyo al extremo de la tabla.}$$

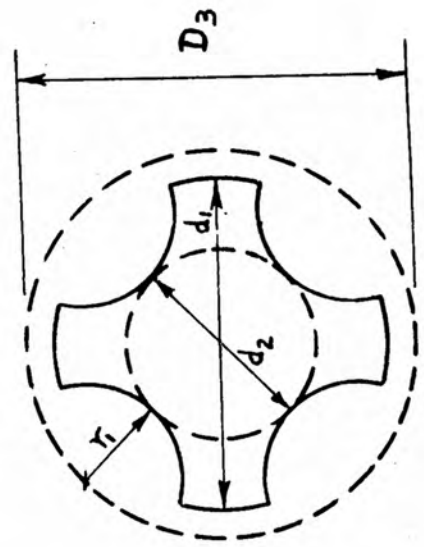
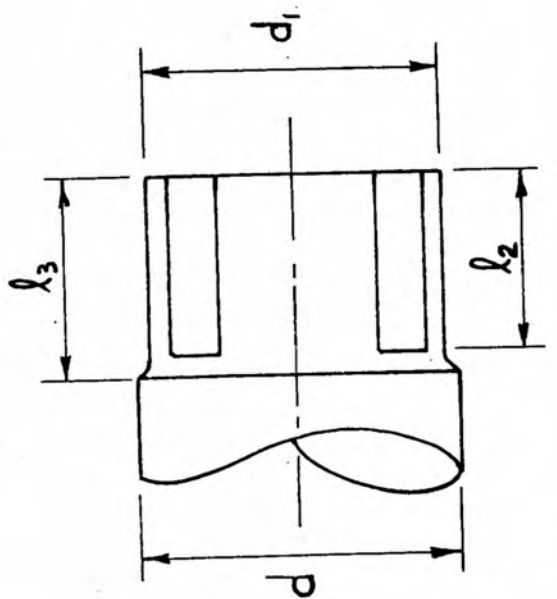
La tensión nominal de flexión (p') y de torsión (t') en los cuellos se obtienen mediante las expresiones.

$$p' = \frac{M'_b}{0.1 \times d^3} , \quad t' = \frac{M'_t}{0.2 \times d^3}$$

Siendo (M'_t) el momento de torsión que corresponde al par que ac--



VISTA B-B



VISTA B-B

túa sobre el cilindro y (d) el diámetro del cuello.

El esfuerzo máximo de torsión (t'') en el trébol se produce en la parte inferior de las muescas y alcanza el valor:

$$t'' = \frac{M''_t}{0.07 d_1^3}, \text{ siendo } d_2 = 0.66 d_1.$$

d_1 = Diámetro exterior del trebol

d_2 = Diámetro de la circunferencia de unión entre las muescas - del trebol.

Cuando se realizan cálculos aproximados, utilizando las fórmulas indicadas es normal fijar los esfuerzos máximos admisibles con un factor de seguridad igual a cinco ya que no se considera el efecto de fatiga.

La determinación de la flecha es también de interés, especialmente en los cilindros con tabla lisa, por cuanto dicho valor deberá ser contrarrestado dándole al contorno del cilindro el bombeo necesario para asegurar un espesor uniforme del metal laminado.

La flecha (f) es igual a la suma de la flecha (f_1) producida por el momento flector y la flecha (f_2) producida por el esfuerzo cortante, siendo, de acuerdo al teorema de Castiliano:

$$f_1 = \int \frac{M}{EI} \cdot \frac{\partial M}{\partial R} \cdot dx \quad ; \quad f_2 = \int \frac{Q}{G.F} \cdot \frac{\partial Q}{\partial R} \cdot dx$$

M y Q son el momento flector y el esfuerzo cortante, respectivamente, en cualesquier sección.

E y G, son los módulos de elasticidad, en tensión y corte respectivamente.

I y F son el momento de inercia y la superficie de la sección transversal respectivamente.

R, es la fuerza exterior que actúa sobre el cilindro en el lugar en el cual se determina la flecha.

Únicamente se requiere el cálculo de las flechas para la mitad del cilindro, por cuanto las cargas son simétricas.

La diferencia en la flecha del cilindro, en el punto medio de su tabla, y en el borde de la chapa laminada será expresada como la suma de δ'_1 y δ'_2 calculadas mediante las relaciones:

$\delta'_1 = \frac{P}{18.8 ED^4} (12 m b^2 - 7 b^3)$ obtenida por integración entre los límites $(b/2, 0)$ siendo $\frac{\partial M}{\partial R} = 1$, $M = \frac{P}{2} (x + \frac{m-b}{2}) +$

$$Rx - \frac{Px^2}{2b}$$

$\delta'_2 = \frac{Pb}{2\pi GD^2}$, obtenida por integración entre los límites $(b/2, 0)$.

$$\text{Siendo, } Q = \frac{dM}{dx} = \frac{P}{2} + R - \frac{Px}{b}$$

Por un método similar es también posible calcular la diferencia de la flecha del cilindro, en el punto medio, y en los bordes de la tabla para este caso:

$$\delta_1'' = \frac{P}{18.8 ED^4} (12 mL^2 - 4 L^3 - 4b^2L + b^3)$$

$$\delta_2'' = \frac{P}{\pi GD^2} \left(L - \frac{b}{2} \right)$$

Para calcular la fuerza separatríz de laminación (P) en operaciones de laminado en caliente, la ecuación de Sims permite obtener resultados con $\pm 15\%$ de aproximación, la cual es considerada bastante aceptable dada la complejidad de los parámetros que intervienen. Según Sims:

$$P = p^* \cdot b \quad R (h_0 - h_f)^{1/2} \cdot Q_p$$

Siendo, p^* la resistencia a la deformación, del material que se lamina.

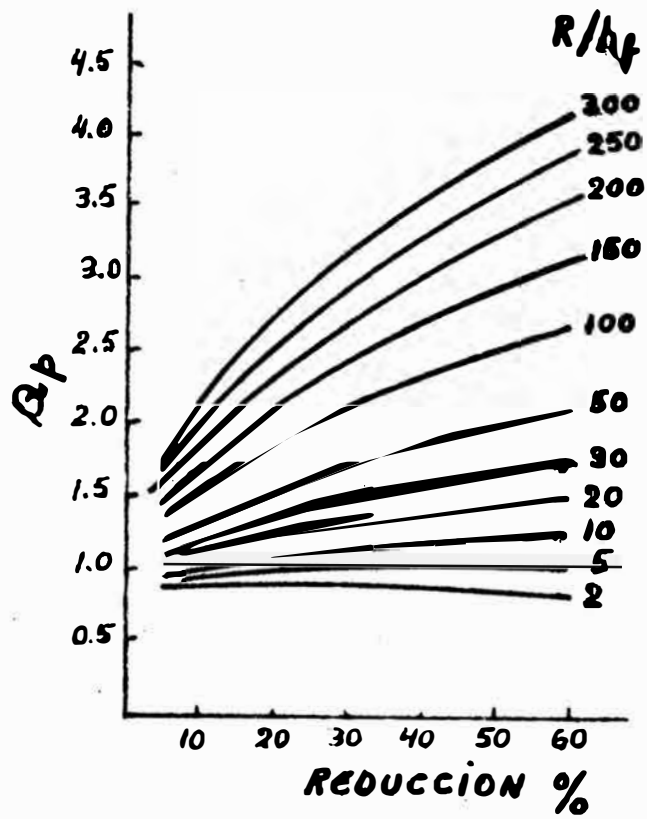
R el radio del cilindro.

h_0 , h_f los espesores inicial y final, respectivamente, de chapa que se lamina.

Q_p es una función compleja, presentada en el gráfico -- 5.2.2, dependiente de la relación R/h_f y de la reducción:

$(h_0 - h_f)/h_f$ de la chapa que se lamina.

GRAFICO 5.2.2



(Según Sims)

5.3 PLANOS DEL CILINDRO.

La etapa final en el proceso de diseño de una pieza consiste en la elaboración del plano definitivo de la misma-

En el caso de los cilindros laminadores el plano definitivo es usualmente alterado para considerar los márgenes de mecanizado e incluir las modificaciones dimensionales necesarias, en exceso, para que el proceso de manufactura permita la obtención de una pieza libre de defectos a fin de garantizar las mejores condiciones para el servicio.

El plano modificado constituye el plano de fabricación el cual deberá comprender al diseño de colada, esto es el dimensionamiento de los canales para el ingreso del metal líquido a la cavidad del molde y del alimentador cuya misión es la de compensar las contracciones líquida y de solidificación.

Los márgenes para el mecanizado se indican en el plano 5.3.1 y son:

En la longitud del muñón inferior, $e_1 = 20$ milímetros.

En el radio del muñón inferior, $e_2 = 15$ milímetros.

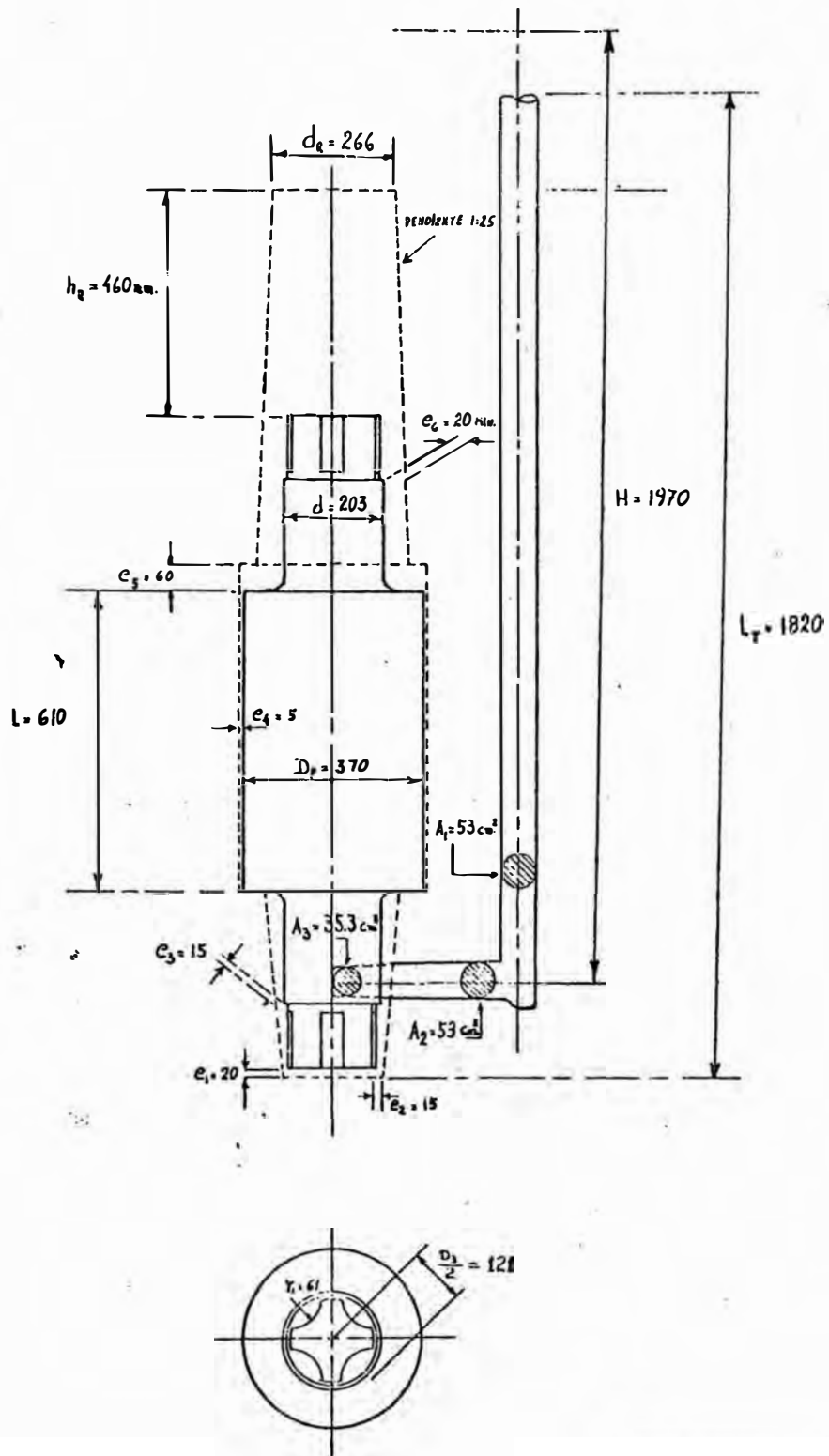
En el radio del cuello inferior = $e_3 = 15$ milímetros como mínimo.

En el radio de la tabla, dependiendo de su magnitud, $e_4 = 5$ a 8 mm.

En la longitud de la tabla, cargado hacia el extremo superior, $e_5 = 60$ a 80 milímetros.

En el radio del cuello superior, $e_6 = 20$ milímetros como mínimo.

Las modificaciones dimensionales se establecen de manera de cum -



TOLERANCIAS DE MECANIZADO Y
DIMENSIONAMIENTO
SISTEMA DE COLADA / SISTEMA DE
ALIMENTACION PARA UN CILINDRO
LAMINADOR DE 370 ϕ_{MM} .
PLANO: 5.3.1

plir con las condiciones básicas para una solidificación direccio
nal orientada hacia el alimentador, ubicado en la parte superior
del cilindro, con la finalidad de evitar las cavidades de contrac
ción que generan los cambios de volúmen durante la solidificación.
Los cambios dimensionales dan lugar a que un cilindro en bruto,
tal como fundido, presente un volúmen bastante mayor que el que -
corresponde a la pieza mecanizada. Las variaciones serán tanto -
más considerables cuanto más compleja sea la morfología del cilín
dro, dándose casos en donde la relación peso bruto/peso neto lle
ga a ser del orden de 2.5 a 1.0 como por ejemplo en algunos cilín
dros de apoyo y en cilindros ~~o~~canalados muy esbeltos.

Las condiciones imperantes durante la solidificación señalan:

- Que el metal líquido necesario, para **compensar** las contraccio
nes durante el cambio de estado de cada porción de la pieza le
sea suministrado por la zona adyacente y así sucesivamente has
ta que la última lo reciba del alimentador dispuesto exprofeso.
- Que la naturaleza del sólido generado determina una configura
ción intrincada y de superficies rugosas que dificulta el pasa
je de metal líquido a las zonas que lo demandan.

Para la solución de dichos aspectos de plantean las condiciones
básicas:

1. Regular el régimen de solidificación poniendo en juego una ga
ma de recursos, tales como los cambios dimensionales intensio
nales y el empleo de materiales diversos para la confección --

del molde, con características específicas frente a la disipación de la energía calorífica portada por el metal líquido. - El criterio de los módulos de solidificación, volumen/factor x superficie de enfriamiento, es hoy en día el que mejores resultados permite obtener en la planificación del régimen de solidificación. El factor indicado depende del material utilizado y su magnitud es directamente proporcional a la capacidad para la disipación térmica del mismo.

El tiempo de solidificación (θ_s) para una porción cualesquiera es, aproximadamente: $\theta_s = 2.00 \times M^2$.

Cuando el módulo de solidificación (M) está expresado en centímetros y el valor de θ_s es obtenido en minutos.

2. Considerar las distancias de alimentación adecuadas ya que cada zona puede alimentar a otra, con un módulo de solidificación menor, dentro de ciertos límites.

Dichas distancias pueden ser establecidas mediante las expresiones empíricas siguientes:

Distancia = 3 x espesor de zona, para aleaciones que solidifican según el modelo de capa delgada.

Distancia = 2 x espesor de zona, para aleaciones que solidifican según el modelo de capa gruesa.

La morfología de las dendritas determina el modelo bajo el cual

se efectúa la solidificación del metal, aspecto de gran importancia ya que constituye un índice de la dificultad que encontrará el metal líquido para desplazarse a través de los canales interdendríticos y que ha sido estudiado bajo el concepto de resistencia central para la alimentación (center feeding resistance).

3. Dimensionamiento del alimentador. Debe efectuarse de manera que sea la última zona en solidificarse fin de que esté en condiciones de suministrar el metal líquido necesario para compensar las contracciones líquida y de solidificación de la pieza fundida.

El dimensionamiento del alimentador para un cilindro moldeado puede realizarse de acuerdo a cualquiera de los siguientes métodos:

- Método del factor de forma (shape factor) propuesto por la Naval Research Laboratories y aplicable a piezas en aceros Hipoeutéctoides.

Método de los módulos, propuesto por N. Chvorinov y corregido por R. Wlodawer, aplicable a cualesquier tipo de metal - en donde;

Módulo de alimentador = 1.2 x módulo de la pieza.

Diámetro del alimentador = 5 veces su módulo.

Altura del alimentador = 1.5 a 2.0 veces su diámetro.

- Utilizando la fórmula empírica

$$V_R = V_c \frac{XB}{1 - XB} \quad \text{siendo:}$$

V_R = Volumen del alimentador.

V_c = Volumen del cilindro.

X = Coeficiente por la eficiencia del alimentador, asignándosele un valor igual a cinco para los cilindros acoquillados y un valor igual a siete para los cilindros no acoquillados.

B = Contracción volumétrica desde la temperatura de colada hasta la solidificación completa, del metal utilizado para la fabricación del cilindro, expresada en fracción unitaria.

El alimentador es usualmente de forma cilíndrica y sus dimensiones se establecen de la siguiente manera:

Diámetro del alimentador = $0.70 \times$ diámetro de la tabla del cilindro.

Altura del alimentador = V_R : área de la sección transversal.

En lo que concierne a los canales de colada, a través de los cuales ingresa el metal líquido dentro del molde, son habitualmente de sección circular y pueden ser dimensionados utilizando las expresiones siguientes:

$$A_3 = \frac{W}{u \times \theta \times 0.31 \sqrt{he}} ; A_2 = A_1 = 1.5 \times A_3 , \text{ siendo;}$$

A_3 = Sección transversal, en centímetros cuadrados, del orificio a la entrada del cilindro. Se le denomina área de ataque.

A_2 = Sección transversal, en centímetros cuadrados, al extremo del canal de colada horizontal, se le denomina área del canal de colada.

A_3 = Sección transversal, en centímetros cuadrados, del canal de colada vertical. Se le denomina área de bajada.

W = Peso bruto del cilindro, expresado en kilos, incluyendo al alimentador.

u = Coeficiente de pérdidas por fricción, asignándose valores entre 0.40 a 0.50 adimensionales.

θ = Tiempo de colada óptimo, expresado en segundos, asumiéndose;

$$\theta = 3.5 \sqrt[3]{W.}$$

h_e = Altura efectiva de columna ferrostática, expresada en centímetros y obtenida considerándose; $h_e = H - L_T/2$, siendo H la altura desde el plano de vertido del metal líquido hasta el plano donde está ubicado el ataque y L_T la altura total del molde para el cilindro.

Cuando se trata de cilindros con la tabla acoquillada, el plano de fabricación deberá incluir al diseño de la coquilla. Esta es generalmente confeccionada en hierro fundido gris de la siguiente composición química:

$C = 3.20 - 3.40\%$, $Si = 1.60 - 1.80\%$, $Mn = 0.40 - 0.60\%$

$S = 0.10\%$ máximo, $P = 0.06\%$ máximo.

Cada coquilla debe estar provista de dos muñones, dispuestos a 180° para su manipuleo. El espesor de la coquilla (e) está en función del diámetro (D_p) en la tabla del cilindro y suele asignársele un valor de:

$$e = 80 + 0.23 \times D_p, \text{ expresados en milímetros.}$$

A partir del plano de fabricación del cilindro es necesario elaborar planos auxiliares para la confección de todas y cada una de las partes que conforman al molde, así como también los detalles para el centrado durante el ensamble del mismo.

En lo que respecta a la cavidad del molde, sus dimensiones deben ser mayores que las correspondientes al cilindro en bruto de co-

lada ya que es imprescindible contrarrestar la contracción al estado sólido, que se produce durante el enfriamiento desde la temperatura a la cual solidifica la pieza fundida hasta la temperatura ambiente. Por lo tanto, en los planos para la confección de modelos se debe considerar el porcentaje de contracción lineal, intrínseco a la naturaleza del metal solidificado, cuyos valores referenciales son:

1.80 - 2.00 % para los aceros fundidos.

1.50 - 2.00 % para los hierros fundidos colados en moldes metálicos.

0.80 - 1.00 % para hierros fundidos colados en moldes de arena.

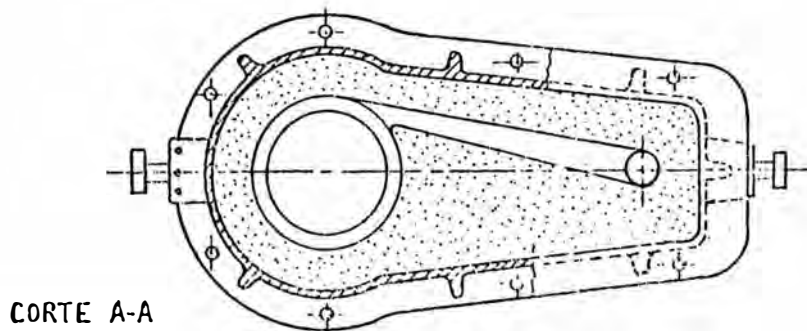
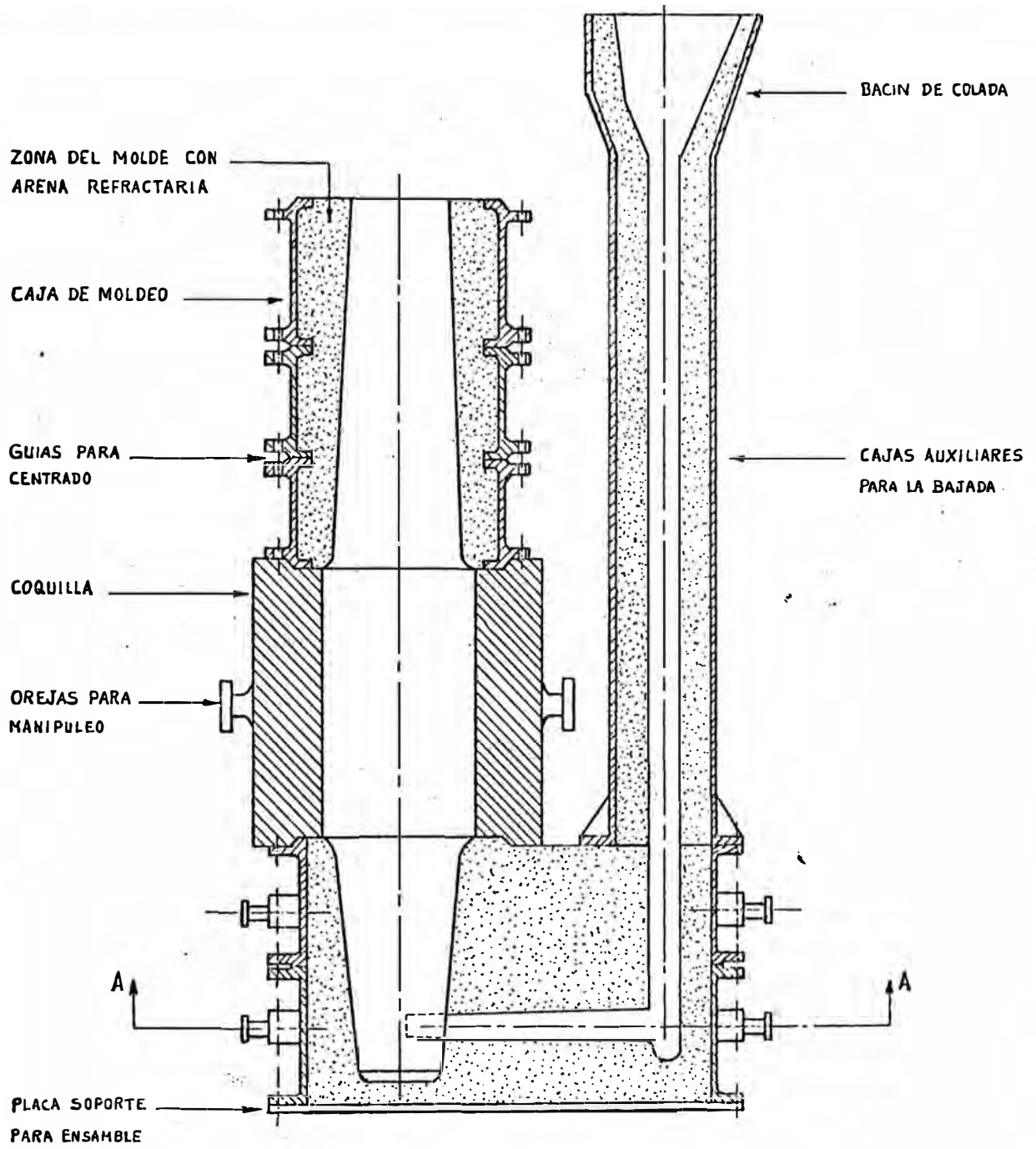
De manera que:

$$\text{Dimensión en el Molde} = \frac{\text{Dimensión requerida en la pieza}}{1 - \frac{\% \text{ Contracción sólida lineal}}{100}}$$

Para mayor comodidad, ya que se prescinde de cálculos para la conversión dimensional, en los talleres de modelería se utilizan reglas metálicas especiales denominadas reglas de contracción, en donde las dimensiones ya están incrementadas en un porcentaje específico de contracción de 1/8" x pie, 3/16" x pie y 1/4" x pie, las que corresponden a contracciones lineales de 1.0%, 1.5% y 2.0% respectivamente.

Para efectos de la fabricación de coquillas no revestidas es igualmente válido el concepto de la contracción sólida, pero en este -

caso será considerado en el taller de mecanizado ya que dichas coquillas requieren el maquinado de la superficie cilíndrica interna y de los planos basales, los cuales determinarán a la tabla del cilindro.



PLANO DE ENSAMBLE
DEL MOLDE
CILINDRO DE 370 ϕ
PLANO 5.3.2.

ne a ser la mezcla de los dos tipos de metal líquido empleados, sobre todo cuando difieren mucho en su composición química. Mediante colado centrífugo también se fabrican las llamadas camisas para cilindros, que son cuerpos cilíndricos huecos colados con metales de elevada dureza y que son montados sobre ejes confeccionados con metales compatibles a las propiedades que requiere el núcleo de los cilindros laminadores. Es obvio que el montaje se efectúa previo mecanizado de ambas partes, las cuales -- conformarán un cilindro compuesto pero constituido por dos piezas fabricadas independientemente.

- Hornos para tratamiento térmico diferencial, que permiten la elaboración de cilindros con la envolvente de la tabla endurecida -- mediante temple hasta una profundidad de tres a cuatro pulgadas, lográndose de este modo rendimientos superiores, en un 50 a 100%, a los cilindros convencionales.

6.1 RECOMENDACIONES.

En el proceso de manufactura de cilindros laminadores fundidos es necesario tener en cuenta que determinadas condiciones propician la generación de defectos, cuya naturaleza y severidad son determinantes en la aceptación o rechazo del producto obtenido.

Los defectos de fundición más comunes en cilindros laminadores son:

1. Porosidades.

Significan un problema sumamente insidioso ya que, en muchos casos los gases quedan ocluidos debajo de la superficie y solamente son puestos de manifiesto en las operaciones posteriores del proceso, tales como en el tratamiento térmico o durante el mecanizado, Las porosidades pueden ser producidas por uno o varios de los siguientes factores:

- Metal líquido gaseado y/o incorrectamente desoxidado.
- Baja temperatura de colada del metal líquido.
- Molde incorrectamente estufado, o coquillas insuficientemente precalentadas.

Coquillas con la superficie de trabajo oxidada o deteriorada por grietas y cuarteaduras.

2. Inclusiones no metálicas.

Cuando se presentan en la superficie, al ser retiradas, dan lugar a cavidades indeseables, mientras que si están ubicadas en el interior representan focos concentradores de tensiones, que debilitarán al cilindro durante el servicio.

Las fuentes de inclusiones pueden ser:

- Materias extrañas al metal, tales como fragmentos de escoria o de la arena del molde.
- Productos de reacción entre componentes del metal y sus alrededores.

3. Desgarrones en caliente y grietas.

Se presentan generalmente en la tabla del cilindro, pudiendo ser longitudinales o transversales, así como en los empalmes de la tabla con los cuellos.

Las condiciones causales de estos defectos pueden ser:

- Contracción sólida del cilindro restringida por rebarbas, ya sea entre los planos de partición del molde o por rebose del alimentador al finalizar la colada.
- Temperatura de colada excesiva.
- Inadecuada función del alimentador del cilindro.
- Metal ~ líquido inhomogéneo.
- Considerable presión interna resultante de la expansión del núcleo, por precipitación de grafito libre y la solidificación prematura del alimentador.
- Ensamble no vertical del molde, especialmente en cilindros -- acoquillados ya que determina condiciones heterogéneas de enfriamiento y de rozamiento.
- Composición química inadecuada del metal líquido.
- Coquillas no revestidas con precalentamiento insuficiente o -- con cavidades internas exageradas.

4. No cumplimiento de las especificaciones metalúrgicas.

Tales como: microestructura, dureza o profundidad de la concha acoquillada. Las desviaciones de microestructura y dureza suelen ser originadas por:

- Inadecuada composición química del metal líquido debido a una marcha de fusión incorrecta, errores en la selección de las materias primas y deficiente control de los componentes en los análisis previos de colada. Este aspecto determina la necesidad de contar con un laboratorio ad-hoc para efectuar análisis químicos rápidos.

En el caso de los cilindros confeccionados en hierro fundido, además, de lo señalado influyen:

- La excesiva temperatura de colada, que destruye los gérmenes de nucleación necesarios para una correcta grafitización e incrementa la profundidad de concha acoquillada.
- Las materias primas con grafito grosero predisponen a transmitir este factor al cilindro fundido y tienden a disminuir el espesor de la concha acoquillada.

Cuando se trata de cilindros fabricados mediante el proceso de doble colada, un estimado incorrecto del tiempo, que debe transcurrir entre el vaciado de los dos metales líquidos diferentes, determina resultados erráticos en cuanto al espesor de la envolvente.

Analizando las causas de los defectos más comunes, en el proceso de fabricación, es posible tomar las precauciones necesarias para evitarlos. De este modo el factor de seguridad por riesgos, usual

mente considerado en la determinación del costo de manufactura, tenderá hacia un valor mínimo y por lo tanto el precio de venta será mas competitivo.

En términos generales puede decirse que para reducir los rechazos a un límite aceptable, deben tenerse presentes las siguientes recomendaciones:

1. Los moldes deben ser completamente deshumedecidos, mediante ciclos de calentamiento entre 150 y 200°C en estufas adecuadas. Es importante que la velocidad de calentamiento sea lo suficientemente lenta, a fin de evitar el agrietamiento de los moldes, y que el vapor de agua generado sea expulsado para que no se condense sobre las superficies del molde.
2. Cuando se utilicen coquillas no revestidas, la superficie de trabajo deberá estar exenta de óxido, cuarteaduras y grietas. Dicha superficie será protegida mediante pinturas refractarias adherentes y no reactivas con el metal líquido a colarse.

Las coquillas del tipo mencionado deben ser sometidas a:

- Un tratamiento térmico de recocido, previo al mecanizado, para evitar fallas por choque térmico durante la colada del cilindro.
- Un precalentamiento, entre 200 a 300°C, previo al ensamble del molde.

Al momento de efectuar la colada, la temperatura de las coquillas de ninguna manera será inferior a los 100°C.

3. Las materias primas fundentes que constituyen la carga del horno tienen que ser de primera calidad, esto es:
 - De composición química perfectamente definida.
 - Exentas de humedad o cualquier otra fuente de hidrógeno, especialmente cuando se tenga que efectuar recargas sobre metal ya derretido,
 - Con densidad aparente adecuada; ya que chatarras delgadas, por la gran superficie que presentan, predisponen a mermas sensibles de los elementos fácilmente oxidables.

4. La marcha de fusión debe mantenerse bajo control, en cuanto a:
 - Una escoria fluida que preserve al metal líquido de reacciones químicas, con la atmósfera del horno y de la absorción de gases solubles nocivos.
 - Técnicas de refinación, para eliminar las impurezas o llevarlas por debajo del máximo admisible.
 - Temperatura de operación entre 100 a 150°C por encima de la temperatura de líquidos del metal que se elabora.

5. La colada del metal líquido debe efectuarse con un sobrecalentamiento de 70 a 100°C, manteniendo lleno el bacin de colada y preferentemente utilizando cucharas con pico de tetera o de colada por el fondo. La centrifugación del metal líquido, al ingresar a la cavidad del molde, permite transportar las impurezas no miscibles ya sea fuera de la pieza o por lo menos hacia la fibra neutra de la misma.

6.2 CONSIDERACIONES ECONOMICAS.

El creciente desarrollo de la industria siderúrgica se hace más exigente en todas sus facetas, no sólo por la demanda mundial de acero sino también por los aspectos de mercado y producción que influyen en la rentabilidad del proceso.

En el costo de los productos laminados es significativa la incidencia del costo correspondiente al rubro de los cilindros laminadores el cuál debe considerar:

1. El costo directo del cilindro o sea el precio resultante en las operaciones de compra, esto es el precio señalado en la cotización del proveedor más los costos adicionales de seguro, flete, derechos aduaneros, almacenaje e impuesto a los bienes y servicios.

Los costos adicionales varían de acuerdo a las condiciones especificadas en la cotización y éstas pueden ser:

FOB = Puesto sobre el barco en el puerto de despacho.

C y F = Puesto sobre el barco en el puerto de destino, pero sin cubrir el importe del seguro a la mercadería.

Es obvio que el material de la superficie de la tabla del cilindro se desgasta progresivamente durante el servicio y cuando dicho desgaste alcanza un límite máximo admisible, indicado en el capítulo anterior, el cilindro deberá ser dado de baja. De ahí que se considere un costo específico C_1 .

$$C_1 = \frac{\text{Costo Directo del Cilindro}}{\text{Tonelaje equivalente de material laminado}}$$

Se asume normalmente que la disminución de una pulgada en el diámetro del cilindro no altera en forma sustancial su desempeño, pudiendo ser reinstalado en el mismo laminador después de los reacondicionamientos usuales, mientras no se exceda dicho límite.

Cuando la disminución del diámetro es mayor de una pulgada, el cilindro reacondicionado debe destinarse al laminador inmediato anterior en la secuencia del tren de laminación.

Debido a que las condiciones de servicio son diferentes para cada laminador es necesario determinar los factores de equivalencia entre ellos, para lo cual se procede de la siguiente manera:

- Se controlan los cilindros que trabajan en cada laminador durante un período prefijado, digamos de tres meses.
- Se registran, el tonelaje laminado (T_N) y las milésimas de pulgada (N) rectificadas durante dicho período.
- Para cada laminador se establece la relación (T_N/N) que representa al tonelaje laminado por cada milésima de pulgada utilizada.
- Se fija como base la relación (T'_N/N) del primer laminador y este valor se divide separadamente entre el valor T''_N/N'' , T'''_N/N''' , ... de cada uno de los otros laminadores.
- Cada cociente así obtenido será el factor de equivalencia entre ellos y permitirán encontrar el tonelaje equivalente, de

material laminado por un cilindro a su paso por distintos laminadores.

2. El lucro cesante, o sea el costo que se asume por concepto de la producción no efectuada durante los tiempos inefectivos de operación, debido a las paradas del laminador para realizar los cambios de cilindros que requieran ser relevados del proceso de laminación, ya sea de manera transitoria o definitiva.

Tales cambios son necesarios ya que, después de laminar cierto tonelaje de material la superficie de trabajo del cilindro se deteriora, siendo preciso rectificarla a fin de que la calidad superficial y dimensional, del producto laminado, se mantenga dentro de las especificaciones requeridas.

La valorización del lucro cesante se considera de acuerdo a la envergadura de cada empresa pudiendo llegar a ser del orden de los cinco mil a los quince mil dólares americanos por hora inefectiva de operación, para instalaciones con capacidades superiores a los cinco millones de toneladas de productos laminados por año.

La incidencia del lucro cesante por tonelada de material laminado está dada por el valor C_2 , siendo determinado mediante la expresión:

$$C_2 = \frac{\text{Número total de cambios}}{\text{Tonelaje laminado}} \times \theta_h \times \text{valor del lucro cesante por hora.}$$

θ_h = Tiempo requerido para cada cambio, expresado en horas, el cual es usualmente del orden de los 20 a 30 minutos.

La valorización del lucro cesante no incluye los costos por daños materiales, en caso de que los hubieran, que algunas veces producen las fallas intempestivas durante las operaciones de laminación.

Es obvio que el concepto de lucro cesante no se aplica al rubro de costos del cilindro cuando la parada del laminador se produce por causas ajenas a la naturaleza de los cilindros.

3. Gastos incurridos y mantenimiento del cilindro, que comprenden:
- Los cambios de cilindros, efectuados por un equipo especializado en éstos menesteres y dotado del herramental necesario a fin de que cada parada del laminador sea lo más corta posible; de ahí que el valor (h_e) de la hora/ equipo sea usualmente elevada.
 - Reacondicionamiento de los cilindros, efectuado con el objeto de eliminar una porción de la envolvente de la tabla cuando presenta marcas de laminado, grietas superficiales, quemaduras etc. Ello se consigue mediante operaciones de rectificado, generalmente realizadas en el taller de mecanizado de la empresa laminadora y que demanda un costo (h_x) por cada hora de operación.

Ambos costos, por cambio y reacondicionamiento, son representados por C_3 al ^{ser} referidos a cada tonelada de material laminado y está dado por la expresión:

$$C_3 = \frac{\text{Número total de cambios}}{\text{Tonelaje laminado}} \left[(h_h \times h_e) + (h_t \times \text{Total de horas en redificado}) \right]$$

El costo total (C_T) permite evaluar el rendimiento de cilindros laminadores de distintas calidades y/o diferentes proveedores, siendo:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3$$

CONCLUSIONES.

La Industria Siderúrgica es considerada prioritaria dentro del Plan Nacional de Desarrollo, por ser impulsora del progreso industrial permanente y autosostenido que el país requiere.

El desarrollo de la industria siderúrgica está orientado a la generación de los insumos fundamentales, para las actividades dependientes de ella a fin de :

- Obtener productos con un mayor valor agregado.
- Utilizar nuestros recursos naturales en forma más adecuada.
- Propiciar la creación de nuevas fuentes de trabajo.
- Contribuir al mejoramiento de nuestra balanza de pagos.

En toda industria estratégica es esencial el autoabastecimiento de sus insumos y principalmente el de aquellos que pueden comprometer seriamente a la continuidad operativa. Dentro de los procesos de laminación, los cilindros laminadores constituyen un item preferencial y por lo tanto su fabricación tiene que ser planteada a corto o por lo menos un mediano plazo.

En ese sentido, el presente trabajo pretende significar un modesto aporte a la inquietud ya existente por encarar el desafío que representa la fabricación de cilindros laminadores. Esto último es particularmente cierto por cuanto los fabricantes tradicionales tra-tan de mantener en la más absoluta reserva sus técnicas de manufactura y además es sensible la falta de datos precisos concernientes

a las condiciones de servicio, tales como:

- Temperatura que una operación de laminación dada imparte a la su superficie del cilindro.
- La presión puntual máxima en el área de contacto a la temperatura mencionada.
- Condiciones de temperatura E irregularidades de superficie y calibración, del material que se lamina.

Es de suma importancia que un programa para la fabricación de cilindros incluya las siguientes consideraciones.

- Adquisición, traducción y publicación de literatura especializada sobre el particular.
- Proporcionar facilidades para que ^{su} personal técnico efectúe trabajos y estudios de investigación a corto, mediano y largo plazo.
- Concretar los estudios de investigación a través de la experimentación con nuevos tipos de cilindros, aún apartándose de los esquemas de fabricación y análisis químicos convencionales. Hay que señalar que los cilindros confeccionados en hierro nodular - y más recientemente los de alto cromo siguieron el camino introdutorio del tanteo.

BIBLIOGRAFIA.

" FABRICACION Y USOS DE CILINDROS DE LAMINACION"

Memoria Técnica del Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero
ILAFA 1974.

"ROLLING MILL ROLLS"

J.C. Thieme, S. Ammareller
Climax Molybdenum Company.

"TRENES DE LAMINACION"

A.I. Tslikov, V. Smirnov
Ediciones URMO.

"PRIMER SIMPOSIUM DE CILINDROS PARA LAMINACION"

Memoria Técnica del Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero
ILAFA 1965.

"IRON ROLLS FOR STEEL MILLS AND THEIR MANUFACTURE AT FOUNDRY FORGE
PLANT".

R.C. Prosad, S.S. Khanna, T.B. Sinch, K.B. Mehta.
Heavy Engineering Corporation Limited. INDIA.

"MAKING SHAPING AND TREATING OF STEEL"

United States Steel Corporation.

"DESIGN OF FERROUS CASTINGS"

American Foundry Society.

"MECHANICAL METALLURGY"

G. Dieter

"DIRECTIONAL SOLIDIFICATION OF STEEL CASTINGS"

R. Włodawer.