

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**



---

**LAMINACION DE ACEROS**

**INOXIDABLES PLANOS**

**EN FRIO**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO**

**P R E S E N T A**

**FERNANDO VAZQUEZ BENITEZ**

**1 9 8 1**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## CONTENIDO

### OBJETIVO

- 1.- INTRODUCCION
    - 1.1- GENERALIDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES
    - 1.2- FABRICACION Y DEFORMACION EN CALIENTE
  - 2.- EQUIPO Y CONSIDERACIONES GENERALES DE LA LAMINACION EN FRIO
    - 2.1- ASPECTOS GENERALES DE LA LAMINACION EN FRIO DE ACEROS INOXIDABLES
    - 2.2- EQUIPO DE LAMINACION EN FRIO
  - 3.- CARACTERISTICAS MECANICAS Y METALURGICAS
    - 3.1- COMPORTAMIENTO DE BANDA Y EQUIPO DURANTE LA LAMINACION
    - 3.2- FRICCION Y LUBRICACION
    - 3.3- LA PRESION DE LAMINACION
    - 3.4- EL PAR MOTON
    - 3.5- LA POTENCIA DE LAMINACION
    - 3.6- REDUCCION DE ESPESOR Y ESPESOR MINIMO DE LAMINACION
    - 3.7- TENSION Y CONTROL DE PLANITUD
    - 3.8- DEFORMACION DE EQUIPO Y CONTROL DE ESPESOR
    - 3.9- ASPECTOS TERMICOS DEL PROCESO Y REFRIGERACION
  - 4.- RECOCIDO
  - 5.- TEMPLE SUPERFICIAL DEL ACERO INOXIDABLE
    - 5.1- ASPECTOS GENERALES
    - 5.2- EL ARCO DE CONTACTO
    - 5.3- CALCULO DE PRESION
    - 5.4- EL PAR MOTON EN EL MOLINO TEMPLADOR
  - 6.- DEFECTOS SUPERFICIALES Y DE FORMA
  - 7.- PROCEOS COMPLEMENTARIOS
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

**OBJETIVO:**

DAR A CONOCER LOS PRINCIPIOS BASICOS DE LA METALURGIA DE LOS ACEROS INOXIDABLES PLANOS POR UNO DE LOS METODOS MAS EFICIENTES Y MEJOR CONTROLADOS DE QUE SE DISPONE EN LA ACTUALIDAD.

## 1.- INTRODUCCION

### 1.1.- GENERALIDADES DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Los aceros inoxidable, como su nombre lo indica, son aceros resistentes a la corrosión, resistencia debida a la presencia de una película de óxido en la superficie que sirve de protección. El principal elemento que influye en la resistencia a la corrosión y el responsable de la formación de la película de óxido es el cromo, que debe encontrarse arriba del 12 %. El segundo en importancia es el níquel, que fortalece y estabiliza la capa proporcionando además mejores características mecánicas como ductilidad y soldabilidad. En menor grado el molibdeno que mejora la resistencia a la corrosión por vía húmeda.

La corrosión es una ionización del metal es decir, se produce por un intercambio de electrones entre el medio y la superficie del metal:



Para que no exista este intercambio, es necesario pasivar el metal. Según la teoría, la pasividad esta relacionada con la configuración electrónica del metal, se considera que los metales no susceptibles a la corrosión son los del grupo de transición en la tabla periódica como : Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, etc. que se caracterizan por tener una órbita electrónica incompleta que tiende a completarse con cargas negativas, en este caso tienden a adquirir electrones, no pudiendo suministrarlos a la superficie, y como mencionamos anteriormente, toda corrosión corresponde a un flujo de electrones. En el caso de aceros inoxidable óxido de electrones, adquiere estos del hierro, estableciendose un equilibrio.

Los aceros inoxidable tienen como base la aleación Fe-Cr-C, y se clasifican en tres grupos dentro de los cuales existen diferentes tipos con diferentes propiedades, de acuerdo a los contenidos de aleantes.

De los aceros inoxidable los mas importantes y difundidos son -- los austeníticos de la serie 300, siguiendoles en importancia los ferríticos, martensíticos y austeníticos de la serie 200.

Los aceros inoxidable pueden ser deformados en caliente y en frio modificandose sus características mecánicas y el tamaño de grano. Los aceros inoxidable tienen una tendencia muy grande al crecimiento de -- grano, lo que no es deseable, sobre todo en los aceros ferríticos, porque los fragiliza.

TIPO	DESIGNACION AISI	PRINCIPAL ELEMENTO ALEANTE	ESTRUCTURA CRISTALINA	CARACTERISTICAS PRINCIPALES
AUSTENITICO	SERIE 200	Cr-Ni-Mn	CUBICO CENTRADO	NO MAGNETICO NO TEMPLABLE
	SERIE 300	Cr-Ni	EN LAS CARAS	NO MAGNETICO NO TEMPLABLE
FERRITICO	SERIE 400	Cr	CUBICO CENTRADO EN EL CUERPO	MAGNETICO NO TEMPLABLE
MARTENSITICO	SERIE 400	Cr	TETRAONAL CENTRADO EN EL CUERPO	MAGNETICO TEMPLABLE

TIPO	No.	% EN MEXILLO	% C	% Mn	% Si	% P	% S	% Cr	% Ni	% Mo
AUSTENITICO	301	2	0.08 0.15	2.0 max.	1.0 max.	.045 max.	.03 max.	16.0 18.0	6.0 8.0	--
	302	1.5	"	"	"	"	"	17.0 19.0	8.0 10.0	--
	304	57	0.08 max.	"	"	"	"	18.0 20.0	8.0 11.0	--
	316	5	0.10 max.	"	"	"	"	16.0 18.0	10.0 14.0	<u>2.0</u> 3.0
FERRITICO	430	32	0.12 max.	1.0 max.	"	"	"	14.0 18.0	---	--
MARTENSITICO	420	1	0.25 0.35	1.0 max.	"	"	"	12.0 14.0	---	--

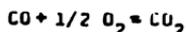
## 1.2.- FABRICACION Y LAMINACION EN CALIENTE DEL ACERO INOXIDABLE.

El primer paso en la metalurgia del acero inoxidable es la fusión del mismo. Los aceros inoxidables son obtenidos en horno de arco, la materia prima es:

- a) Chatarra de acero - fuente del hierro y elementos aleantes si es de acero inoxidable.
- b) Ferrosaleaciones - fuente de elementos aleantes.
- c) Oxígeno - como decarburador.
- d) Ferrosilicio - como reductor.
- e) Caliza - para neutralizar la sílice y como fundente.

El control de la composición química de la materias primas es muy importante, pues con estos datos se calculan las cantidades necesarias para la carga y como resultado final se obtiene un acero de composición adecuada. El desarrollo de las operaciones tanto térmicas como mecánicas merece también una cuidadosa atención, el proceso de fusión es como sigue:

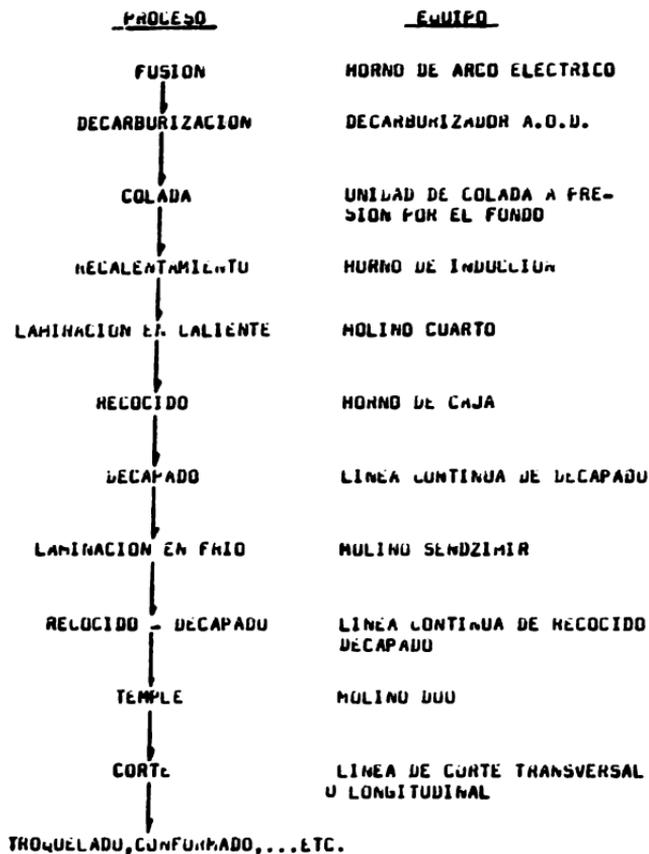
Para evitar daños a los electrodos y facilitar la fusión se carga primero la materia gruesa y arriba la ligera y de menor tamaño. El calor para la fusión es proporcionado por un arco eléctrico formado entre los electrodos y la carga. El metal fundido es transferido para su decarburación a una unidad A-O-D (argon-oxigen-decarburization) en esta unidad se inyecta una mezcla de argón-oxígeno por el fondo del recipiente, el oxígeno sirve como oxidante y el argón produce una vigorosa agitación:



Durante la decarburación elementos valiosos son también oxidados, pasando a la escoria, la recuperación de estos elementos se consigue reduciéndolos con el ferrosilicio, pues el silicio es más electro--negativo.



Las reacciones de oxidación son exotérmicas, por lo que la temperatura se eleva llegando a debilitar el refractario, para disminuir la -- temperatura y evitar mayores daños, se carga chatarra, la caliza para --



neutralizar la sílice y para hacer más fluida la escoria y permitir una mejor separación del cromo se carga también ,lo mismo que los elementos aleantes:



Se desescoria, se toma una muestra del metal y si la composición es correcta se cuela. El proceso de refinación ADD es más eficiente y flexible, en este se alcanzan valores muy bajos de C y S, y se conservan los aleantes (se recupera aprox. 98 % de Cr y 85 % de Mn ).

El metal es trasladado a una unidad de colada por el fondo (fig. 2) la tapa de la unidad cuenta con un tubo que se introduce en el metal -- hasta cerca del fondo de la cuchara. El molde es colocado en la parte superior de la unidad, con el tubo de colada al fondo del molde. Por el fondo de la unidad se inyecta aire, la presión de este sobre el metal obliga a pasar por el molde y subir hasta el molde, el molde cuenta en su parte superior con una celda eléctrica, en el momento en el que el metal toca se completa el circuito, obstruyéndose el tubo de alimentación. -- Esta técnica permite obtener acero más puro, pues se conserva la escoria en la superficie durante la colada. Se obtienen directamente desbastes evitando el paso de conversión de desbaste al laminar lingotes.

El desbaste frío se inspecciona, se eliminan grietas superficiales y de orilla mediante burilado. Las placas preparadas se cargan en hornos para su recalentamiento, este se realiza por inducción eléctrica, lo que resulta en un calentamiento eficaz y más uniforme, así como en una mínima formación de cascarrille, es decir obtenemos una mejor superficie para la reducción en caliente. Los desbastes se meten al horno cuando este -- tiene aproximadamente 850 °C y se deje absorber la temperatura, se eleva lentamente para evitar agrietamientos hasta 1000 °C y después rápidamente hasta la temperatura en que deben empezarse la laminación.

El material es reducido en caliente en dos molinos cuarto, en el -- primero, se realiza una reducción basta, este primer molino cuenta con rodillos verticales con el objeto de mantener la calidad de las orillas . En este laminador se destruye la estructura cristalina gruesa del desbaste, obteniéndose una más fina por efecto de las fuertes presiones de

laminación y la recristalización, el porcentaje de reducción debe controlarse para evitar la formación de grietas.

El laminado final se realiza en el segundo laminador cuarto, antes de la laminación se realiza nuevamente una inspección y eliminación de defectos, la banda obtenida de este laminador es recibida por un enrollador, durante el laminado y enrollado debe cuidarse que no se produzca una tensión excesiva, evitar telescopiado, rayaduras y otro tipo de marcas. Los molinos cuarto cuentan con refrigeración hidráulica a alta presión.

El material se acondiciona para la laminación en frío, mediante un recocido y decapado, para eliminar tensiones y refinar el grano, el recocido se realiza en atmósfera oxidante:

Aceros martensíticos.- se calienta a temperatura de 1000 °C y se enfrían lentamente hasta 600 °C, después de esto se enfrían al aire.

Aceros ferríticos.- se calientan a 900 °C y se procede a enfriar hasta 600 °C en el horno y después al aire como los martensíticos.

Aceros austeníticos.- se calientan a 1000 °C y se enfrían al aire.

El decapado para eliminar la capa de óxido formada se realiza con una mezcla de ácidos nítrico, sulfúrico y clorhídrico. Se utiliza también una solución acuosa salada en combinación con corriente eléctrica para minimizar el ácido de decapado. El lavado con agua a altas temperaturas elimina los restos de ácido. La banda se seca con aire y se corta a la dimensión deseada, se envía a el área de laminación en frío.

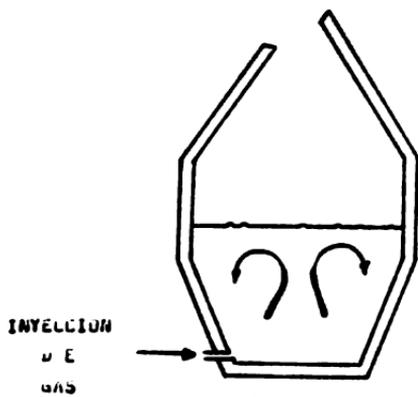


Fig. 1  
DECARBURIZACION ALB

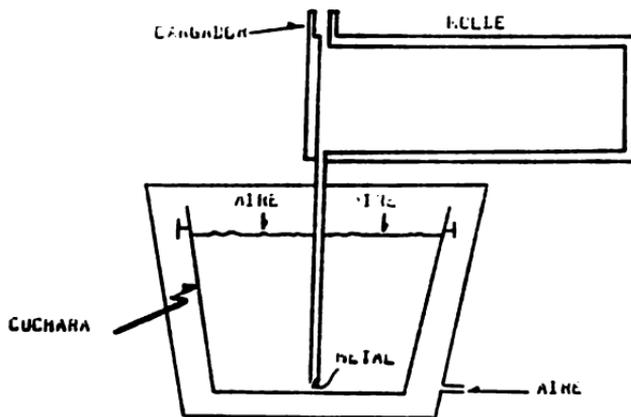


Fig. 2

## 2.-EQUIPO Y CONDICIONES GENERALES DE LAMINACION EN FRIO

### 2.1.- ASPECTOS GENERALES DE LAMINACION EN FRIO.

La laminación en caliente produce bandas con tolerancias de espesor grandes y variables a lo largo, la forma de la banda y su estado superficial dejan mucho que desear y no se pueden conseguir espesores delgados, por la formación de óxido en la superficie y las contracciones del metal durante el enfriamiento, por esto es necesaria una laminación en frío para alcanzar características y espesores adecuados y que cumplan con las exigencias finales, aprovechándose las ventajas de este tipo de laminación como son: no se requiere energía de calentamiento ni hay pérdida de material, las tolerancias en el espesor y el acabado superficial son excelentes, por otra parte no existen ni recristalización por las bajas temperaturas ni recuperación, por la deformación plástica sufrida, estas dos características producen un endurecimiento progresivo del material, siendo necesarios recocidos intermedios para conseguir altas reducciones.

LA banda procedente del recocido se encuentra con: una superficie limpia de óxido, lo que permite un mejor acabado superficial y una mayor vida de los rodillos; se tiene baja dureza, lo que permite reducciones máximas con un mínimo de potencia; la banda puede constar de varias piezas del mismo ancho, espesor y tipo de acero.

La reducción en frío, se consigue por un molino reversible tipo Bendzimir, ayudado por dos tambores enrolladores. La banda es desenrollada y pasa sucesivamente por: una mesa enderezadora y por entre los cilindros de trabajo. Una vez del otro lado del laminador, la banda es enganchada en la mordaza del enrollador, y entonces se aplica una de las fuerzas características de la laminación; la tensión. Después de tensionar la banda se aplica la segunda y más importante: la presión.

Establecidas las fuerzas de laminación se procede a realizar reducciones pasando la banda de un lado a otro del laminador, invirtiendo el giro de los tambores. La reducción de espesor se consigue por una combinación de esfuerzos de compresión (por la presión de los rodillos) y de corte (por fricción entre rodillos y banda). Para disminuir el esfuerzo de laminación, se aplican tensiones longitudinales en la lamina y se utiliza un lubricante.

## 2.2 .- EL EQUIPO DE LAMINACIÓN.

**MOLINO SENDZIMIR.**- El molino sendzimir (fig. 3) consta de 20 cilindros, dentro de una caja compacta y rígida que mantiene en su lugar a los rodillos y recibe la fuerza de separación de los rodillos de trabajo, estos rodillos son de pequeño diámetro, cada uno es soportado por dos rodillos de mayor diámetro (primeros intermedios), estos a su vez son soportados por otros tres (segundos intermedios) y finalmente estos tres por cuatro líneas de apoyo. La potencia impulsora es aplicada por cuatro de los segundos rodillos intermedios (1,2,3,4), esta potencia es transmitida a los rodillos de trabajo por medio de fricción con los primeros intermedios. Las líneas de apoyo están montadas sobre flechas excéntricas, pudiéndose mover ligeramente, acercándose o alejándose para llevar los rodillos de trabajo a la separación deseada. Las flechas superiores, son movidas por un cilindro hidráulico, situado al frente del molino, este cilindro mueve la cremallera rotando la flecha por ajuste del piñón dentado montado a ambos lados del molino, este mecanismo permite bajar el espesor de la lámina sin tener que cambiar de rodillos.

Dependiendo de los rodillos de trabajo, las líneas de apoyo A, D, E, H son separadas o acercadas, para conseguir esto, las líneas A y H son movidas por un motor y las líneas D y E por otro. Las líneas de apoyo tienen una doble excentricidad, lo que permite conseguir la forma deseada ajustando la curvatura por voluntad durante la laminación al mover secciones individuales, compensando al mismo tiempo por desgaste de rodillos.

La laminación en molino sendzimir es insuperable, pues produce tolerancias en espesor estrechas (siempre que el operador trabaje correctamente) haciendo posible también uniformidad en el espesor. Este proceso es el estándar en la industria mundial de aceros inoxidables como el más eficiente y exacto de reducción en frío.

**ENROLLADORES.**- Los enrolladores, son una de las partes más importantes de los laminadores, pues por medio de ellos se imparte tensión a la banda. Los tambores enrolladores son cilindros cuyo diámetro oscila entre 400 y 600 mm, constan de una parte móvil y una parte rígida unida al disco de freno, los tambores son accionados por motores independientes y tienen una hendidura (mordeza) utilizada para el enganche de las puntas de la bobina. Durante el primer pase solamente el tambor delantero trabaja con tensión, pero a partir del segundo los dos lo hacen.

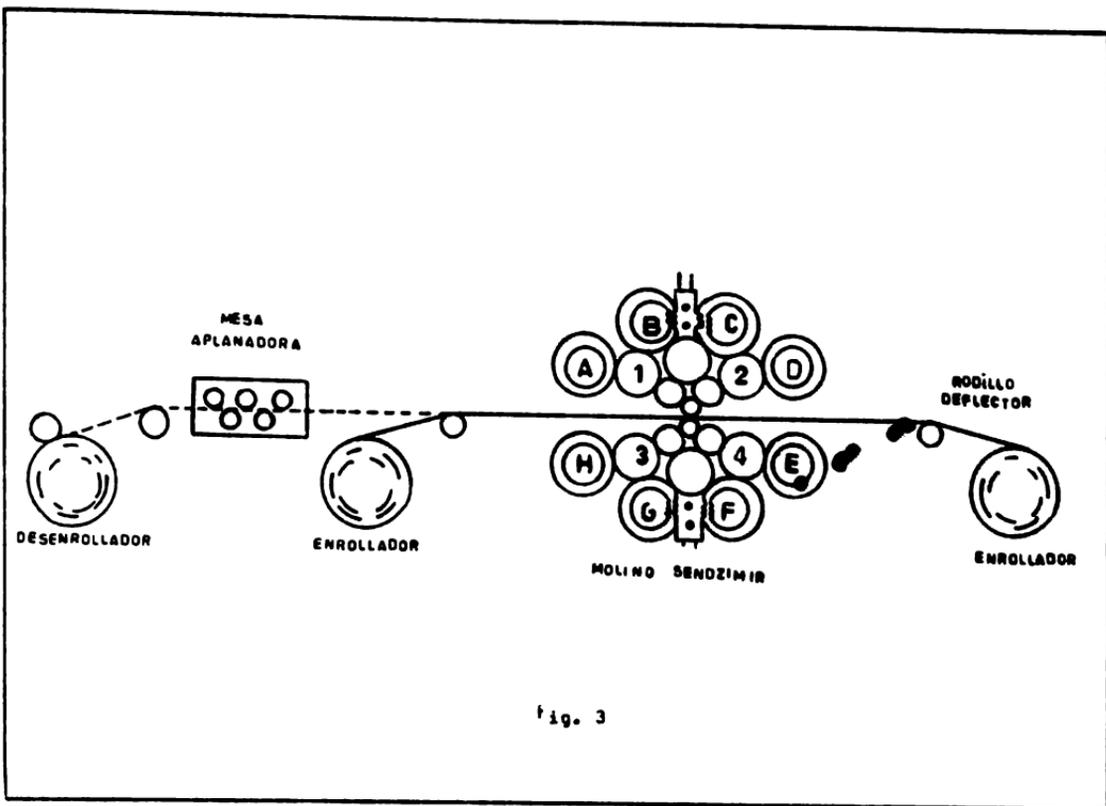


Fig. 3

### 3.- CARACTERISTICAS MECANICAS Y METALURGICAS

#### 3.1.- COMPORTAMIENTO DE BANEA Y EQUIPO DURANTE LA LAMINACION.

La laminación en frío es un proceso ampliamente usado en la industria y su teoría ha sido ampliamente desarrollada.

Al establecerse contacto entre rodillos y banda, se produce un sistema de fuerzas de tracción por las características que se tienen en ese instante y que son: a) los rodillos se mueven a una velocidad de rotación mayor que la velocidad de la banda, creandose una fuerza de fricción b) en el primer punto de contacto los rodillos ejercen una presión  $P$  sobre la banda.

La suma de fuerzas en el punto de primer contacto será:

$$\Sigma f_H = F_H - P_H = 2f \cos \alpha + 2P \sin \alpha$$

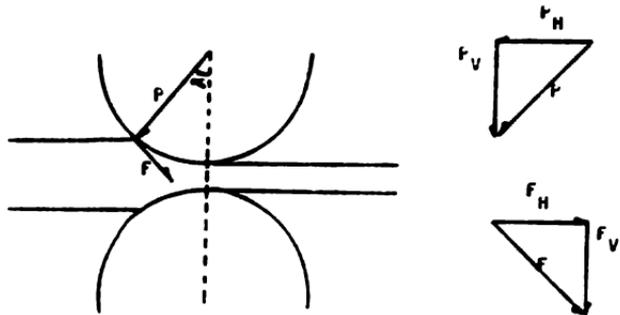


Fig. 4

Si  $f_H$  es positiva, la banda será atraída dentro de los rodillos y de formada.

Si  $f_H$  es negativa, la banda no podrá ser deformada.

$$\text{Si: } F_H = P_H$$

$$2f \cos \alpha = 2P \sin \alpha$$

$$\frac{f}{P} = \tan \alpha$$

La fuerza de fricción es  $F = \mu P$  en donde  $\mu$  es el coeficiente de --

fricción entre rodillos y bandas:

$$\mu = \frac{f}{P} = \tan \alpha \quad \text{donde } \alpha \text{ es el ángulo de entrada}$$

si:  $\mu = 0 \rightarrow \alpha = 0$  no habrá laminación

podemos observar por medio de este estudio que las fuerzas de fricción - actuando sobre la superficie de contacto es esencial para el proceso de laminación, pues en ausencia de esta el ángulo de entrada se reduciría -- también a cero.

La deformación plástica tiene las siguientes características:

a) no hay ensanchamiento lateral; b) el volumen que entra es el mismo que sale ; c) el espesor de salida es menor que el de entrada.

La diferencia de espesores en la banda produce un aumento de longitud a la salida , y, por consecuencia, una diferencia de velocidad, siendo la velocidad de la banda menor que la de los rodillos a la entrada y mayor que la de estos a la salida. Existe pues un punto a lo largo de la superficie de contacto en el cual la velocidad periférica de los rodillos es igual a la velocidad de la banda, a este punto se le conoce como "punto neutro" o "punto de no deslizamiento", a la diferencia de velocidades anterior se le denomina "deslizamiento delantero" a la salida y "deslizamiento trasero" a la entrada. La fuerza de fricción cambia también en el punto neutro, actuando entre la entrada y este para avanzar el material y después de el para oponerse al avance.

La posición del punto neutro no ha podido ser medida directamente , y depende de las siguientes variables: % de reducción, fricción, relación de espesor a radio de rodillos , tensiones. La disminución de fricción , el aumento de reducción, el aumento de tensión trasera y la disminución de tensión delantera lo acercan a la salida.

El sistema de fuerzas que actúa en la deformación en frío, provoca la distorsión de los elementos que la reciben: la banda es deformada elásticamente y plásticamente ; los rodillos y la estructura del molino son deformados elásticamente. Durante la deformación se considera que existe únicamente deformación plástica en un solo sentido, en el plano perpendicular a los rodillos y ancho de la banda, aunque recientemente, un estudio del ensanchamiento lateral establece que existe en aproximadamente 0.02% del ancho de la banda a cada lado de esta, se ha sugerido que este flujo

es esencial para que la banda posea una buena planitud, sin embargo, este valor es tan pequeño que puede ser despreciado sin introducir errores en el estudio teórico del proceso.

Durante la laminación, los esfuerzos normales que actúan sobre los cilindros (rodillos) les producen una distorsión elástica, aumentando su radio de curvatura en el área donde actúan. En condiciones normales de laminación, los rodillos de trabajo aparecen deformados y el arco de contacto posee una curvatura que corresponde a la de los rodillos, siendo mayor el área que cuando se tienen rodillos sin deformar. Los experimentos de Drown parando bruscamente los rodillos, demostraron que el arco de contacto no era circular como se supuso primeramente, y Polansky y Schroeder demostraron midiendo los cambios elásticos de los rodillos de trabajo como ocurren durante la laminación, que el punto de mayor achatamiento no es el centro del arco de contacto, sino que se encuentra más cerca al plano de salida. Actualmente se sabe que el arco de contacto consta de tres zonas: zona de compresión elástica, zona plástica y zona de recuperación elástica, sin embargo, a pesar del uso de cámaras de cine de alta velocidad acopladas al molino y enfocadas sobre la orilla de la banda mientras es reducida de espesor entre los rodillos, no ha podido ser establecido visualmente el final de estas.

La longitud del arco de contacto se ve aumentada por: el aumento de fricción, aumento de reducción, fuerza de separación y presión de rodillos. El uso de rodillos de pequeño diámetro, en este tipo de aceros trae como ventaja la disminución del arco de contacto y en consecuencia la fuerza de separación y la presión que son de la misma magnitud. La resistencia a la flexión y aplastamiento de los rodillos depende del módulo de elasticidad del material de que están hechos, por lo que el uso de rodillos con altos módulos trae como consecuencia el mismo efecto anterior.

### 3.2.- FRICCIÓN Y LUBRIFICACIÓN.

Anteriormente vimos que para la transmisión de energía de deformación de los rodillos es necesaria la fuerza de fricción en la interfase rodillo-banda, ya que si las fuerzas de fricción son pequeñas o no existen, la velocidad de los rodillos es mayor que la velocidad de la banda a la salida y los rodillos patinan.

Hasta la fecha los modelos matemáticos de enrollados no son capa-

ces de permitir el cálculo exacto del coeficiente de fricción, esto trae como consecuencia falla en la evaluación de presión, por motor y potencia de laminado, ya que se encuentran directamente relacionados, sin embargo, las expresiones desarrolladas nos permiten cálculos cercanos a la realidad, la siguiente tiene la ventaja de no necesitar conocer las tensiones:

$$\mu = \frac{T}{PR(1-2\sqrt{\frac{10cT}{r}})}$$

T = par motor  
 P = presión de laminación  
 R = radio del rodillo  
 j = deslizamiento  
 r = reducción dada

El coeficiente de fricción depende de: las características del lubricante; reducción; diámetro de rodillos de trabajo; velocidad del molino; rugosidad superficial de banda y rodillo; tensión de fluencia de la banda antes de laminarse.

a) mayores reducciones aumentan el coeficiente de fricción, pues se disminuye el grosor de la capa de lubricante.

b) al aumentar el diámetro de los rodillos disminuye el coeficiente debido posiblemente al mayor entrapamiento de lubricante por la mayor superficie.

c) el aumento de velocidad disminuye el coeficiente, debido posiblemente al efecto hidrodinámico.

d) la rugosidad de la banda permite mayor entrapamiento de lubricante, por la mayor superficie.

e) la rugosidad de rodillos permite entrapamiento, pero no se aprovecha.

f) la tensión disminuye el coeficiente.

La lubricación tiene como propósito: a) la disminución de la fuerza de laminación; b) producir una forma aceptable de la banda; c) reducción de temperaturas entre rodillos y banda. El lubricante debe tener además otras propiedades físicas y químicas como son: fácil aplicación, fácil eliminación, no ser tóxico, impedir cultivo de bacterias, ser económico.

La lubricidad del lubricante es evaluada en términos de efectividad de coeficiente de fricción proporcionado entre los rodillos de trabajo. El coeficiente de fricción no debe ser ni muy alto ni muy bajo, pues daña la forma de la banda, por lo tanto la lubricidad ideal (y con ello el coeficiente de fricción) es la necesaria para producir una banda ---

plena. El coeficiente de fricción debe ser disminuido, para disminuir la presión de laminación pues si aumenta este, puede distorsionarse grandemente la herramienta de trabajo y perderse el control de dimensiones, produciéndose un acabado superficial indeseable, el lubricante tiene como función disminuir el coeficiente.

Los lubricantes son aplicados en forma de rocío sobre los rodillos de trabajo, formando entre estos y la banda una capa de  $\mu$ , esta capa se conserva en la banda después de laminada y se elimina durante el recocido. Puesto que no deben usarse manchas en la banda se usa como lubricante aceite mineral.

La aplicación no uniforme del lubricante puede afectar la calidad superficial de la banda y producir defectos como vibración y jaspado - estos consisten en zonas oscuras contrastando con zonas brillantes, el primero en forma de zonas irregulares y el segundo en forma de franjas. La diferente brillantez se debe a diferente pulimentación, esta pulimentación es producida por la diferencia de velocidades de banda y rodillos, lo que produce resquebrajamiento entre estos, observaciones al microscopio muestran que las zonas opacas son más rugosas.

Las franjas que se encuentran en forma transversal en la banda se encuentran alternadas, una lustrosa y otra opaca, siendo inversas en la superficie inferior, los defectos pueden ser provocados por bandas corrugadas ligeramente antes de la laminación, esto provoca diferentes porcentajes de lubricación en la superficie.

La influencia del lubricante es demostrada en la producción de banda ondulada, ya sea en el centro o en las orillas, por algún cambio en las variables del proceso como son: disminución de la reducción, o el aumento de tensiones, para compensar el cambio es necesario modificar otro en este caso el coeficiente de fricción, directamente relacionado con la lubricación.

### 3.3.- LA PRESIÓN DE LAMINACIÓN

La presión de laminación en la apertura de rodillos está representada por la llamada colina de fricción. El tema ha sido ampliamente investigado con el fin de encontrar alguna expresión matemática que pueda ser aplicada con el mínimo de suposiciones ideales, es decir, lo más cercana a la realidad. La presión de laminación es afectada por los diferentes-

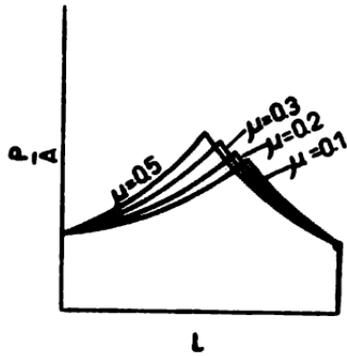


Fig. 5

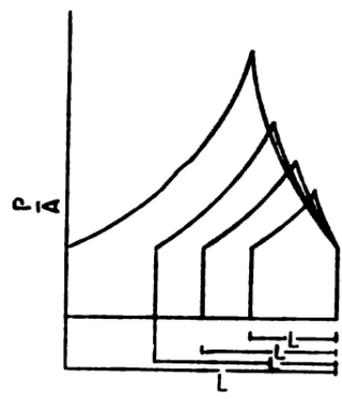


Fig. 6

parámetros que toman parte en el proceso, el aumento de fricción y el aumento de la longitud del arco de contacto aumentan la cima de presión y mueven el plano neutro hacia la entrada (Fig. 5 y Fig. 6).

Un elemento diferencial de la pieza que esta siendo deformada y -- las fuerzas que actuan sobre el, son la base para el desarrollo de modelos matemáticos. En estado de equilibrio la suma de fuerzas que actuan --

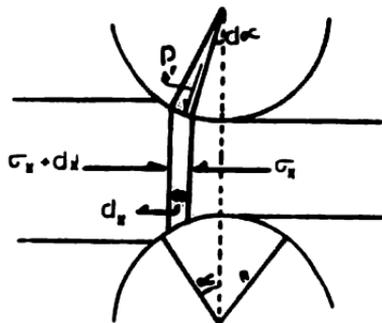


Fig. 7

sobre el elemento es cero, partiendo de esto, Orowan encontro la ecuación fundamental (ecuación de Von Karman) para el desarrollo de los modelos matemáticos relacionados:

$$\frac{d(\sigma_x h)}{d\alpha} = 2Rp r (\operatorname{sen}\alpha + \operatorname{cos}\alpha)$$

La solución de esta ecuación diferencial, hace uso de diversas consideraciones ideales, produciendo conclusiones alejadas de la realidad, además, su desarrollo es muy tedioso y complejo, por lo que en la práctica se hace uso de modelos más simples con resultados parecidos a los de modelos más complejos y exactos.

a) METODO DE EKELUND.- Ekelund propuso una ecuación que da resultados muy cercanos a los calculados con formulas más exactas (5 % de diferencia con los de Bland y Ford). Esta ecuación non da valores para laminación sin tensiones;

$$P = \sigma \sqrt{\frac{D^3 d}{2}} \left( 1 + \frac{1.6 \mu \sqrt{\frac{D^3 d}{2}} - 1.2 d}{t_1 + t_2} \right)$$

$\sigma$  = tensión de fluencia media en compresión

$D$  = diámetro de rodillos deformado

$d$  = tasa específica de reducción

$\mu$  = coeficiente de fricción

$t_1, t_2$  = espesor inicial y final de la banda

Para corregir la ecuación para tensiones se multiplica por el factor  $(1 - \sigma_A / \sigma)$  donde  $\sigma_A$  representa el promedio de tensiones longitudinales.

b) METODO DE COOK Y PARKER.- Para encontrar la presión por este método se requieren un número de pruebas de laminación para obtener para obtener los datos de la gráfica de primer paso. El procedimiento es el siguiente: en el molino de laminación se realizan reducciones a la banda con un solo pase, aumentando la importancia de la reducción, así obtenemos reducciones de 10 %, 20 %, ... etc. Para obtener la potencia en el primer paso, se encuentra el valor de  $t_b/D$  y en la intersección con el % de reducción se encuentra  $t_b^2 / P_{ts}$ , este valor es igualado al valor absoluto teniendo una ecuación del tipo:

$$\frac{*t_b^2}{*P_{ts}} = \frac{t_b^2}{P_{ts}}$$

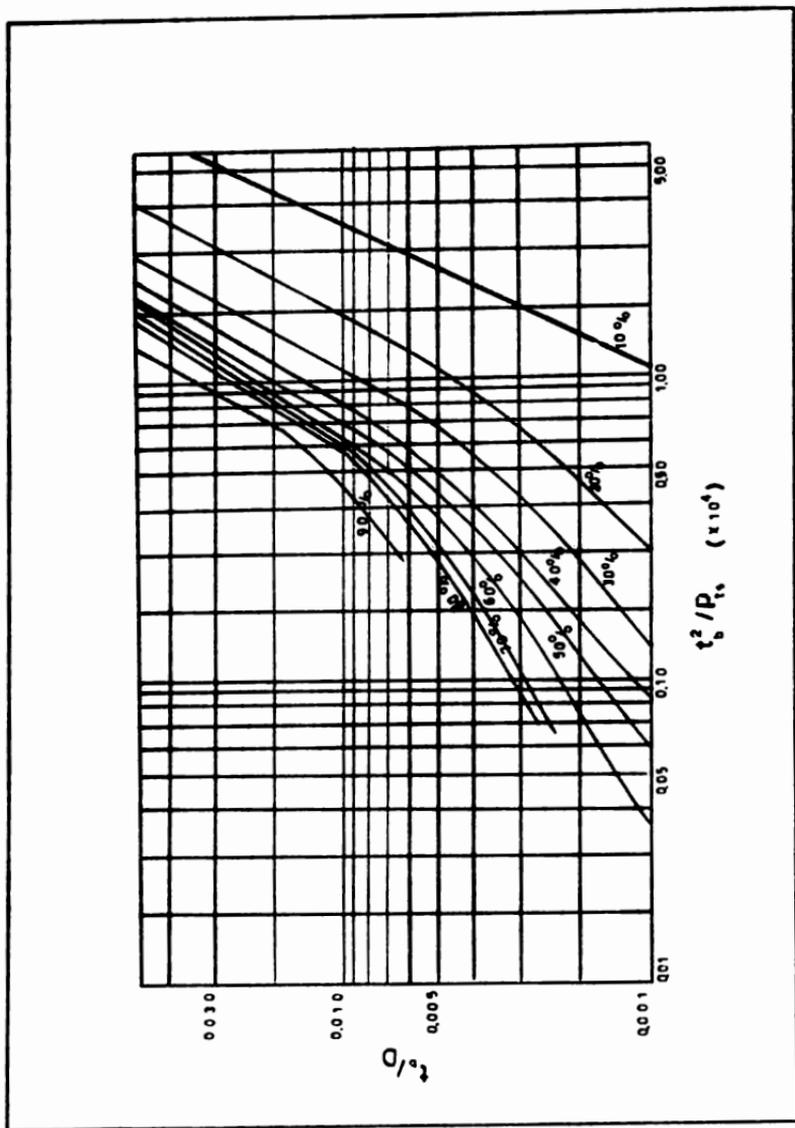
El primer miembro nos da la ecuación requerida para obtener la reducción a un espesor  $*t_b^2$  que es un valor conocido, el valor del miembro de la derecha es el valor leído en la gráfica, despejando:

$$*P_{ts} = \frac{*t_b^2}{t_b^2 / P_{ts}}$$

Este procedimiento se repite para el segundo paso, tomando en cuenta el espesor que se tiene (valor obtenido en el primer paso). La energía total será la obtenida al sumarle de los dos primeros pasos, el procedimiento se continúa hasta llegar a la reducción deseada.

### 3.4.- EL FAN MOTOR

El fan motor tiene gran importancia desde el punto de vista diseño y



operación del molino, indicándonos si una operación de laminación es o no posible con un equipo dado o bien nos dará bases para la determinación de factores relacionados con el diseño de equipo.

La consideración de las fuerzas que actúan sobre la banda cuando se encuentre entre los rodillos, así como las fuerzas de tensión desarrolladas en la banda nos conducen a la ecuación básica del par motor:

$$T = RR' \left( \int_0^{\theta_0} R \sigma \, d\theta + \frac{t_1 \sigma_1 - t_0 \sigma_0}{2R'} \right)$$

La solución de esta ecuación lo mismo que para la de presión ha sido desarrollada por diferentes investigadores, y el igual que aquella cada uno hace un cierto número de suposiciones ideales para simplificar el problema, obteniéndose a pesar de estas desarrollos demasiado extensos y complejos, siendo necesario el uso de métodos más sencillos y prácticos.

Bland y Ford desarrollaron un método para calcular el par motor en una forma rápida y fácil, haciendo ciertas aproximaciones a la teoría general de Orowan, la ecuación propuesta por ellos para la laminación con tensiones es:

$$T = RK \bar{\sigma} (t_1 - t_0) \left( 1 - \frac{t_1}{K} \right) f_5 (a, r, b)$$

$t_1$  = espesor de la banda a la salida

$t_0$  = espesor de la banda a la entrada

$\bar{\sigma}$  = valor medio del esfuerzo de cedencia

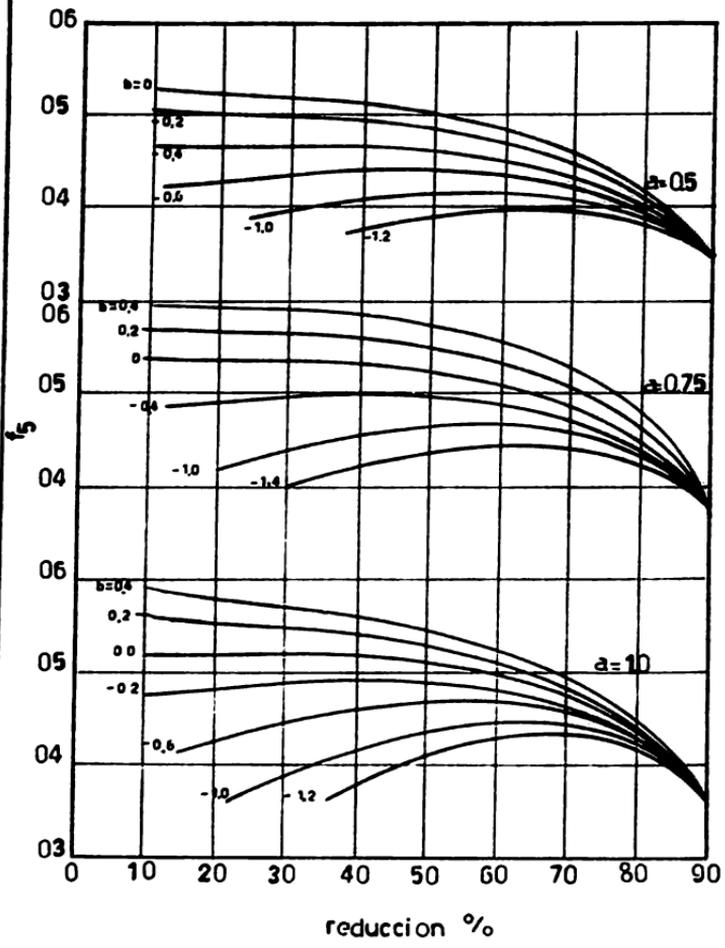
$\sigma_1$  = tensión de entrada

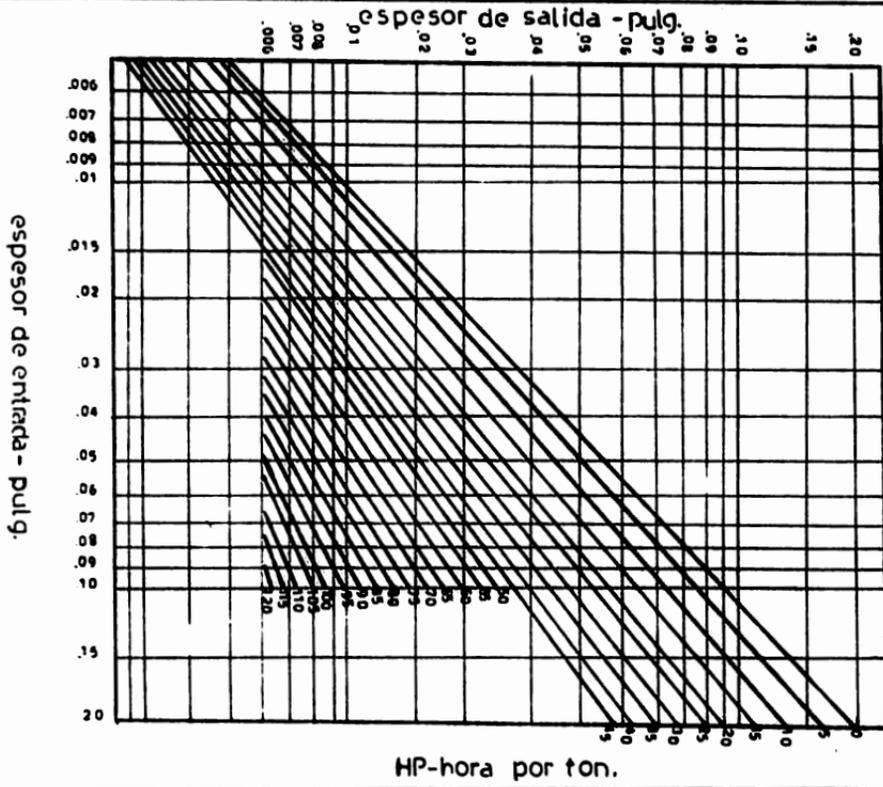
$f_5$  = número adimensional (obtenido de gráficas)

### 3.5.- LA POTENCIA DE LAMINACION

El cálculo de la energía consumida en un proceso de laminación es rápido si se hace uso de gráficas obtenidas en forma experimental para las condiciones de trabajo dadas (ver curvas de potencia). La potencia es determinada en las gráficas en el punto de intersección del espesor de entrada y el de salida. Tanto el uso de estas curvas como el de las anteriores, solo sirven para condiciones similares a las existentes durante la elaboración de las curvas (lubricación, tamaño de rodillos, reducciones por pase).

Puesto que en el laminado en frío las tensiones utilizadas en los





tambores enrolladores son altas, es necesario tomar en cuenta la potencia de estos para el calculo total de energia de deformación:

$$HP_{enz} = \frac{\text{tension} \times \text{velocidad}}{33000}$$

en un proceso ideal:

$$HP_1 = HP_{pase} + HP_{enz.} + HP_{desenz.}$$

de donde:

$$HP_{pase} = HP_1 - HP_{enz.} - HP_{desenz.}$$

considerando las perdidas de energia la potencia total usada durante la deformación será:

$$HP_{total} = HP_1 + HP_{(cojinetes)} + HP_{(perdida en transmisión)}$$

### 3.6.- REDUCCION DE ESPESOR Y ESPESOR MINIMO DE LAMINACION.

El objetivo de la laminación en frio es la reducción de espesor por deformación plástica. La reducción representa un factor muy importante en las propiedades mecánicas obtenidas posteriormente, pues dependiendo de la reducción dada, ocurrirá la recristalización y el tamaño de grano adecuado después del recocido. El porcentaje de reducción se obtiene por la expresión:

$$r = \frac{e_1 - e_2}{e_1} \times 100$$

Para conseguir la reducción adecuada se toman en cuenta los siguientes parametros: esfuerzo necesario para la deformación; par motor diametro de rodillos; tensiones; fricción; tipo de acero; endurecimiento por deformación. El porcentaje de reducción debe encontrarse dentro de ciertos límites: para deformar plásticamente; para evitar la rotura de la cinta y para obtener un tamaño de grano adecuado en la recristalización, los límites de reducción para aceros inoxidables son:

35 - 80 % para austeníticos

40 - 85 % para ferríticos

No solo los límites de reducción en general son importantes, es necesario tener cuidado en las reducciones por pase, siendo estas más fuertes en los primeros pases que en los últimos, puesto que el material se encuentra menos endurecido por deformación. Otros factores que determinan la reducción en cada pase son: la presión disponible; el porcen-

je de reducción ,de manera que se produzca enganche y deformación.

Cada pase nos lleve cada vez a una mayor reducción,pero hay ocasiones en que al tratar de reducir más no es posible y , al intentarlo, reduciendo más la apertura de rodillos y aumentando la presión ,solo nos conduce a una mayor deformación de los rodillos ,se dice en estas condiciones que se ha alcanzado el espesor mínimo,es decir,la fuerza de separación es igual a la presión promedio de laminación.Si se desea reducir el espesor aun más es aconsejable lo siguiente: reducción de fricción, reducción de diametro de rodillos,aumento de la rigidez del material aumento de tensión delantera y trasera. Si se trabaja en condiciones ideales en las variables anteriores será necesario un ablandamiento del material mediante un recocido.

Para el calculo de espesor mínimo se han desarrollado diversas expresiones,la más conocida es:

$$t_{\text{mrt}} = \frac{3.62 \mu D (\sigma_0 - \sigma_1)}{E}$$

D = diámetro de rodillos  
 $\sigma_0$  = tensión de fluencia media en compresión  
 $\sigma_1$  = Tensión promedio en la banda  
E = módulo de elasticidad

### 3.7.- TENSION Y CONTROL DE PLANITUD.

Durante la laminación se aplica tensión longitudinal a la banda por medio de los tambores de enrollado,este tipo de tensiones es muy importante y tiene como objetivos principales:disminución de la fuerza de separación de los rodillos ;mantener una buena planitud.La tensión - tambien debe mantenerse dentro de ciertos límites,pues si es demasiado alta pueden petinar los rodillos o producirse agrietamientos a la banda .

La tensión es aplicada por los tambores para mantener y corregir - la planitud ,que es uno de los requisitos indispensables de la laminación,la falta de planitud puede producir defectos tan visibles como lo son las ondulaciones.La planitud también es afectada por:la forme del rodillo,el ancho de la banda,la fuerza de laminación y la corona del - rodillo.

Además de la tensión para la corrección de planitud ,se utiliza -

también el desplazamiento de los primeros intermedios, así como las cremalleras de los excéntricos de las líneas de apoyo.

### 3.8 DEFORMACION DE EQUIPO Y CONTROL DE ESPESOR.

Con la aplicación de la carga de laminación, no solo la lamina es deformada, los rodillos de trabajo sufren también una deformación en la superficie de contacto. La distribución de la carga a través de la banda -- produce también una flexión en el cuello de los rodillos, la magnitud de la flexión depende de: el ancho del material laminado; el porcentaje de reducción en el peso; el diametro de los rodillos; las características físicas del material laminado; las características de los rodillos.

La flexión de los rodillos se refleja en un mayor espesor de la banda en el centro que en las orillas, para compensar las flexiones se rectifican los rodillos con un perfil convexo (mayor diametro en el centro) , de tal manera que el efecto combinado de flexión y achatamiento longitudinal de los rodillos produzcan una banda de superficie plana y paralela.

Para el calculo de "corona" (convexidad de los rodillos) es necesario conocer la fuerza de separación (presión). Con esto se calcula una "corona" ideal, útil para una carga especificada y un ancho solamente, el desgaste mas severo en el centro de los rodillos, reduce la "corona", en esta situación es posible reducir la "corona", en esta situación es posible regular una práctica de laminado en la que primero se laminan bandas anchas y conforme se reduce la corona, se reduce también el ancho de la banda.

Bajo fuertes cargas, la estructura del molino también se distorsiona (cedencia), junto con la deformación de los rodillos a pesar de su rigidez, esta distorsión provoca una separación de los rodillos adicional a la recibida por la deformación de los rodillos, conociendo esto es posible determinar la carga necesaria para la laminación. Para mantener un espesor constante es necesario mantener en equilibrio las variables del proceso, cuando una variable se modifica es necesario modificar otra u otras para alcanzar nuevamente dicho equilibrio, por ejemplo, si el espesor de la banda entrante aumenta, es necesario modificar la carga pues de otra manera, la banda laminada tendría también esa variación de espesor.

### 3.9.- ASPECTOS TERMICOS DEL PROCESO Y REFRIGERACION.

La potencia eléctrica alimentada al molino, es convertida principalmente a energía térmica, y puede ser tan alta que si no se disipa, puede

producir daños tanto a los rodillos como a la banda.

La existencia de esfuerzos de corte en la superficie de los rodillos por la fricción y, por el deslizamiento relativo entre rodillos y banda, producen disipación de energía friccional en cada arco de contacto, esta energía que depende de la reducción dada a la banda y de la fricción en el área de contacto, es convertida a calor y repartida entre rodillos y banda. Puesto que los aceros inoxidable tienen baja conductividad, es necesario usar para su reducción rodillos con menor conductividad térmica, para producir mayor flujo de calor hacia la banda, evitando lo contrario por la mayor velocidad periférica de los rodillos que la velocidad de la banda, esto se consigue con rodillos de carburo de tungsteno.

Efectos de fricción similares se tienen en los cojinetes y en los puntos de apoyo de los rodillos, aumentando estos al aumentar la velocidad de los rodillos, se tiene un mayor aumento de fricción en los contactos entre los rodillos de apoyo y los de trabajo.

El efecto de disipación de calor se consigue principalmente por medio del aceite mineral utilizado como lubricante, y en menor grado por el contacto con los rodillos intermedios, el primero depende además de la velocidad del molino de la efectividad de enfriamiento de los rodillos de trabajo, y el segundo, del área de contacto y de la diferencia de temperaturas entre los rodillos de trabajo y los de apoyo, por lo que -- respecto a el área de contacto, hay que recordar que aumenta al aumentar la circunferencia, además, en este caso se tienen dos áreas de contacto (dos rodillos intermedios).

El bajo poder refrigerante del aceite mineral, hace uso de grandes caudales para producir el efecto refrigerante deseado, no obstante el mayor poder de lubricación permite realizar reducciones más fuertes.

#### 4.- RELUCIDO.

El acero inoxidable laminado en frío es recocido para restaurar la ductilidad perdida y producir mejores propiedades mecánicas, otro de los objetivos del recocido es la solución de los carburos de cromo, con lo que se tiene una mayor resistencia a la corrosión.

A la banda se le da un recocido continuo, durante este, un solo espesor o espesores semejantes, así como anchos iguales o semejantes, son tratados en corto tiempo. El ciclo térmico este sujeto a la distribución de temperaturas dentro del horno, dimensiones y velocidad a que viaja la banda.

Debido a la mayor facilidad de transferencia de calor, se utiliza un tiempo de recocido más corto que si se recociere en rollo, además se tiene una distribución de calor más uniforme, lo mismo que el enfriamiento, esto último evita la formación de carburos de cromo en los aceros austeníticos, y desarrolla altos niveles de resistencia en los aceros ferríticos. La recristalización controlada, hace obtener una estructura de grano fino deseable.

La línea de recocido-decapado continua consta principalmente de: horno, baños de decapado, unidad de lavado y secado y fosas de almacenamiento. A la entrada de la línea existe un doble carrete desenrollador, aquí la banda es escuadrada para soldarla a la banda en proceso, hecho esto, la banda pasa a la fosa de almacenamiento, en esta fosa, la banda se almacena para ser proporcionada al horno mientras se solda la siguiente, evitando la interrupción del proceso.

La banda pasa primero por una zona de calentadores de gas y después a una zona calentada eléctricamente. El calentamiento debe ser rápido y la temperatura controlada, en general las temperaturas de recocido para los diferentes aceros son: austenítico - 1100 °C ; martensítico 1000 °C y los ferríticos a 900 °C.

El calentamiento debe ser lento hasta aproximadamente 800 °C, por la baja conductividad calorífica de estos aceros y después de esto debe elevarse rápidamente para evitar el crecimiento de grano, el enfriamiento en los aceros austeníticos debe ser rápido para evitar la precipitación de carburos de cromo.

El decapado del acero inoxidable, consiste en someter la banda a ácidos fuertes para disolver la capa de óxido de la superficie, en la mayo

ria de los casos es conveniente utilizar dos baños, las escamas de óxido, se eliminan con un cepillo al pasar del primer baño al segundo.

Para los aceros austeníticos, el primer baño consiste de: ac. sulfúrico - 10% en volumen ; cloruro de sodio - 30 gr. por litro ; la solución de decapado final es:

ácido nítrico ----- 8% - 20% en volumen

ácido fluorhídrico-- 1% - 4% en volumen

temperatura ----- 60 °C

Para los aceros ferríticos y martensíticos, el primer baño consiste: ac. clorhídrico- 10% en volumen ; ac. sulfúrico- 10% en volumen. La solución de decapado final es:

ácido nítrico -----10% en volumen

ácido fluorhídrico -- 1% en volumen

temperatura ----- 50 °C

Si durante el proceso no se eliminan completamente los óxidos, se realiza un nuevo proceso de decapado. Los restos de ácido de decapado, son lavados con agua. La bande es secada con aire.

## 5.- TEMPLE SUPERFICIAL DEL ACERO INOXIDABLE.

### 5.1.- ASPECTOS GENERALES.

La banda proveniente del recocido tiene planitud insuficiente y carece de tensión, por lo que es laminada superficialmente en un molino templador de tipo dño o cuarto. El objetivo de esta laminación es:

- a) eliminación del límite elástico aparente, evitando la aparición posterior de bandas de líderes durante las operaciones de embutido.
- b) impartir el terminado o lustre superficial por alizamiento de microespesores y el acabado superficial de los rodillos de trabajo.
- c) mejorar la planitud.

El molino templador trabaja en seco, por lo que se tienen altos coeficientes de fricción en el área de contacto y altas deformaciones de rodillos, esto implica mayores coronas de rodillos que para una laminación húmeda y limita la reducción dada a la pieza. Los rangos de reducción expresados en % de alargamiento son de 0.5 % - 0.4 %, siendo los mayores para los materiales de mayor espesor.

La laminación en seco tiene el inconveniente de que si el polvo acumulado llega a caer a la banda puede ser laminado con ella, por lo que hay que tener cuidado en este aspecto.

### 5.2.- LONGITUD DEL ARCO DE CONTACTO.

En contraste con los numerosos modelos matemáticos desarrollados para la reducción de espesor en frío, para el molino templador se desarrolla prácticamente un solo modelo, comprobado experimentalmente. La operación de temple se caracteriza por: a) el arco de contacto en la inter fase de cada rodillo es mayor por su naturaleza plana (mayor deformación de rodillos); b) coeficiente de fricción mayor que la laminación en frío convencional; c) el punto neutro se encuentra muy cercano al centro del arco de contacto; d) la eficiencia del proceso es apreciablemente reducida. La expresión para la longitud del arco de contacto es:

$$L = \frac{1}{2} \left[ \frac{D_r \mu}{2} + \sqrt{2D_r t + \left( \frac{D_r r}{2} \right)^2} \right]$$

$D$  = diámetro de rodillos

$t$  = espesor de banda entrante

$r$  = reducción

$\mu$  = coeficiente de fricción

### 5.3.- CALCULO DE PRESTUN.

Se cree que la distribución de presión a lo largo del arco de con-

techo exhibe una colina de fricción típica ,la presión de laminación puede ser representada por la ecuación;

$$P_m = 1.155 (\sigma_t \cdot \log_{10} 1000 \dot{\epsilon}) - \sigma_A$$

donde:

$P_m$  = presión de laminación mínima requerida para deformar la banda

$\dot{\epsilon}$  = factor de velocidad de deformación

$\sigma_A$  = tensión promedio de la banda

$\sigma_t$  = tensión de fluencia

$\dot{\epsilon} = \frac{2V}{D\Delta}$  (V= velocidad de laminación)

En el molino templador el coeficiente de fricción es alto, se acepta el valor de 0.3 ,aunque puede sufrir cambios al modificarse las condiciones superficiales y la velocidad de laminado.

#### 5.4.- EL PAR MOTOR EN EL MOLINO TEMPLADOR.

En el caso de esta operación con ligeras reducciones y altos coeficientes de fricción, el par motor es más alto que para otros molinos, la expresión para par motor específico es:

$$T = \frac{Dtr (\sigma_c - \sigma_A)}{4} \left(1 + \frac{\mu L}{t}\right)$$

D = diametro de rodillos

t = espesor inicial

r = reducción

$\sigma_c$  = tensión de fluencia en compresión

$\sigma_A$  = tensión promedio en la banda

$\mu$  = coeficiente de fricción

L = longitud del arco de contacto

Para el desarrollo de esta expresión se consideró el arco de contacto recto y el coeficiente de fricción idéntico a cada lado del punto neutro.

## 6.- DEFECTOS SUPERFICIALES Y DE FORMA.

Los defectos encontrados en la banda laminada los podemos clasificar en: 1) DEFECTOS DE FORMA y 2) DEFECTOS DE SUPERFICIE.

1) DEFECTOS DE FORMA.- Son debidos a tensiones residuales generadas y a diferencia de alargamientos durante el proceso. El hecho de que la banda salga de los rodillos a diferente velocidad a lo ancho, provoca diferencia de longitud, y así, una parte se encuentre en tensión y la otra en compresión, la desigual deformación puede deberse a diferentes causas: a) perfil irregular de la banda en caliente; b) corona de rodillos no uniforme; c) desigual lubricación a lo ancho de la banda.

Los principales defectos son:

- 1.- Enroscamiento de la banda.- Producido por un mal centrado de la banda o desigual lubricación en los rodillos superior e inferior.
- 2.- Curvatura transversal.- Puede deberse a una diferencia de corona en los rodillos de trabajo.
- 3.- Ondulación en el centro.- Este defecto es el más encontrado en la laminación en frío, resulta generalmente de: a) un sobre laminado en el centro, por un exceso de corona; b) un aumento de espesor en la banda entrante; c) disminución de la fuerza de laminación; d) cambio en las condiciones de lubricación.
- 4.- Ondulación en orillas.- Debido a una inadecuada corona de rodillos, provocando un sobre laminado en las orillas en forma inversa al defecto anterior, otras causas pueden ser: defecto en la banda entrante o incorrecto enfriamiento.

Las correcciones pueden hacerse por: a) cambio de tensiones en la banda; b) lubricación variable; c) calentamiento localizado; d) molino templador.

2) DEFECTOS DE SUPERFICIE.- Los defectos más encontrados son:

- 1.- Rayas o marcas.- Producidas por fricción con diferentes partes del equipo o por rebabas e incrustaciones.
- 2.- Incrustaciones.- Material extraño que cae en la banda y es incrustado.
- 3.- Manchas.- Por residuos de soluciones de lubricante, decapado o agua.
- 4.- Embutidos.- Por partículas presionadas sobre la banda.
- 5.- Rugosidades.- Producidas por excesiva temperatura de recocido o por deformación de grano grueso.

6.- Orillas con fisuras.- Por exceso de tensión y exceso de deformación en orillas.

7.- Picaduras.- Atribuidas a defectos superficiales de los rodillos, por partículas soldadas en los rodillos.

8.- Marcas de rodillos.- Elevaciones o depresiones en el rodillo.

9.- Líneas de Luders o Hartman.- Se presenta en forma de rugosidades, se debe a la existencia de un límite elástico aparente.

10.- Vibrado.- Por lubricación no uniforme.

## 7.- PRODUCTOS COMPLEMENTARIOS.

A) CORTÉ EN HOJAS.-La obtención de hojas se realiza cortando la bobina con cizallas a las dimensiones requeridas. La línea de corte transversal tiene como finalidades:

- 1.- despunte y desorille.
- 2.- corte de la banda a dimensiones deseadas.
- 3.- inspección del material.
- 4.- Nivelado de hojas.

Se corta la banda en la forma siguiente: La bobina es desenrollada y el extremo es arrastrado por unos rodillos que además tienen la finalidad de enderezarla, se desorilla para permitir un escuadre correcto y suprimir las grietas de los bordes. La banda pasa por una fosa que asegura un movimiento continuo, evitando la marcha a golpes y por lo tanto, un deslizamiento en la aplanadora. Finalmente la banda es cortada por una cizalla que se desplace a la misma velocidad. Las hojas son apiladas automáticamente, cuando el peso es grande, son apiladas a mano.

Si la plenitud no ha sido suficiente, las hojas son aplanadas por tracción, cuando esto es necesario, las hojas se cortan a una mayor longitud, para eliminar las marcas de la mordaza del banco de tracción.

El banco de tracción consta de dos cabezas con mordazas de cierre automático, una es fija y la otra móvil, esta última produce la tracción necesaria.

B) CORTE LONGITUDINAL.- La línea de corte longitudinal tiene tres finalidades:

- 1.- Despunte y desorille de rollos, obtención de peso máximo.
- 2.- Corte de bobinas al ancho deseado.
- 3.- Inspección del material.

El corte longitudinal representa mayores problemas que el transversal, el equipo es básicamente el mismo hasta las cuchillas, estas se localizan en dos árboles montados sobre rodamientos y colocados en el mismo plano vertical, las cuchillas están separadas por anillos circulares.

El extremo de la bobina es cortado por las cuchillas y enganchado en un enrollador, este proporciona tensión a la vez que arrastra la banda para enrollarla, para evitar que las bandas se encimen, se tienen separa-

dores antes del enrollado. El corte longitudinal y el desorille son hechos al mismo tiempo.

El material cortado a las dimensiones requeridas es enviado al -- proceso de conformado, embutido, troquelado, ... etc. para la obtención de la forma final.

## CONCLUSIONES:

La metalurgia del acero inoxidable requiere de un cuidado especial, tanto en la fabricación del acero como en su manejo, el equipo debe encontrarse también en óptimas condiciones, todo esto para obtener un material con características mecánicas adecuadas tomando en cuenta que -- los defectos producidos al material son difíciles de eliminar en procesos siguientes.

Por lo que respecta a el equipo y las condiciones de trabajo, hay que recordar que varían para cada planta, es necesario en consecuencia, realizar pruebas y establecer prácticas para cada caso específico de trabajo y modificarles aún sobre la marcha al romperse el equilibrio de trabajo por el cambio de alguna de las variables del proceso.

Las pruebas realizadas servirán para obtener gráficas y datos para las expresiones matemáticas (en este trabajo damos algunos ejemplos) específicos para cada caso.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- COLD ROLLING OF STEEL  
William L. Roberts  
Merced Dekker Inc. - New York - 1978
- 2.- THE ROLLING OF STAINLESS STEEL  
Washington Steel Corporations - Washington - 1978
- 3.- TEORIA Y PRACTICA DE LAMINACION  
Dr Miguel Verduzco  
Le selle Steel Co. - Illinois -
- 4.- ACEROS INOXIDABLES  
G. Istrati  
Ed. ALBINA - Buenos Aires - 1964
- 5.- ACEROS INOXIDABLES, ACEROS REFRACTARIOS  
Columbier & Hochmann  
Ed. URNO -
- 6.- HANDBOOK OF STAINLESS STEEL  
Donald Peckner & I. M. Bernstein
- 7.- STAINLESS AND HEAT RESISTING STEELS  
American Iron and Steel Institute - Washington- 1975
- 8.- PROGRAMME DE FABRICATION - TUBES ET BANDES INOXIDABLES ET REFRACTAIRES  
Uginox - Paris - 1977
- 9.- CONTROL DE CALIDAD EN LA LAMINACION EN FRIO  
Miguel Vazquez del Mercado -Planta August Thyssen Hutte  
Duisburg -Alemania Occidental- 1976
- 10.- THE MAKING, SHAPING AND TREATING OF STEEL  
United States Steel Co.  
Harold E. Mc. Gannon Ed. - Pittsburg, Penn. - 1971
- 11.- THE PRINCIPLES OF METALWORKING  
Geoffrey A. Howe  
Eduard Arnold (publishers LTD) - London - 1968

12.- ANNUAL DE PRODUCTOS PLANOS

MyLSA -Monterrey - 1977

13.- MITSUBISHI EQUIPMENT FOR METAL ROLLING MILLS

Mitsubishi Heavy Industries ,Ltd -Tokio - 1975

14.- INTRODUCCION A LA METALURGIA FISICA

Sidney H. Avner

Mc Graw-Hill -Madrid - 1966

ARTICULOS Y REVISTAS

1.- "El mundo de los laminadores" By George Mc Manus

"IRON AND METALWORKING INTERNATIONAL "

The Chilton Co. - Rotterdam - 1977 mayo

2.- "Lateral material flow during cold rolling of steel"

G. P. Bernsmann

"Iron and Steel Engineer"- march -1972

3.- "Stresses in cold rolled strip"

V. A. Nikoleev

"Ezvestiya Vuz Chernaya Metallurgiya - 1975 mayo

4.- "Prediction and control of strip flatness in cold rolling"

w. t. Davis

D. G. Sivillotti

M. w. Tulett

"Metals Technology"- october - 1975