



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI

FACULTAD DE INGENIERIA

"EL PROCESO DE LAMINACION SUPERFICIAL EN
FRIO DEL ACERO INOXIDABLE FERRITICO"

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO MECANICO

PRESENTA

ROBERTO HERNANDEZ ORTIZ

SAN LUIS POTOSI, S.L.P. — 1995



T

TS340

H4

C.1



1080077780

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
Dr. Manuel Nava No. 8 Zona Universitaria
Teléfonos: 13-11-86, 13-52-38, 13-63-35 y 13-82-22
Fax: (48) 13-09-24
78290, San Luis Potosí, S. L. P., México



JULIO 05, 1995.

Al Pasante Señor Roberto Hernández Ortiz
P r e s e n t e.-

En atención a su solicitud de autorización de Temario, presentada por el Ing. Vérulo Castro López, Asesor del Trabajo Recepcional que desarrollará Usted, con el objeto de sustentar Examen Profesional en la Licenciatura de Ingeniero Mecánico. Me es grato comunicarle que en la Sesión de Consejo Técnico Consultivo celebrada el día 5 de Julio del presente año, fué aprobado el Temario propuesto:

"EL PROCESO DE LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO DEL ACERO INOXIDABLE FERRITICO"

TEMARIO:

- INTRODUCCION
- I.- EL PROCESO DE FABRICACION DEL ACERO INOXIDABLE FERRITICO
- II.- DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO
- III.- EL PROCESO DE LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO
- IV.- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFIA

Ruego a Usted tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, debe prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar su Examen Profesional.

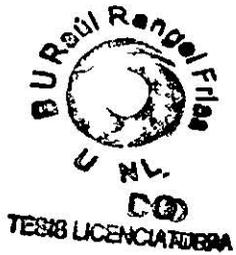
" MODOS ET CUNCTARUM RERUM MENSURANDAE " 

ING. DAVID ATISHA CASIENCO
DIRECTOR DE LA FACULTAD

UNIVERSIDAD AUTONOMA
DE SAN LUIS POTOSI
FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION

'real.

T 5340
H4



(77780)

A MIS QUERIDOS PADRES:

J. PIPINO Y SABINA.

QUE CON SU APOYO Y BUEN EJEMPLO
ACRECENTARON EN MI EL DESEO DE
SUPERACION.

A MIS HERMANOS:

DEOLEGARIO

ROSA MARIA

JESUS IGNACIO

EN LOS QUE SIEMPRE ENCONTRE
APOYO Y ESTIMULO PARA SEGUIR ADELANTE.

A MI ESPOSA:

LETY:

EN LA QUE ENCONTRE ALIENTO PARA
TERMINAR MI CARRERA.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS:

ROSENDO Y BENITO. QUE COMPARTIERON
CONMIGO ALEGRÍAS, TRISTEZAS Y DESVELOS
QUE HICIERON MAS ALEGRE MI CARRERA.

A MI HIJO:

ROBERTO

POR EL CUAL ME SUPERARE DIA A DIA
PARA BRINDARLE UN FUTURO MEJOR.

DE UNA MANERA ESPECIAL EXPRESO MI MAS
SINCERO AGRADECIMIENTO A MIS ASESORES
ING. VERULO CASTRO LOPEZ, ING. ROBERTO
PEREZ RAMIREZ, ING. ARTURO CASTILLO QUE
ME AYUDARON EN LA ELABORACION DE MI
TRABAJO, Y A TODOS MIS MAESTROS QUE ME
BRINDARON SUS CONOCIMIENTOS A LO LARGO
DE MI CARRERA.

CONTENIDO

INTRODUCCION.

CAPITULO 1.

EL PROCESO DE FABRICACION DEL ACERO INOXIDABLE FERRITICO.

1.1 Los Aceros Inoxidables.

1.2 Clasificación de los Aceros Inoxidables.

1.3 El Proceso de Fabricación del Acero Inoxidable Ferrítico.

1.3.1 Recocido en Hornos de Caja (Tipo Campana).

1.3.2 Decapado Mecánico-Químico.

1.3.3 La Laminación en Frío del Acero Inoxidable.

1.3.4 Recocido de Recristalización y Decapado Electrolítico.

CAPITULO 2.

DESCRIPCION Y OPERACION DEL EQUIPO PARA LA LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

2.1 Especificaciones técnicas.

2.2 Descripción general del equipo mecánico del Molino.

2.2.1 Definición y descripción del funcionamiento del equipo inmerso en la calidad del producto.

2.3 Operación del Molino.

CAPITULO 3.

EL PROCESO DE LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

3.1 Finalidad de la Laminación Superficial en Frío.

3.2 Características del material para el Laminado Superficial.

3.3 Características del material después del Laminado Superficial.

3.4 Eliminación del Límite Elástico Aparente.

3.4.1 Fuerzas y relaciones geométricas que intervienen en la Laminación Superficial en Frío.

3.5 Planitud.

3.6 Brillantez.

3.7 Descripción del Proceso de Laminación.

3.8 Consideraciones adicionales.

3.9 Establecimiento de los Parámetros de Operación.

CAPITULO 4.

CONCLUSIONES.

4.1 Parámetros de Operación.

4.1.1 Esfuerzo de apriete.

4.1.2 Velocidad de la banda.

4.1.3 Esfuerzo de tensión y contratensión.

4.1.4 Alargamiento

4.1.5 Montajes.

4.1.6 Pulldores.

4.2 Defectos en el Proceso de Laminación.

4.3 Defectos originados en procesos anteriores a la Laminación Superficial en Frío.

4.4 Defectos de origen en el Proceso de Laminación Superficial en Frío.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

La civilización está hondamente marcada por la utilización que ha hecho de los metales. Testigos de esto lo constituyen los nombres que han marcado la historia de la civilización : Edad de piedra, Edad de Bronce y Edad de Hierro.

Al observar la Tabla Periódica de los Elementos se observa que 81 de los 105 elementos conocidos tienen las características atribuidas al estado metálico.

Las propiedades típicas de los metales son:

- Resistencia a la tensión, propiedad que es básica en estructuras de puentes y edificios.

- Conductividad eléctrica, gracias a la cual se puede abastecer de energía a las ciudades modernas y mover la industria.

- Conductividad térmica, la que permite la existencia de los sistemas de calentamiento y refrigeración.

- Maleabilidad y ductilidad, gracias a las cuales puede moldearse y modelarse el metal en láminas o hilos.

- Lustre, propiedad que dá al metal una apariencia agradable y propiedades reflejantes.

Todas estas propiedades se deben a la estructura electrónica de los átomos que forman los arreglos tridimensionales repetitivos (cristales) de los sólidos que se conocen como metales.

Los metales comenzaron a ser utilizados por el hombre hace cerca de 10,000 años en Asia Menor. Se utilizó primero el Cobre luego el Bronce (que es una aleación de Cobre con Estaño), y posteriormente el fierro, provenientes de meteoritos que caían a la tierra del espacio.

El fierro nunca demostró su verdadera importancia hasta que no se le transformó en acero. Al alear fierro con carbono se forma el acero. Que es una aleación fundamental para la civilización moderna. El acero se forma sometiendo al fuego al fierro impuro y es de aquí de donde se obtiene la aleación fierro-carbono.

La Historia del hombre sin el acero es virtualmente inconcebible. Posteriormente el hombre desarrolló aleaciones con mejores propiedades que las

obtenidas solo con la aleación Fierro-Carbono. Empezando a aparecer los aceros de alto contenido de aleantes, dentro de los cuales se encuentran los aceros Inoxidables.

El acero Inoxidable se inventó en Inglaterra a principios de este siglo. Este acero muestra una resistencia a la corrosión mayor que la del acero al Carbono, es además más fino en su apariencia. Por lo anterior su estudio se ha intensificado, tanto para comprender los mecanismos de resistencia a la corrosión como para desarrollar nuevas aleaciones.

CAPITULO 1

EL PROCESO DE FABRICACION DEL ACERO INOXIDABLE FERRITICO.

El acero se define como una aleación de Hierro y Carbono que contiene, además otros elementos como aleantes o impurezas. Los llamados simplemente aceros al carbono, generalmente tienen pequeñas cantidades de Manganeso, Silicio, y otros elementos residuales no deseables: como Fósforo y Azufre. Los aceros aleados son aquellos que contienen cantidades específicas de elementos de aleación en su composición química. Los elementos de aleación más comunes son: Níquel, Cromo, Molibdeno, Vanadio y Tungsteno; el Manganeso también se considera dentro de esta categoría cuando existe en porcentajes mayores al 1%. Requiriéndose al menos uno de estos elementos para impartirle al acero propiedades adecuadas. Siendo el Carbono el principal elemento en la mayoría de los aceros; la cantidad presente en la aleación tiene un importante efecto sobre la adecuada selección del tipo de tratamiento térmico al que se le someterá, para lograr las propiedades deseadas.

Dentro de los aceros aleados se encuentran los aceros Inoxidables.

1.1 LOS ACEROS INOXIDABLES.

Los aceros Inoxidables son aleaciones a base de Hierro, Cromo, y Carbono, y otros elementos en proporciones distintas, tales como el Níquel, Molibdeno, Manganeso, Silicio, Titanio, etc. que les confieren una resistencia particular a la corrosión.

El Cromo es el principal elemento que imparte la resistencia a la corrosión, característica fundamental de estas aleaciones, y para tal efecto su contenido mínimo debe de ser de 11.5%.

El fenómeno de la corrosión se define, como toda aquella reacción química o electroquímica, entre un material usualmente un metal y su medio ambiente, que produce un deterioro del material y sus propiedades.

La característica de resistencia a la corrosión se debe, a la propiedad que tiene el Cromo de formar una película pasivante y estable en la superficie de los aceros Inoxidables. Esta película de óxido de Cromo (Cr_2O_3) es extremadamente delgada (10

a 50 Angstroms, es decir $1 \text{ a } 5 \times 10^{-6}$ mm de espesor) y se encuentra aún en el acabado superespejo de los aceros Inoxidables. Dicha película vuelve a reconstruirse inmediatamente, cuando se le daña; naturalmente si el ambiente es suficientemente oxidante y si el oxígeno puede entrar en contacto con la aleación, ésta película protege al material subyacente del ataque corrosivo.

A un material se le denomina pasivo, cuando es capaz de corroerse termodinámicamente, pero la velocidad de cuyo proceso es a tal punto limitada que prácticamente hace imperceptibles los efectos de la propia corrosión, por el contrario se le denomina activo si los efectos ocurren a una velocidad apreciable, como le sucede al Hierro en un ambiente ácido. La resistencia a la corrosión se valora generalmente en función de la velocidad de corrosión anual debida a la composición y temperatura de empleo de un agente agresivo dado. Ver tabla 1.1 .

Tabla 1.1 Valores prácticos indicativos de la velocidad de corrosión anual y grados correspondientes de aceptabilidad según los usos en U.S.A.

Valoración de la resistencia a la corrosión. (aceptabilidad)	Velocidad de corrosión.	
	(pulgadas/año)	(mm/año)
Optima	< 0.002	<0.05
Suficiente	<0.020	<0.50
Escasa	0.020-0.050	0.50-1.27
Pésima	>0.050	>1.27

La norma ASTM A 262 es una de las que rige la medición de la resistencia a la corrosión intergranular.

Sería no obstante erróneo pensar que los aceros Inoxidables, como su nombre lo indica, puedan soportar todo el conjunto de fenómenos de degradación conocidos bajo el nombre de corrosión, mas sin embargo con una selección cuidadosa y una adecuada fabricación, la gran mayoría de las condiciones corrosivas pueden ser soportadas por alguno de los miembros de la familia de los aceros Inoxidables.

Su resistencia depende de muchos factores, a saber: sus condiciones intrínsecas(constitución estructural), del tipo de ambiente en el que se encuentra, del modo como se unen entre sí, o con otros materiales, del proceso tecnológico al que han sido sometidos, etc.

1.2 CLASIFICACION DE LOS ACEROS INOXIDABLES.

Teniendo en cuenta su estructura cristalográfica predominante, los aceros inoxidables se clasifican en:

- a).- Ferríticos.**
- b).- Martensíticos.**
- c).- Austeníticos.**
- d).- Dupléx.**
- e).- Endurecidos por Precipitación.**
- f).- Superferríticos.**
- g).- Resistentes a las Altas Temperaturas.**
- h).- Aleaciones de propiedad.**

Siendo los tres primeros, los grupos principales, teniendo entre sí, los grados pertenecientes al mismo grupo, propiedades metalúrgicas comunes.

Los demás aceros cumplen su función cuando se requieren propiedades superiores.

Se concretará sin embargo en éste trabajo a tratar los aceros Inoxidables Ferríticos de los cuales los mas importantes son el 430 y 434; siendo los aceros Inoxidables Austeníticos los de mayor consumo a nivel mundial.

a).- ACEROS INOXIDABLES FERRITICOS.

Los aceros ferríticos son aquellos que tienen un contenido de Cromo comprendido entre 16-30 %, y contenidos de Carbono muy bajos, de ordinario inferiores al 0.1 %, que pueden aumentar al 0.35 %, sólo cuando el Cromo esté en su limite superior. Estos aceros tienen la característica de ser magnéticos y de conservar su estructura ferrítica, sin que la misma sea afectada por el tratamiento térmico. El temple así como el trabajado en frío los endurece un poco. Su resistencia mecánica es relativamente elevada y en estado recocido son muy dúctiles. Su resistencia al ataque corrosivo es muy alta, sobre todo a la oxidación producida a altas temperaturas .

Estos aceros, tienen una estructura cristalina cúbica centrada en el cuerpo (bcc), ver figura 1.1, y la particularidad de que al ser laminados superficialmente adquieren un acabado brillante. Al igual que los martensíticos se designan por el número 4 al inicio según AISI.

La tabla 1.2 muestra los aceros Ferríticos y Martensíticos más importantes.

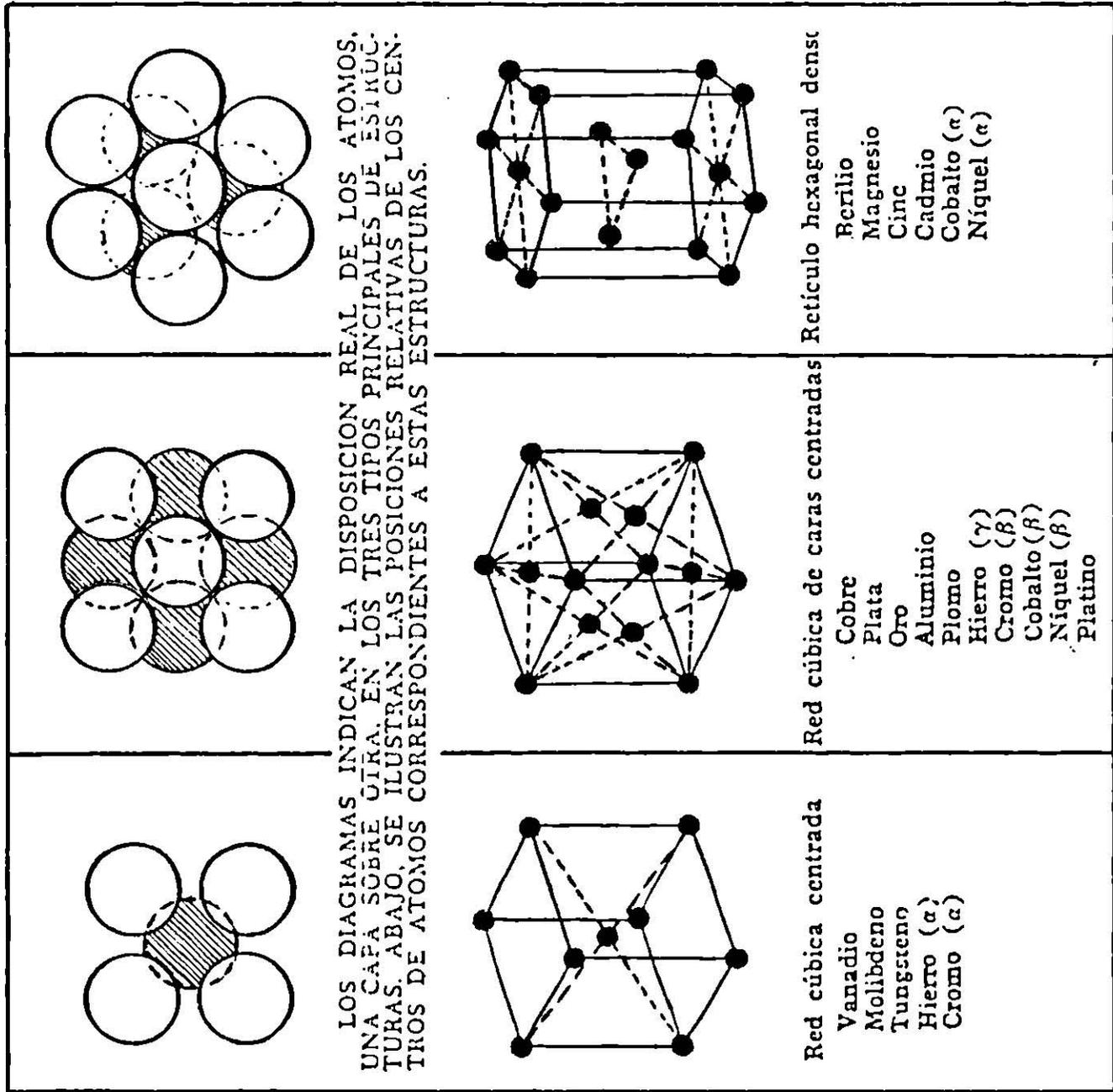


FIG. 1.1 Los tres tipos principales de estructuras en que pueden cristalizar los elementos metálicos

Tabla 1.2 Composición química para los aceros Inoxidables Ferríticos y Martensíticos según AISI y ASTM designaciones A-240 y A-176.

Tipo No.	COMPOSICION (%)								
	C Max.	Si Max.	Mn Max.	P Max.	S Max.	Cr	Mo Max.	Ti	Ni Max
409	0.080	1.0	1.0	0.045	0.030	10.50-11.75		6xC Min	0.50
410	0.150	1.0	1.0	0.040	0.030	11.50-13.50			0.75
410 S	0.080	1.0	1.0	0.040	0.030	11.50-13.50			0.60
430	0.120	1.0	1.0	0.040	0.030	16.00-18.00			0.75
434	0.120	1.0	1.0	0.040	0.030	16.00-18.00	0.75-1.25		

b).- ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS.

Estos aceros tienen un contenido de Carbono comprendido entre 0.08-1.2 %, y un contenido de Cromo de entre 10.5 y 18 %. En su estado recocido presentan estructura ferrítica que es transformada en martensítica con el tratamiento térmico adecuado, con el consiguiente endurecimiento y mejoramiento de sus propiedades de resistencia mecánica. La característica de estos aceros es que pueden ser tratados térmicamente como los aceros comunes al Carbono, siendo sus propiedades mecánicas, en el estado templado y revenido, muy apreciables, son magnéticos. Su resistencia a la corrosión no es tan elevada como la de los aceros pertenecientes a los otros dos grupos, mas su aplicación es recomendable para aquellos casos en los cuales el ataque corrosivo es moderado y que, al mismo tiempo, requieren resistencia mecánica, dureza y resistencia a la abrasión y oxidación. Presentan estructura cristalina tetragonal centrada en el cuerpo.

c).- ACEROS INOXIDABLES AUSTENITICOS.

Son aquellos que, además de Cromo en proporción de 16-26 %, contienen Níquel en una proporción de 6-22 %, y contenidos de Carbono muy bajos, inferiores al 0.1 %, y que sólo pueden aumentarlo hasta el 0.25 % cuando el Cromo y Níquel estén en su límite superior. La característica común de estos aceros es que no son magnéticos en estado recocido y no pueden ser endurecidos por tratamiento

térmico (no toman temple). Pueden ser endurecidos notablemente al ser trabajados en frío, adquiriendo al mismo tiempo un cierto grado de magnetismo. En estado recocido, son además más dúctiles y resistentes que los aceros comunes al Carbono y presentan una estructura cristalina cúbica centrada en las caras (fcc).

Al ser laminados superficialmente adquieren un tono gris claro.

1.3 EL PROCESO DE FABRICACION DEL ACERO INOXIDABLE FERRITICO.

Las siderúrgicas modernas para la fabricación del acero inoxidable en chapas (productos planos) comprenden generalmente desde la fundición, hasta el corte y empaque del material terminado, pasando por la laminación en caliente, recocido en hornos de caja, decapado mecánico, reducción en frío, recocido y decapado electroquímico, y laminado superficial en frío.

En el presente trabajo se describirá la fabricación del acero a partir del recocido en hornos de caja, ya que es aquí, con la preparación del material donde prácticamente se inicia su proceso de Laminación Superficial en Frío.

De la acería se obtienen los lingotes ya sea por la fundición, de preferencia en horno eléctrico, de mineral o chatarra, posteriormente se obtienen los planchones, y finalmente los rollos o bobinas, con longitudes mayores en espesores de entre 3-6 mm, y anchos de entre 914-1340 mm. A continuación los rollos son enlados a recocer en hornos de caja. Ver figura 1.2. (Diagrama del proceso de Laminación Superficial en Frío del acero Inoxidable Ferrítico).

1.3.1 RECOCIDO EN HORNOS DE CAJA (TIPO CAMPANA).

El acero al ser laminado en caliente (920-1130 °C) y luego enfriado a temperatura ambiente, no presenta las condiciones óptimas para obtener de él altas reducciones en la laminación en frío, por lo que es sometido a un proceso de recocido en hornos verticales de caja del tipo intermitente, a una temperatura que oscila entre 760 a 815 °C. Este recocido se hace para obtener una estructura interna más homogénea eliminando los carburos precipitados durante la laminación en caliente y relevar las tensiones internas a través de tiempo y temperatura, con el fin de lograr su máxima blandura, ductilidad y resistencia a la corrosión, y así poder obtener altas reducciones en la laminación en frío.

El recocido se lleva a cabo en tres etapas. Ver figura 1.3, precalentamiento, permanencia y enfriamiento. La etapa de permanencia es para homogeneizar la

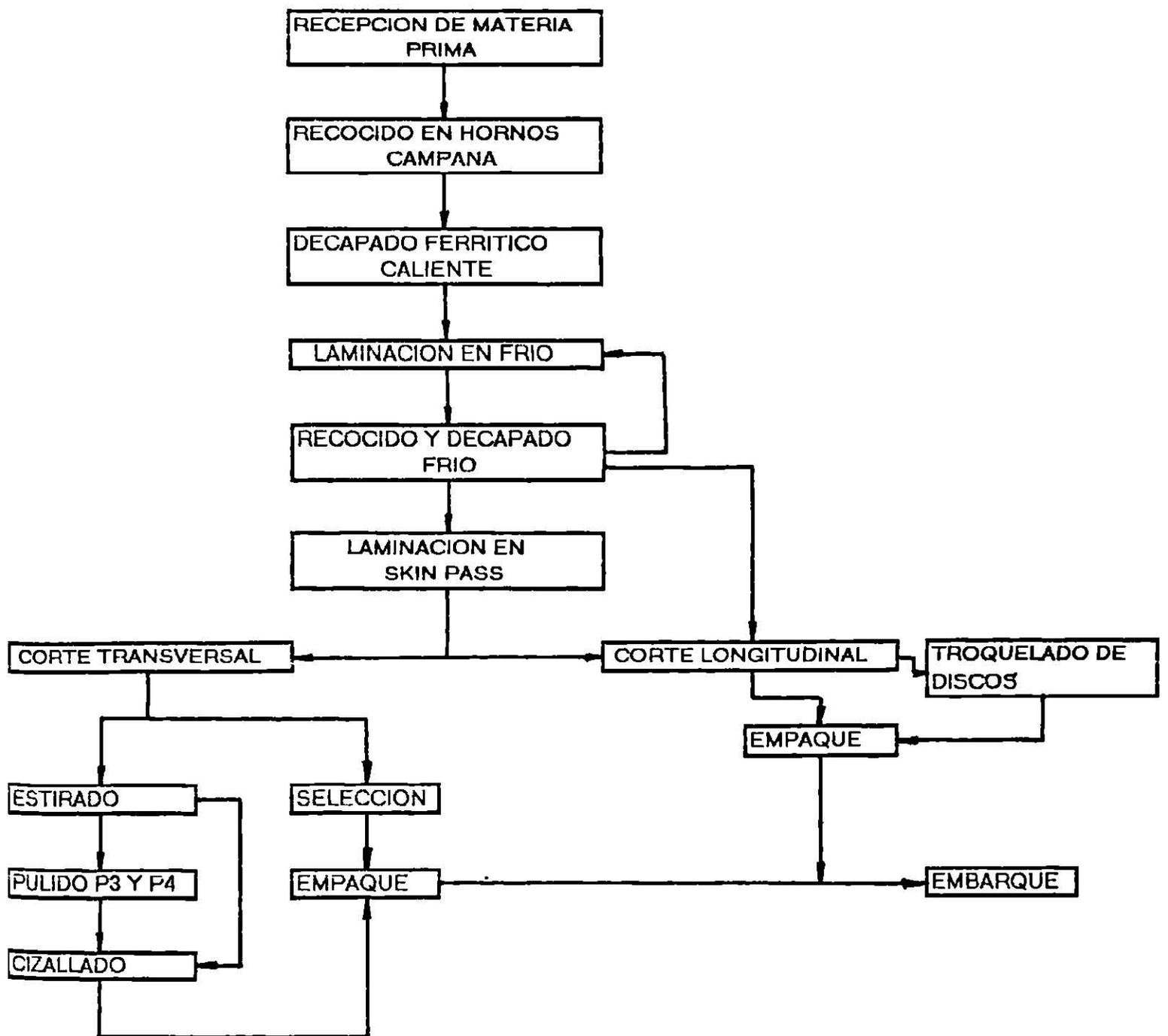


Fig. 1.2 Diagrama del Proceso de Laminación Superficial en Frío del acero Inoxidable Ferrítico.

temperatura en toda la bobina con el fin de que las propiedades mecánicas sean uniformes a todo lo ancho y largo de la bobina. El tiempo de permanencia depende de las dimensiones de la pared de la bobina (espesor).

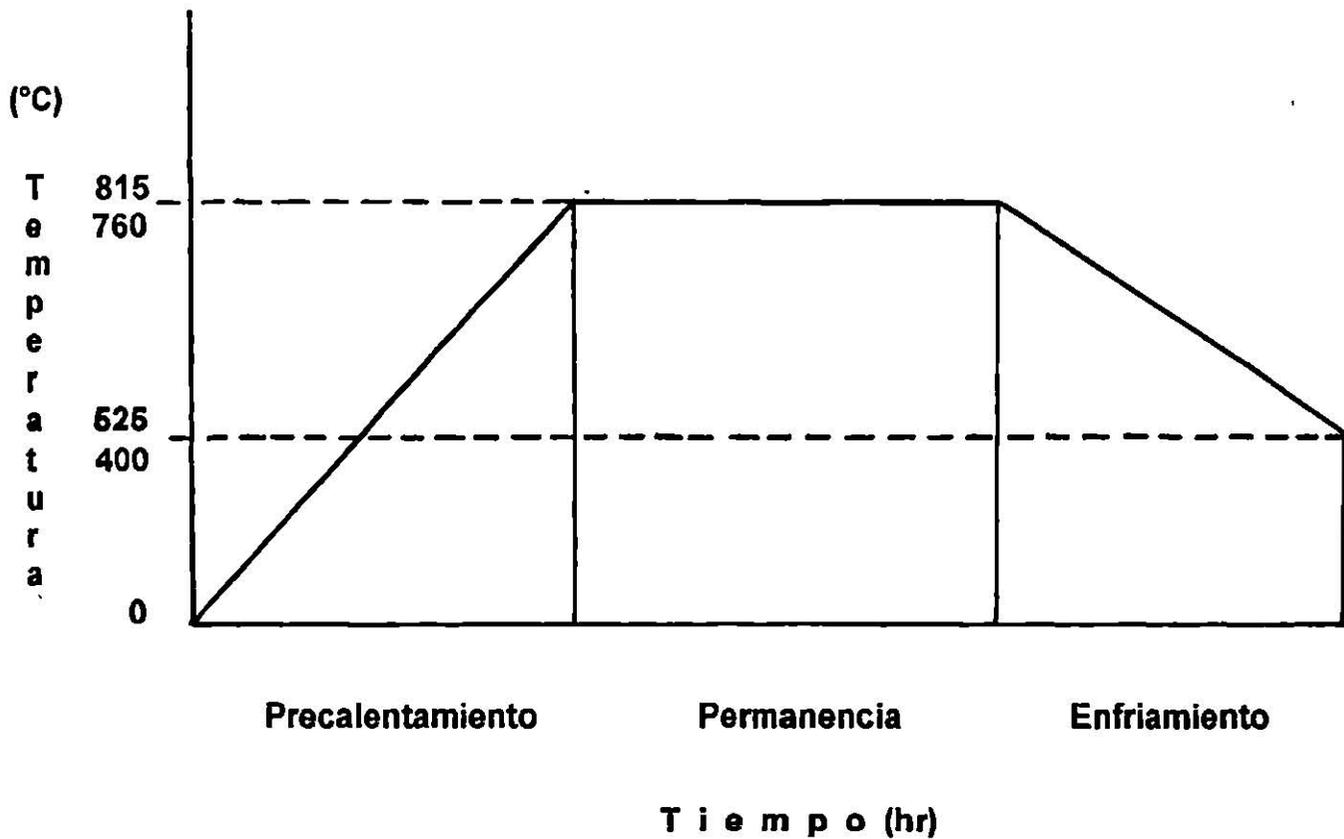


Fig. 1.3 Ciclo de recocido para acero Ferrítico, en Hornos tipo Campana.

Si al cargar el material se tiene cuidado de que las bobinas tengan diámetros similares se puede adoptar una forma práctica de establecer el tiempo de permanencia, esto es tomando como referencia el peso de la carga del horno. Datos prácticos se presentan en la tabla 1.3.

Es importante notar que estos aceros sufren fragilización si su enfriamiento es lento entre 400 y 525 °C, la característica más afectada es su resistencia al impacto. por lo que en éste intervalo de temperatura se debe enfriar rápida y directamente al aire.

Tabla 1.3 Tiempo de permanencia a la temperatura de recocido para diferente peso de material procesado en Hornos de Campana.

Peso Total (Ton.)	Tiempo de Permanencia (Hr.)	Peso Total (Ton.)	Tiempo de Permanencia (Hr.)
7-8	12.5	>27-28	15.8
>9-10	12.8	>29-30	16.2
>10-11	13.0	>30-31	16.3
>11-12	13.2	>31-32	16.5
>12-13	13.3	>32-33	16.7
>13-14	13.5	>33-34	16.8
>14-15	13.7	>34-35	17.0
>15-16	13.8	>35-36	17.2
>16-17	14.0	>36-37	17.3
>17-18	14.2	>37-38	17.5
>18-19	14.3	>38-39	17.7
>19-20	14.5	>39-40	17.8
>20-21	14.7	>40-41	18.0
>21-22	14.8	>41-42	18.2
>23-24	15.2	>43-44	18.5
>24-25	15.3	>44-45	18.7
>25-26	15.5	>45-46	18.8
>26-27	15.7		

Como el acero es calentado a altas temperaturas, éste sufre una oxidación por la presencia de oxígeno en contacto con el acero y una reducción o depósito de carburos, siendo más notable en las orillas de la banda. Este defecto es llamado **Franjas de Hornos Campana**, y crea reprocesos posteriores.

Para evitar éste defecto, el acero se recoce en una atmósfera inerte que puede estar compuesta de: Nitrógeno, una mezcla de Nitrógeno e Hidrógeno, hidrógeno puro o Argón. La mezcla de Nitrógeno e Hidrógeno es en proporción de 95% y 5%. Para la atmósfera de N₂-H₂, que es la mas utilizada se inicia su alimentación a los 538 °C, para evitar riesgos de explosión. Tambien se suspende cuando en la etapa de enfriamiento se llega a la misma temperatura.

1.3.1.1 EQUIPO PARA EL RECOCIDO.

El equipo para recocer el material consta esencialmente de: un soporte para la carga a recocer (base), una cubierta que contiene la fuente de calor (horno del tipo de tubos radiantes), una cubierta interior (inner cover) entre la carga y el horno, y un soplador que hace circular los gases calientes dentro de la cubierta interior.

El propósito de la cubierta interior es:

a).- Recibir el calor por radiación de los tubos radiantes y transmitirlo por convección al material por medio de los gases de la atmósfera inerte que circulan a gran velocidad dentro de ésta.

b).- Prevenir la contaminación de la carga por las condiciones atmosféricas durante el calentamiento y enfriamiento.

c).- Extraer calor a los gases y transmitirlo a la atmósfera durante el enfriamiento.

d).- Eliminar la dependencia del horno para el enfriamiento, ya que éste es quitado una vez que se concluye el tiempo de permanencia para la carga en cuestión, y puede ser usado en otra base inmediatamente. Ver figura 1.4.

1.3.2 DECAPADO MECANICO-QUIMICO.

En el transcurso de la laminación en caliente y aún en el tratamiento térmico, la superficie del metal se recubre de una capa de óxidos cuya composición, espesor y de una manera general, las características físico-químicas pueden ser muy variables. Dichas características dependen esencialmente de la composición del material, de la atmósfera dentro del horno, así como de las condiciones de temperatura y de tiempo. Por lo que la operación de decapado se lleva a cabo para eliminar la capa de óxido sin atacar el metal.

Existen varios tipos de decapado, que pueden ser utilizados solo o combinados según se requiera, como son:

a).- Decapado físico ó mecánico.

b).- Decapado químico y electroquímico o electrolítico.

Es importante eliminar la capa de óxido antes del transformado en frío para:

a).- Evitar que los óxidos se incrusten en la lámina, ocasionando una aceleración en el proceso de corrosión del metal, con la formación de picaduras locales.

b).- Evitar que dañen la superficie de los rodillos de laminación.

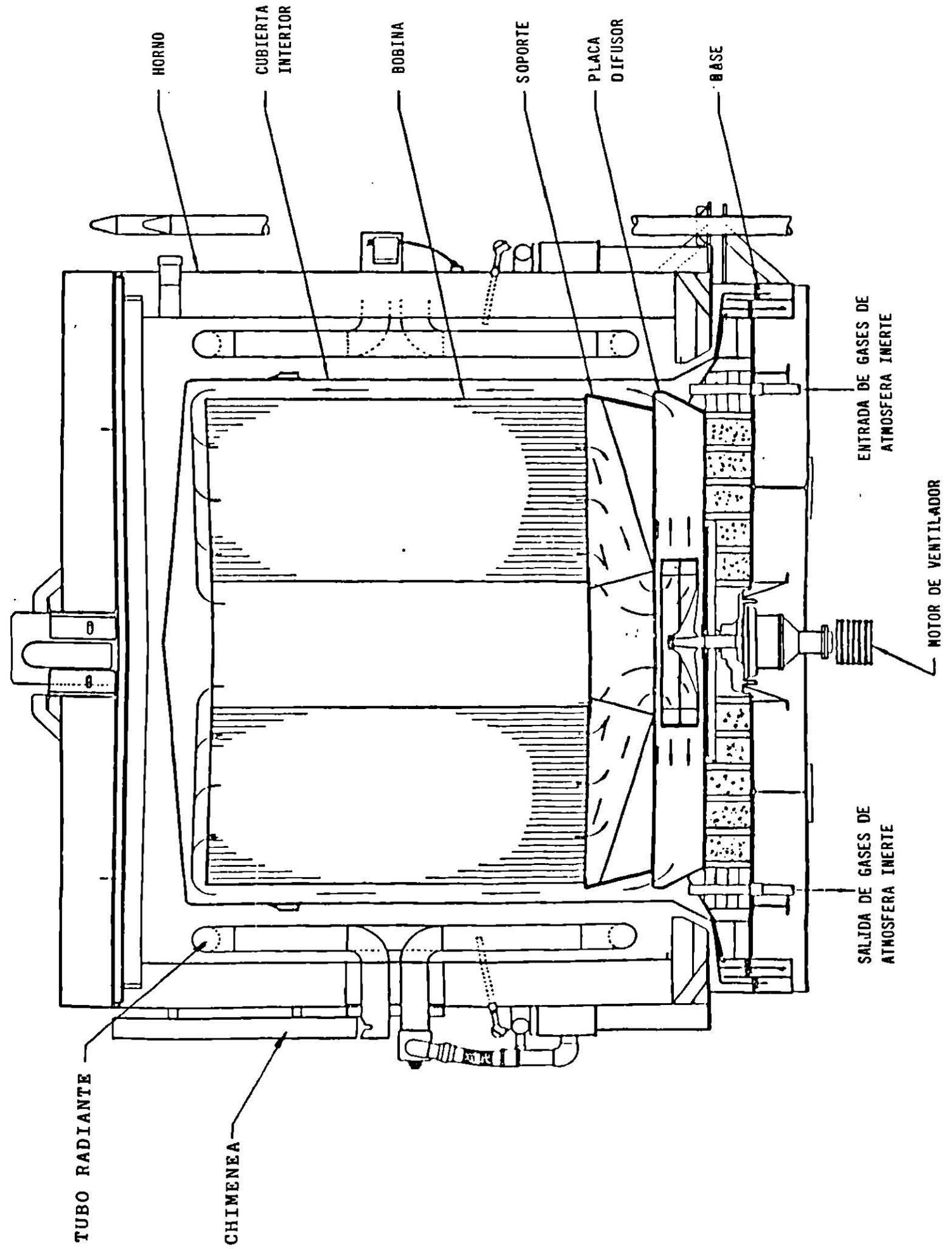


FIG. 1.4 HORNO TIPO CAMPANA PARA RECOCIDO DE ACERO INOXIDABLE FERRITICO

La capa de óxido que se le forma al metal en el proceso de recocido de Hornos de Caja es más dura y densa, que la que se le forma al ser recocido, después del laminado en frío; es por lo que en éste caso se utilizan métodos más bruscos para desprenderla, como es el decapado mecánico.

El proceso de decapado en general consiste básicamente de:

a).- Fractura de la capa de óxido mediante el bombardeo de la superficie de la banda con partículas metálicas (granalla), lanzadas contra ésta a una cierta velocidad (decapado mecánico).

b).- Eliminación por completo del óxido con una solución a base de: HNO_3 , HF y Fe, (decapado químico).

Es importante notar que esta operación se lleva a cabo con la banda tendida.

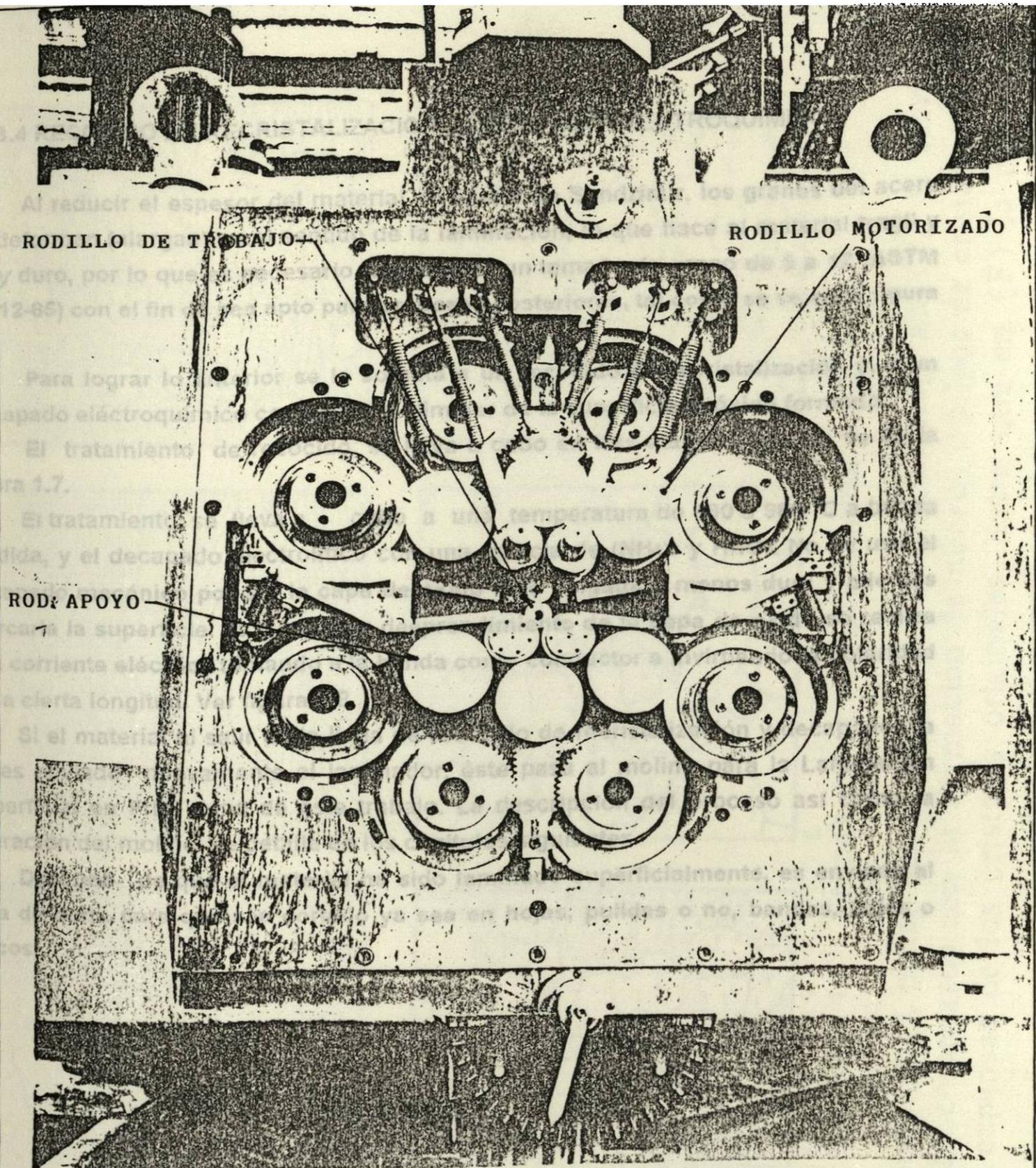
1.3.3 LA LAMINACION EN FRIO DEL ACERO INOXIDABLE.

La laminación en frío se realiza para obtener lámina con acabado superficial y con tolerancias dimensionales más estrechas que las del producto laminado en caliente. La materia prima para obtener el acero laminado en frío, son las bobinas laminadas en caliente, recocidas y decapadas, procedentes de los trenes de laminación en caliente.

El total de reducción permitida por la laminación en frío varía del 50 al 90 %, del espesor de la banda al entrar al molino, antes de someter al acero a un tratamiento de recristalización (recocido) y decapado electrolítico. Si la reducción del espesor debe ser mayor, se llevan a cabo posteriores reducciones en serie de la misma magnitud que las anteriores, intercalando entre ellas el tratamiento de recocido y decapado ya citados. De acuerdo al espesor final a obtener se establece la reducción en cada pase, distribuyendo los esfuerzos lo más uniformemente posible a todo lo ancho de la banda.

La laminación en frío se lleva a cabo principalmente en un molino Sendzimir, el cual tiene dos rodillos de trabajo muy pequeños (63mm) de diámetro, con el fin de que la carga de laminación así como el área de contacto entre la lámina y el rodillo disminuyan, con el fin de lograr grandes reducciones con menos esfuerzo del laminador.

El rodillo de trabajo que está en contacto directo con la lámina es fabricado de acero para rodamiento y se elimina su flexión apoyándose en una serie de rodillos adicionales como se ve en la figura 1.5.



Sendzimir ZR 21 B 52" : Piezas interiores.

Fig. 1.5 Arreglo de los Rodillos en el Laminador Sendzimir

1.3.4 RECOCIDO DE RECRISTALIZACION Y DECAPADO ELECTROQUIMICO.

Al reducir el espesor del material en el molino Sendzimir, los granos del acero se deforman (alargan) en el sentido de la laminación, lo que hace al material frágil y muy duro, por lo que es necesario reintegrarle un tamaño de grano de 9 a 12 (ASTM A 112-85) con el fin de sea apto para procesos posteriores, tal como se ve en la figura 1.6.

Para lograr lo anterior se le somete a un recocido de recristalización y, a un decapado electroquímico con el fin de eliminar de la superficie el óxido formado.

El tratamiento de recocido, se lleva a cabo en tres etapas como se ve en la figura 1.7.

El tratamiento se lleva a cabo a una temperatura de 890 a 980 °C a banda tendida, y el decapado electrolítico con una mezcla de $(\text{NH}_4)_2$ y HNO_3 . No se usa el decapado mecánico por ser la capa de óxido más delgada y menos dura y además marcaría la superficie. La fractura y desprendimiento de la capa de óxido se realiza con corriente eléctrica tomando a la banda como conductor e invirtiendo la polaridad cada cierta longitud. Ver figura 1.8.

Si el material al salir de la línea de recocido de recristalización y decapado, ya no es enviado nuevamente al laminador, éste pasa al molino para la Laminación Superficial en Frío, tema de este trabajo. La descripción del proceso así como la operación del molino se detalla en los capítulos siguientes.

Después de que el material ha sido laminado superficialmente, es enviado al área de corte para que sea cortado ya sea en hojas, pulidas o no, bandas, flejes o discos.

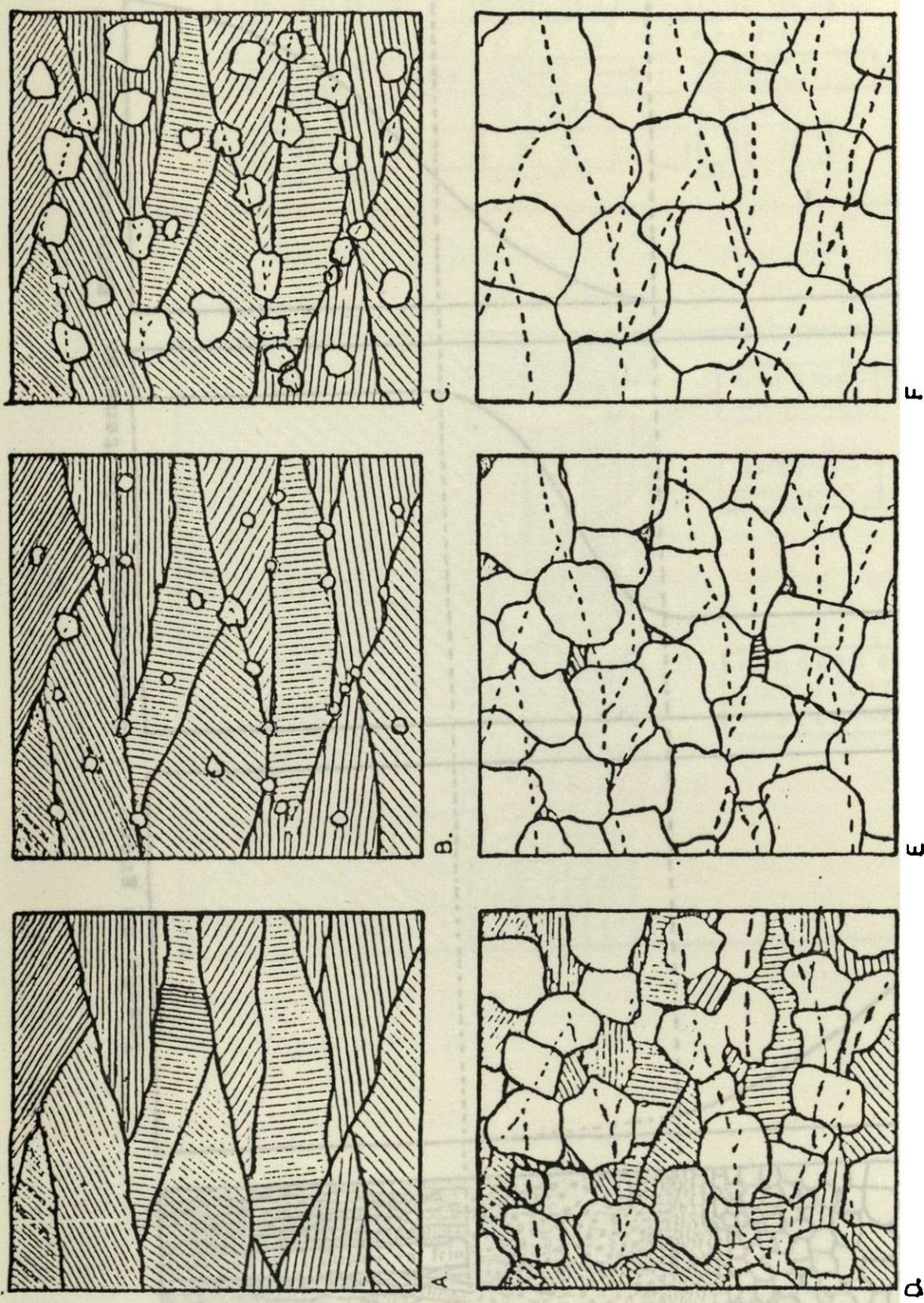


FIG. 1.6 Etapas en la recristalización de un metal

(A) Representa el metal en su estado laminado en frío. En (B) la recristalización ha comenzado con la formación de nuevos núcleos de cristales. Estos crecen a expensas de los cristales originales, hasta que en (F) la recristalización es completa

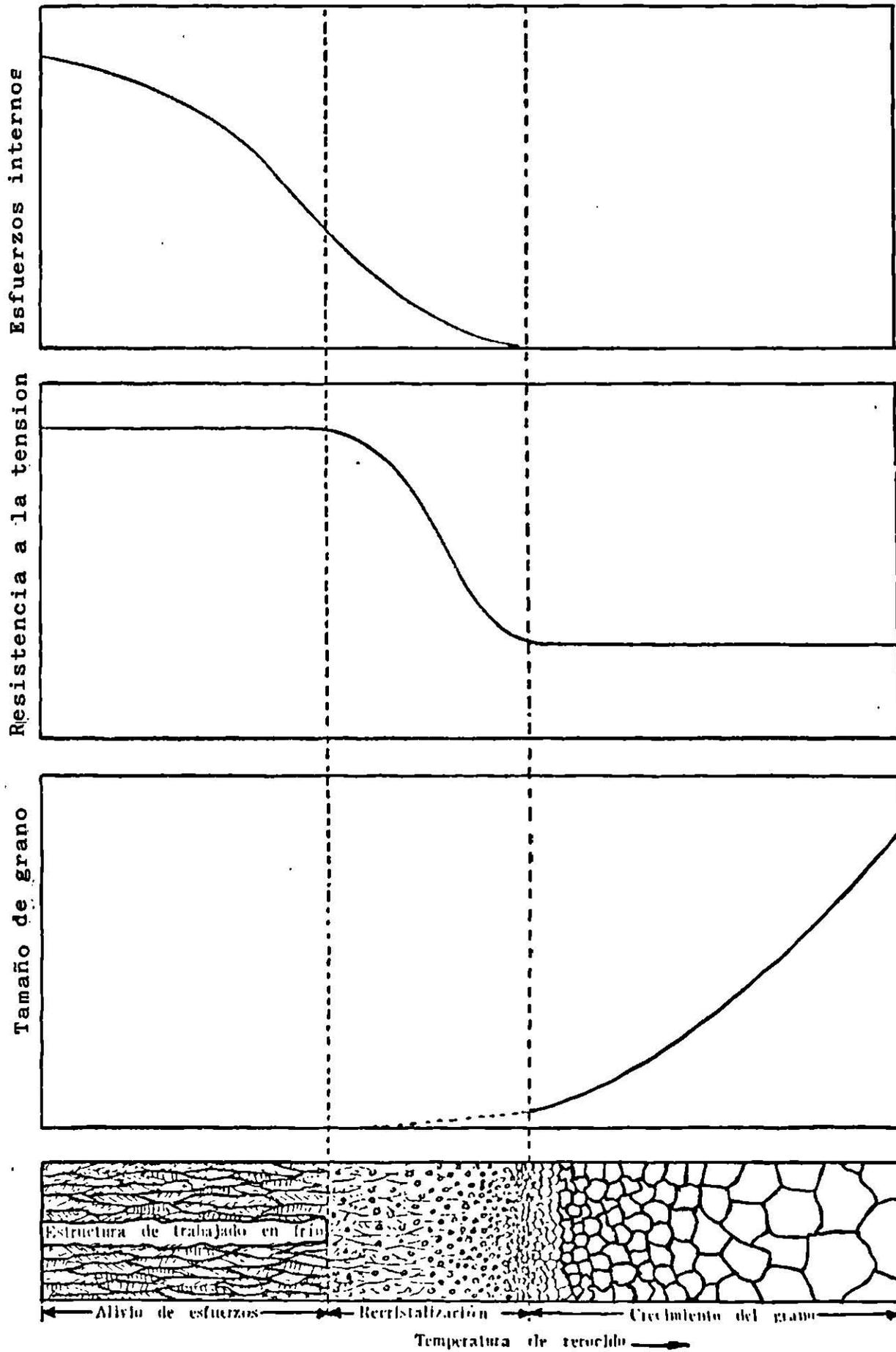


FIG. 1.7. Cambios típicos en la estructura y propiedades mecánicas durante un proceso de recocido

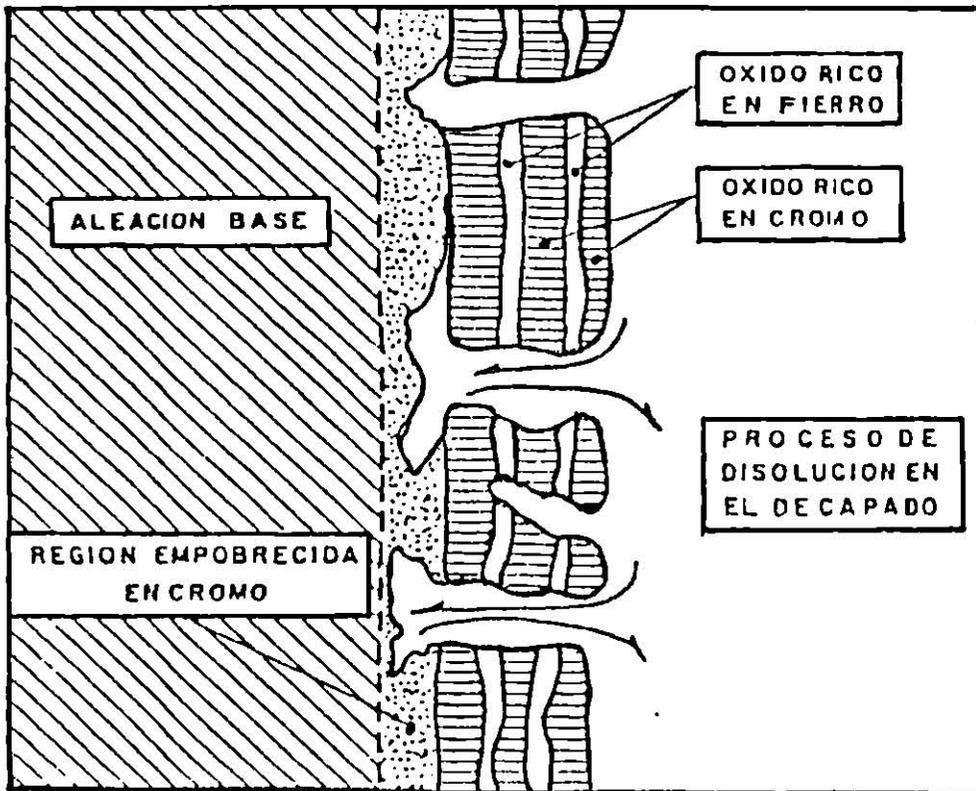
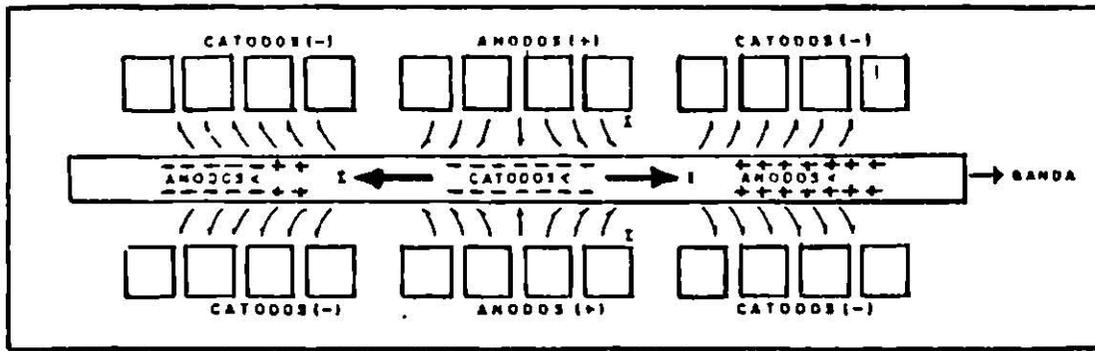


Figura 1.8 Proceso de remoción de una superficie de acero inoxidable por decapado electrolítico.

CAPITULO 2

DESCRIPCION Y OPERACION DEL EQUIPO PARA LA LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

El laminador recibe el nombre de Molino Templador o Laminador Superficial (Skin Pass). Los objetivos de la laminación son entre otros, eliminar el Límite Elástico Aparente, mejorar la planitud e incrementar el brillo a la superficie de la banda.

El acabado que el material presenta al entrar al molino se le denomina como 2D (Opaco), al final del proceso se le identifica como 2B (Brillante), de acuerdo a la norma ASTM A 480.

El laminador consta esencialmente de dos mandriles desenrollador-enrollador, dos rodillos de trabajo, dos rodillos deflectores que miden el alargamiento, dos rodillos antidoble, dos carros transportadores de bobinas, sistema de apriete y conformación, sistema de limpieza de la banda y de los rodillos de trabajo.

El molino es reversible o sea que puede desenrollar y luego enrollar la banda, aunque por su diseño el rollo solo se debe alimentar por un lado y extraer por el otro. Al lado donde se alimenta la bobina se le conoce como lado B1 y al lado donde se extrae, como lado B2.

Una de las principales características del molino es que los rodillos de laminación están soportados sobre bases móviles (pistones), lo que hace que los extremos de los rodillos se puedan abrir o cerrar, uno ó ambos a la vez, esto ayuda a aplicar los esfuerzos de laminación en la parte donde se requiera elongar más el material, en la orilla o en el centro. Ver la figura 2.1.

2.1 ESPECIFICACIONES TECNICAS.

Las características principales del molino son:

Energía eléctrica 440 volts. 60 hertz.

Peso total del equipo 354 ton.

LADO B2

LADO B1

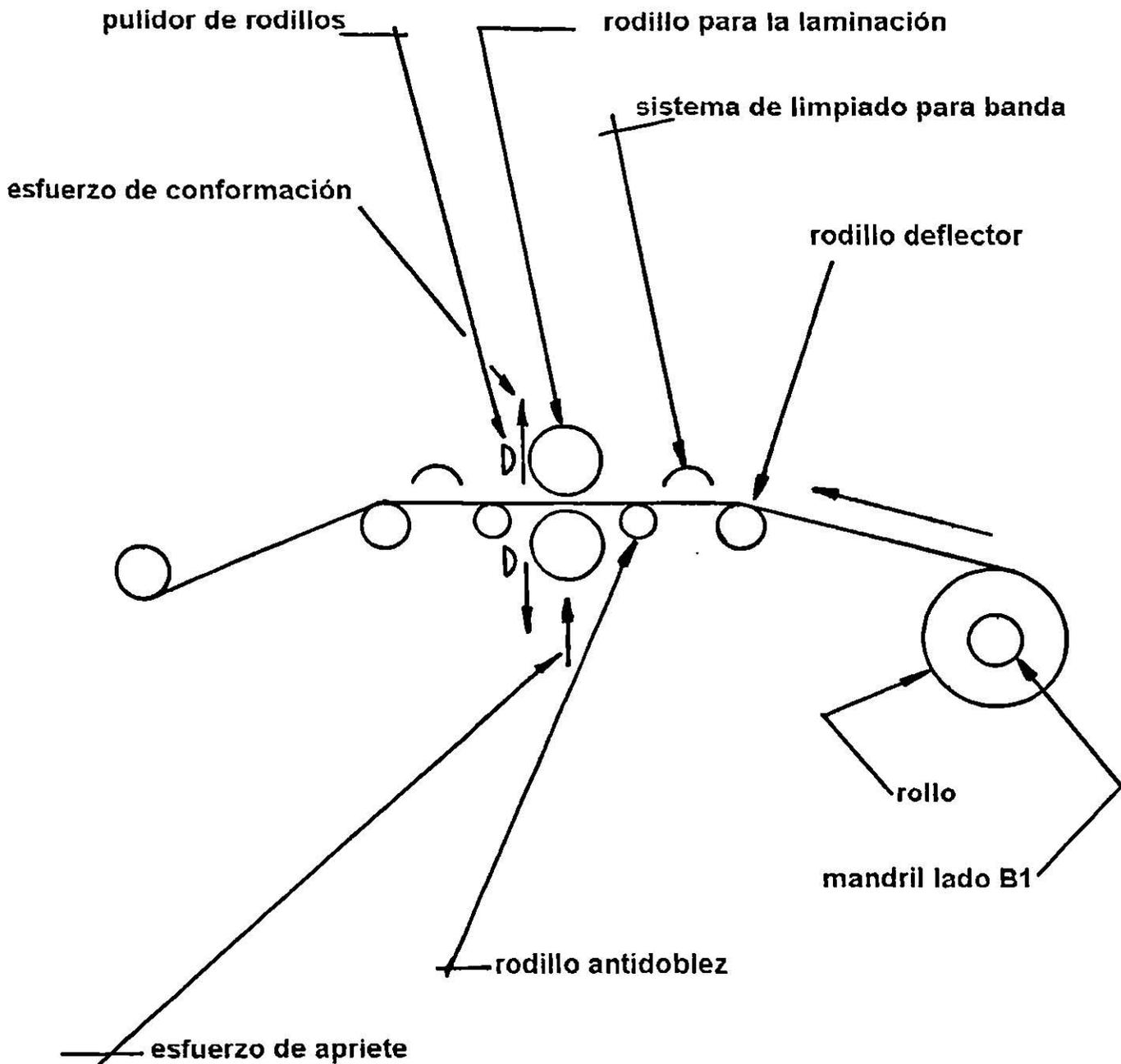


Fig. 2.1 Esquema del Molino para la Laminación Superficial en Frío (Skin Pass).

Laminador (SKIN PASS) reversible

Rodillos de trabajo: diámetro 830 mm rodillos nuevos, ancho 1500 mm.

diámetro 790 mm min. rodillos usados, ancho 1500 mm.

Productos a Laminar: Aceros Inoxidable.

Espesores del material: 0.25 mm mínimo, 4.0 mm máximo

Diámetro exterior de la bobina: 2100 mm máximo.

Diámetro interior de la bobina: 610 mm mínimo.

Ancho de la banda: 600 mm mínimo, 1340 mm máximo.

Peso máximo de la bobina: 25 toneladas máximo.

Velocidad de laminado: 12 m/min mínima, 500 m/min máxima.

Tracción de las bobinadoras-desbobinadora: 1 tonelada mínimo, 12 toneladas máxima.

Fuerza de laminado: Apriete: 120 toneladas mín., 1200 toneladas máximo,

Conformación: 0 toneladas mín., 125 toneladas máx.

Capacidad de chumacera (Morgoil): 602 toneladas máximo por lado. Esto significa que la suma del esfuerzo de apriete y el de conformación debe ser menor a 602 ton. por lado.

2.2 DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO MECANICO DEL MOLINO.

Se mencionará brevemente el equipo más importante de que está formado el molino y se describirá solo el funcionamiento del equipo que influye directamente en la calidad del material. Ver en la figura 2.2.

- 1.- Puesto de descarga de las bobinas (3 por puesto) lado B1.**
- 2.- Carro de desplazamiento de las bobinas lado B1.**
- 3.- Placa de embaldosado lado B1 y B2.**
- 4.- Bobinadora/Desbobinadora lado B1.**
- 5.- Mesa de introducción de la banda lado B1.**
- 6.- Placa de expulsión de bobinas lado B1.**
- 7.- Bobinadoras para papel (2) lado B1.**
- 8.- Rodillo opresor de bobinas lado B1.**
- 9.- Soporte móvil lado B1.**
- 10.- Rodillo deflector lado B1.**
- 11.- Conjunto arrastrador enderezador.**
- 12.- Reductor de arrastre del cabezal, prolongador-posicionador.**

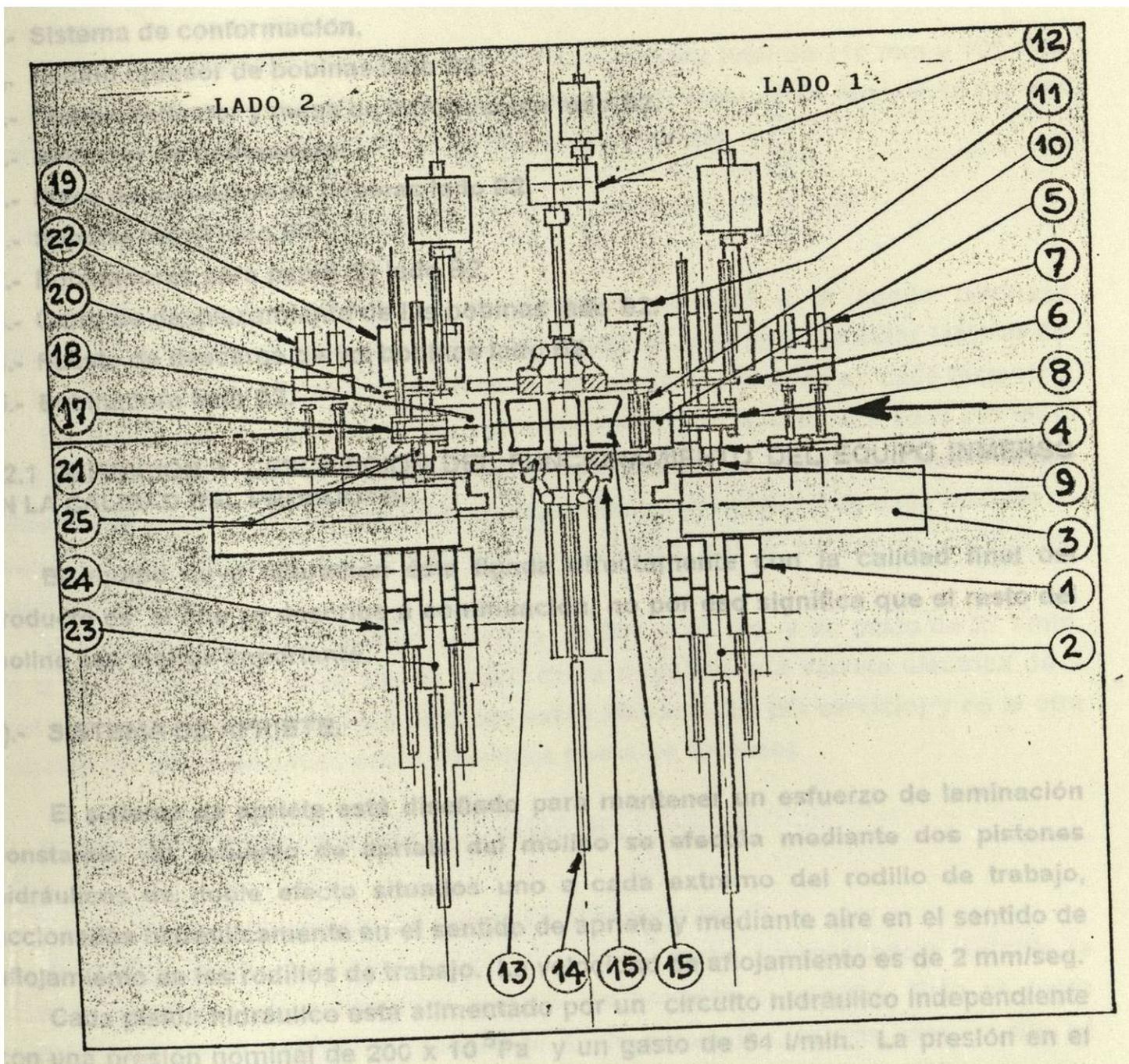


Fig. 2.2 Vista superior del Molino para la Laminación Superficial en Frío.

- 13.- Cabezal de cilindros, cilindros de apriete.
- 14.- Sistema de desmontaje de cilindros de trabajo.
- 15.- Mesas de protección rodillo inferior (castillo).
- 16.- Sistema de conformación.
- 17.- Rodillo opresor de bobinas lado B2.
- 18.- Rodillo deflector y mesa de introducción lado B2.
- 19.- Reductor de bobinadora.
- 20.- Placa de expulsión de bobinas lado B2.
- 21.- Soporte móvil lado B2.
- 22.- Bobinadoras para papel (2) lado B2.
- 23.- Carro de desplazamiento de las bobinas lado B2.
- 24.- Puesto de descarga de las bobinas lado B2.
- 25.- Bobinadora lado B2.

2.2.1 DEFINICION Y DESCRIPCION DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO INMERSO EN LA CALIDAD DEL PRODUCTO.

El equipo cuya operación ésta ligada directamente con la calidad final del producto es el que se describe a continuación, no por eso significa que el resto del molino sea menos importante.

a).- SISTEMA DE APRIETE.

El sistema de apriete está diseñado para mantener un esfuerzo de laminación constante. El esfuerzo de apriete del molino se efectúa mediante dos pistones hidráulicos de doble efecto situados uno a cada extremo del rodillo de trabajo, accionados hidráulicamente en el sentido de apriete y mediante aire en el sentido de aflojamiento de los rodillos de trabajo. La velocidad de aflojamiento es de 2 mm/seg.

Cada pistón hidráulico está alimentado por un circuito hidráulico independiente con una presión nominal de $200 \times 10^5 \text{ Pa}$ y un gasto de 54 l/mín. La presión en el circuito se controla mediante una servoválvula, controlada eléctricamente para asegurarse que mantenga una presión constante en el pistón.

La medición de la fuerza (en toneladas) se efectúa mediante dos manómetros situados en cada pistón de apriete. La presión se establece al tocar a la banda los rodillos de trabajo y a partir de que la fuerza excede 120 ton.

La posición (altura) de los pistones se controla regulando la presión, suministrando una referencia de presión, proporcional a la diferencia entre la posición real y la referencia de posición. Para esto el molino tiene instalados cuatro manómetros por cada pistón.

Cada pistón tiene un diámetro de 619.5 mm, carrera total de 110 mm y 105 mm de carrera útil, cuando los cilindros están gastados. Cuando están nuevos, la carrera total es de 95 mm y la carrera útil de 85 mm como máximo.

b).- SISTEMA DE CONFORMACION.

Está diseñado para ayudar a proporcionar planitud a la banda laminada disminuyendo la flexión de los rodillos de trabajo al momento de estar laminando. Por lo que permite tener una variación en la corona de los rodillos en cada instante.

La fuerza de conformación es proporcionada por 4 pistones (dos por lado) de doble vástago. Los dos pistones correspondientes a cada chumacera están alimentados por un circuito hidráulico independiente. El esfuerzo en cada circuito es controlado mediante un servoregulador de esfuerzo que a su vez es controlado electrónicamente.

El circuito hidráulico tiene un esfuerzo de 200×10^5 Pa y un gasto de 27 l/min. En la alimentación de cada par de pistones va montada una válvula eléctrica de 2 posiciones. En una posición los pistones están alimentados (en servicio) y en la otra posición las alimentaciones están invertidas (fuera de servicio).

c).- BOBINADORA-DESBOBINADORA COMBINADA LADO B1.

Este componente consta del mandril y el soporte móvil.

1).- MANDRIL. Puede funcionar de dos maneras: como desbobinadora durante la primera pasada, ó en bobinadora durante las pasadas siguientes. Esto se logra mediante un pistón hidráulico rotativo de doble expansión, lo que asegura que el diámetro del mandril pueda ser de 610 mm para bobinar y de 630 mm para desbobinar y de 580 en contracción.

Características principales:

Velocidad lineal: 500 m/min.

Tracción: 1 tonelada mínimo, 12 toneladas máximo.

La tracción sobre la banda se logra frenando automáticamente el mandril hasta obtener en la carátula del molino la tensión deseada.

Funcionamiento: Una vez que el rollo ha sido colocado en el mandril, se expande éste a un diámetro de 630 mm para apretar el rollo y así se lamina el rollo. También se puede contraer el diámetro a 610 mm y volver a reapretar si el proceso lo necesita.

2).- SOPORTE MOVIL. Para poder meter el rollo en el mandril se debe tener un lado libre o sea un apoyo del mandril retractable, y esto se logra solo con un soporte móvil. Este es retirado al meter el rollo y colocado una vez que el rollo ha sido metido.

d).- BOBINADORA LADO B2.

La diferencia de ésta con la bobinadora-desbobinadora lado B1, es que la bobinadora B2 solo puede ser usada como bobinadora, a causa de que el pistón hidráulico que efectúa la expansión del mandril es de una sola carrera. Esta también es la razón por la que solo se debe iniciar la operación de laminado por el lado B1.

El mandril del lado B2 tiene un diámetro máximo en expansión de 610 mm, y en contracción un diámetro mínimo de 580 mm.

El soporte móvil es igual en su funcionamiento que el del lado B1.

e).- RODILLO DEFLECTOR.

Es un rodillo recubierto de hypalón con una dureza de 85-90 Shore A, tiene un diámetro de 400 mm y una longitud efectiva de 1400 mm, y existe uno a cada lado de los rodillos de laminación.

Es este uno de los rodillos más importantes, ya que con él se mide el alargamiento que sufre el material al ser laminado.

La medición de la elongación se obtiene al medir la diferencia entre una cierta longitud de material a la entrada de los rodillos de laminación y la longitud correspondiente a la salida. La elongación se obtiene internamente en los circuitos del molino, de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$A\% = ((L2 - L1) / L1) (100) \quad (*)$$

Donde:

L2 es la longitud de la banda a la salida de los rodillos de laminación.

L1 es la longitud de la banda a la entrada de los rodillos de laminación.

Para efectuar la medida de ésta longitud, los rodillos deflectores al estar girando emiten impulsos eléctricos en cada vuelta, y se comparan los impulsos entre los dos rodillos, la longitud medida es alrededor de 15 mts, y el valor de la elongación se obtiene permanentemente en los pupitres de control.

f).- RODILLO ANTIDOBLEZ.

Son rodillos que giran libremente, los cuales tienen un diámetro de 200 mm y una longitud efectiva de 1440 mm, están recubiertos de Hypalón con una dureza de 85-90 Shore A.

Se tiene un rodillo a cada lado de los rodillos de laminación y estos se elevan y descienden hidráulicamente.

El propósito de este rodillo es ayudar a darle una mejor planitud a la banda después de que esta pasa por los rodillos laminadores y se utiliza en el último pase.

El rodillo antidobleza lado B2 sera utilizado cuando la banda que se este laminando vaya del lado B1 a el lado B2, y el rodillo del lado B1 cuando pase lo contrario.

En este último caso, solo si la banda se lamina con pase par.

Los rodillos no se pueden utilizar al mismo tiempo. Se deben de retirar antes de que la banda termine de procesarse. Una o dos espiras antes.

g).- PULIDORES DE LOS RODILLOS DE LAMINACION.

Se encuentran localizados del lado B2 de los rodillos de laminación, y existe un pulidor para cada rodillo.

Estan instalados en la parte superior e inferior de los rodillos de laminación, superior e inferior respectivamente.

(*) A. Higgins Raymond.

**Ingeniería Metalurgica Tomo I
Edit. C.E.C.S.A**

El sistema de limpiado esta formado por un dispositivo de acero al que se le recubre, primero, por un lado con 15 capas de polipad unido con pegamento y enseguida con 8 ó 10 capas de malla abrasiva grano 600-800. El conjunto es montado a un soporte articulado tambien de acero.

Los pulidores tienen tres movimientos, el de avance, retroceso y el de traslación que barre 1400 mm y que limpia los rodillos. El movimiento de avance y retroceso es para acercar el soporte a los rodillos.

El sistema de limpiado esta diseñado para que entre en funcionamiento automáticamente cuando el molino alcanza una velocidad de 40 m/min.

El pulidor se cambia cuando el abrasivo de la malla se termina.

h).- SISTEMA DE LIMPIADO DE LA BANDA.

Se encuentra un sistema a cada lado de los rodillos laminadores y sirve para limpiar la banda antes de que ésta sea laminada. El sistema consta de un cepillo de cerdas de camello y un extractor que absorbe las partículas separadas por el cepillo. El sistema tiene una capacidad de extracción de 7000 m³/hr, y una depresión de 700 mm CA (columna de agua), 6.8×10^3 Mpa.

Cuando el sistema es bajado una válvula acciona el extractor y al subirlo lo apaga.

Se debe subir antes de que la banda se termine de laminar, una ó dos espiras antes.

i).- BOBINADORA DE PAPEL.

Existen dos por cada lado de los rodillos laminadores, y alcanzan una velocidad lineal de 500 m/min.

Su función es desenrollar ó enrollar el papel manteniendo una tensión constante y regulable. El papel se enrolla en estas cuando sale de las espiras del rollo, o se desenrolla cuando se intercala entre la espiras del mismo.

El uso del papel evita la formación de rayas en el material y permite aumentar las tensiones de operación con el fin de incrementar el alargamiento y disminuir el número de pases.

1).- RODILLOS DE LAMINACION.

Estos rodillos son fabricados de acero especial forjado y endurecidos superficialmente entre 95-100 Shore C.

Los rodillos tienen un diámetro nominal de 830 mm cuando están nuevos y un mínimo de 790 mm cuando están desgastados. Tienen una longitud de trabajo 1500 mm y una longitud total de 5330 mm.

Estos rodillos de laminación tienen la particularidad de estar rectificadas en una forma convexa. Lo anterior significa que el diámetro en el centro del rodillo es ligeramente superior al diámetro de los extremos. Como se ve en la figura 2.3

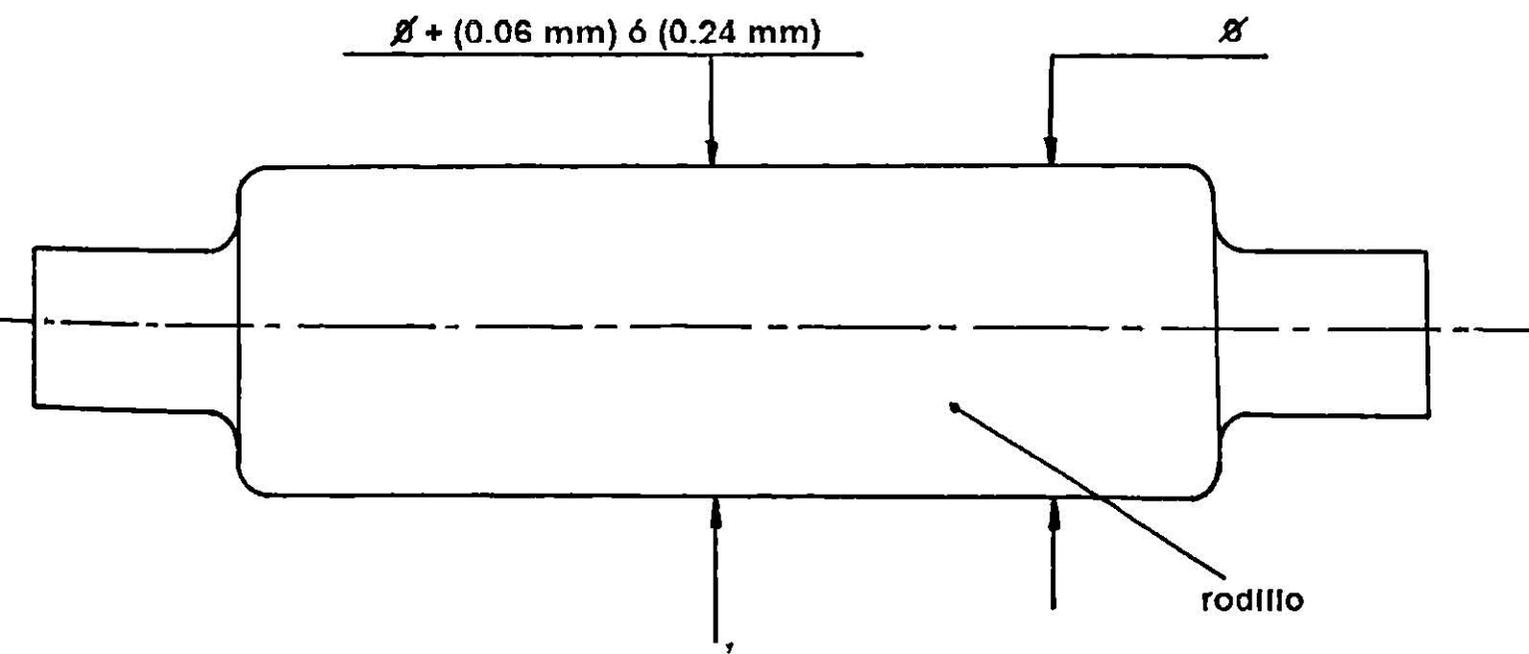


Fig. 2.3 Rodillos de laminación.

Lo anterior tiene como fin compensar la flexión de los rodillos y lograr que la banda se adapte a su perfil, con el propósito de mejorar la planitud de ésta, como se ve en la figura 2.4.

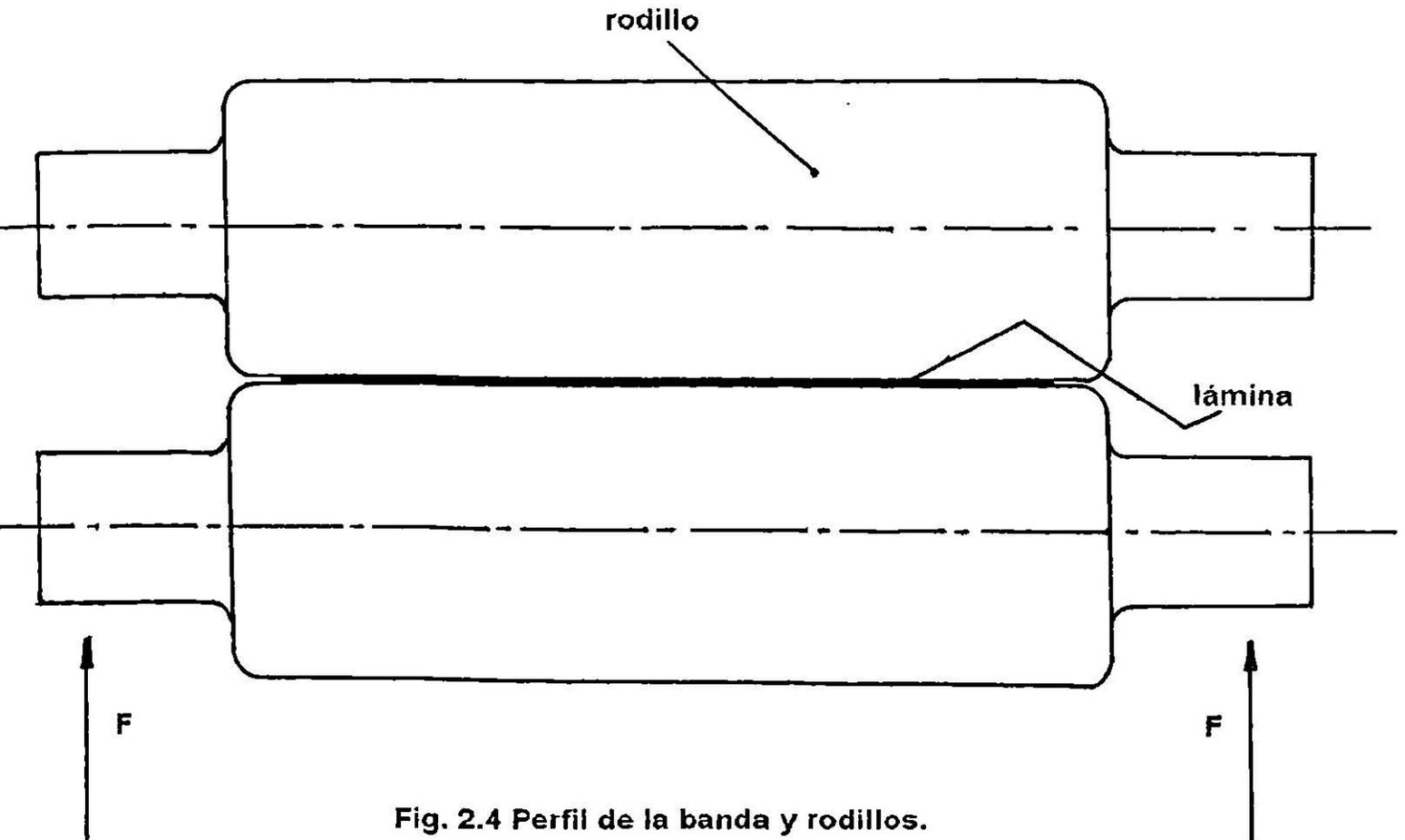


Fig. 2.4 Perfil de la banda y rodillos.

La rectificación recibe el nombre de corona, y se tienen dos tipos de rectificaciones (coronas) de acuerdo al espesor a laminar:

CORONA 24/100 (0.24 mm) O MONTAJE II.

CORONA 6/100 (0.06 mm) O MONTAJE I.

Los valores de 0.24 mm y 0.06 mm, es la diferencia que existe entre el diámetro del centro del rodillo y el del extremo, para cada tipo de montaje respectivamente.

Se usa el montaje II (mayor diámetro al centro) para espesores delgados (abajo de 0.85 mm) porque para lograr deformarlos se requieren mayor fuerza de apriete y por lo tanto el rodillo se flexiona más y viceversa.

La rectificación convexa se realiza en una máquina especial para este propósito.

Los rodillos además son rectificadas a acabado espejo (rugosidad de 0.025μ) con el fin de que éste sea impreso a la banda por los esfuerzos de laminación.

2.3 OPERACION DEL MOLINO.

El proceso de laminación se inicia desde el momento que se recibe la orden de laminación para determinado material.

La operación del molino inicia una vez que la bobina ha sido colocada y centrada en el mandril lado B1 por el carro de desplazamiento de bobinas, después de esto se procede a los siguientes pasos:

- a).- Se expande el mandril a 630 mm.
- b).- Se mete el soporte móvil.
- c).- Se baja el carro de desplazamiento de bobina a su posición original.
- d).- Se mete la placa de embadolsado, que funciona como piso móvil.
- e).- Se gira el rollo hasta que su punta este en la parte superior de la bobina.
- f).- Se sube la mesa de entrada y se acerca hasta el rollo y se baja el rodillo de presión del rollo.
- g).- Se desfleja el rollo y se meten las mesas del castillo del molino.
- h).- Se gira la bobinadora para impulsar la punta de la banda hasta el mandril B2
- i).- Se coloca una tabla para proteger el rodillo superior.
- j).- Se sube la mesa de salida a tope con el mandril B2.
- k).- Se engancha y se centra la banda, se expande el mandril B2 y se baja la mesa de entrada.
- l).- Se giran ambas bobinadoras hasta completar una vuelta en bobinadora B2.
- m).- Se sube el rodillo rompe-espigas para aplanar la parte de la banda que entra a la pinza de B2 y evitar fracturas.

Para esto también se le golpea con un marro sobre la pinza a todo lo ancho de la banda con el fin de eliminarle hasta donde sea posible esta protuberancia.

Una vez enganchado el rollo se procede a los siguientes pasos:

- a).- Se baja el rodillo rompe-espigas, la mesa de salida, se saca la tabla de protección de los rodillos, y se retiran las mesas del castillo.
- b).- Se levanta el rodillo de presión de bobina lado B1.

- c).- Se sopletea con aire el cepillo del extractor lado B1.
- d).- Se pone en servicio el pistón, de apriete.
- e).- Se conectan tracciones.
- f).- Se Incrementa el esfuerzo de apriete y el de conformación para apretar el rollo.
- g).- Se aprieta el rollo expandiendo el mandril a 630 mm. Posteriormente se cierra a 610 mm y se vuelve a reapretar, esto último es opcional.
- h).- Se limpian los rodillos de laminación con tela y solvente.
- i).- Se seleccionan tracciones adecuadas al espesor.
- j).- Se inicia el primer pase, se coloca el papel que trae la banda en la bobinadora de papel lado B1, en el lado B2 se coloca papel intercalado a la bobina.
- k).- Se regula el esfuerzo de apriete de acuerdo al espesor del material a laminar.
- l).- Se hace una Inspección visual de la banda y el esfuerzo de conformación se aplica a criterio del operador.
- m).- Se incrementa la velocidad al molino dependiendo del espesor a laminar.

Al finalizar el pase solo se invierte el sentido de giro.

Al finalizar la laminación se procede a lo siguiente:

- a).- Se disminuyen los esfuerzos de laminación al mínimo.
- b).- Se desconectan tracciones, apriete y conformación, con esto se abren los rodillos de trabajo.
- c).- Se baja el rodillo de presión del rollo lado B2.
- d).- Se mete tabla de protección de los rodillos de trabajo, y las mesas del castillo.
- e).- Se giran simultáneamente las bobinadoras hasta que la banda se desenganche de la bobinadora lado B1 y la cola llegue a la altura del carro lado B2.
- f).- Se coloca cartón en el rollo para proteger a la bobina del flejado.
- g).- Se acerca el carro de desplazamiento de rollos lado B2 hasta abajo del rollo.
- h).- Se quita el embaldosado y el soporte móvil lado B2.
- i).- Se contrae el mandril y se saca el carro con la bobina.

Si el espesor que se lamina es menor a 0.45 mm, se coloca forro de acero, una vez cortada la punta.

CAPITULO 3

EL PROCESO DE LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

3.1 FINALIDAD DE LA LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

Los objetivos a lograr por medio de ello son, los siguientes:

a).- **Eliminar la extensión del límite elástico aparente (deformación de LUDERS) en el material recocido, con el fin de evitar la aparición de líneas de deformación en los procesos siguientes a que se somete el material (estirado, doblado etc.).**

b).- **Corregir defectos de planitud procedentes del proceso de laminación en frío.**

c).- **Dar las características de acabado superficial a la lámina en términos de brillantez.**

d).- **Obtener las propiedades mecánicas deseadas (límite elástico, dureza y % de alargamiento).**

Los 3 primeros, por ser los más importantes, son a los que se hará referencia en este trabajo: eliminar la extensión del límite elástico aparente, corregir planitud y, proporcionar abrillantado. Estos objetivos se realizan en conjunto al laminar el material y, una vez alcanzados permiten obtener las características de calidad tanto de propiedades mecánicas así como de aspecto superficial solicitadas por los clientes.

Todos los productos que son laminados superficialmente en frío vienen en la presentación de bobinas.

El laminado superficial en frío es efectuado en seco (sin lubricante) para que la superficie de la banda procesada no se contamine (opaque) con aceite por los altos esfuerzos a que se somete, ó sea que permanezca sin contaminar y lista para procesos posteriores.

3.2 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL PARA EL LAMINADO SUPERFICIAL.

El material antes de llegar al molino debe de pasar por una serie de procesos inmediatos tales como el recocido y decapado, que le darán determinadas características que lo harán apto para el proceso de laminación superficial en frío. Dichas características son las siguientes:

PROPIEDADES MECANICAS:

- a) Límite Elástico: 320-350 Mpa.
- b) Dureza: 74-76 HRB
- c) Alargamiento: 30-32 %

3.3 CARACTERISTICAS DEL MATERIAL DESPUES DEL LAMINADO SUPERFICIAL

Las características que adquiere el material una vez laminado, son el resultado del proceso de laminación superficial al que fué sometido en el molino. Dichas características deben de estar de acuerdo a las necesidades del cliente.

Los valores máximos de estas se presentan a continuación.

a).- PROPIEDADES MECANICAS:

- a) Límite Elástico: 205 Mpa Min.
- b) Dureza: 89 HRB Max.
- c) Alargamiento: 22 % Min.

b).- PLANITUD:

El valor de la planitud se especifica de la forma siguiente en (mm):

LONGITUD NORMAL	ESPEJOR	ALT. MAX. DE ONDULACION
2438	<0.80	9
2438	0.81-1.50	12
2438	>1.50	15

c).- ARCO LATERAL:

El valor del arco lateral se especifica como sigue en (mm):

LONG. NORMAL	ANCHO DE BANDA	ALT. MAX. DE ONDULACION
2438	<38.1	12.7
2438	38.1-609	6.35
2438	609-914	3.18
2438	914-1325	2.38

3.4 ELIMINACION DE LA EXTENSION DEL LIMITE ELASTICO APARENTE.

El acero al salir de la línea de recocido y decapado presenta en su gráfica esfuerzo-deformación, un punto superior que es, el esfuerzo de cedencia superior y una parte plana inferior a la que se le llama extensión del límite elástico aparente que no es otra cosa que una excesiva deformación sin aumento de carga como se ve en la figura 3.1.

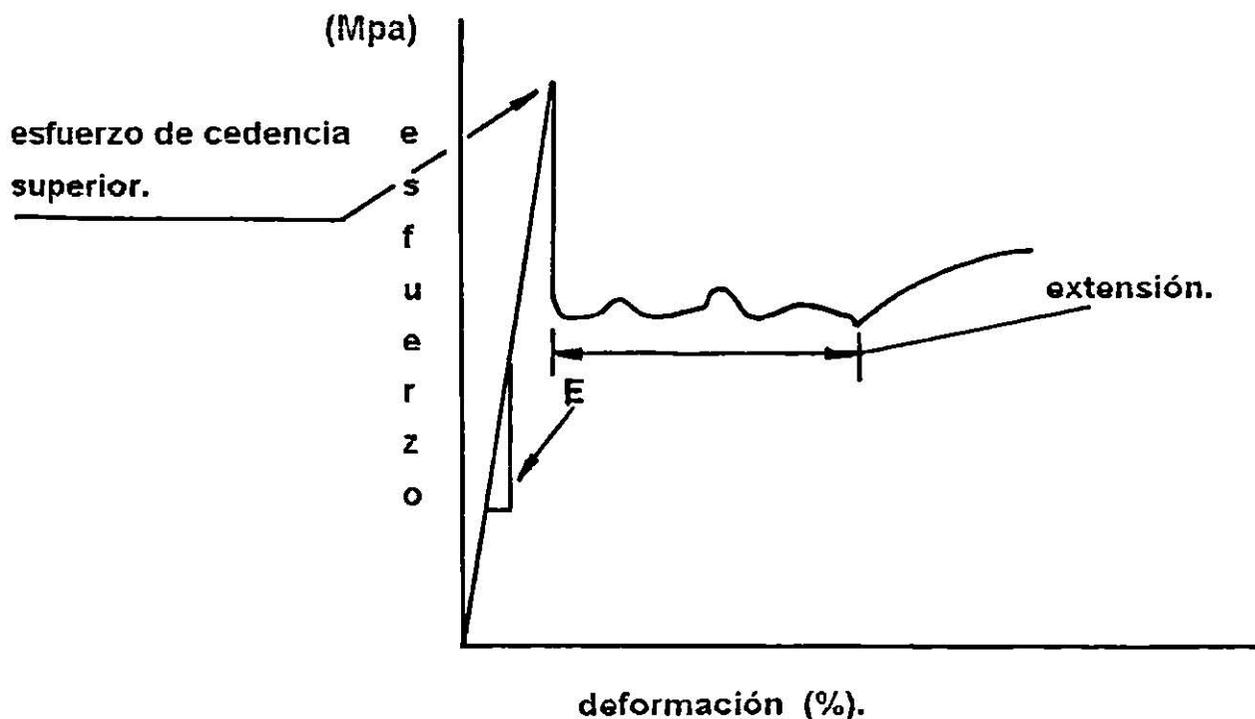


Fig.3.1 El diagrama esfuerzo-deformación.

Es importante notar que la región elástica (σ_y) en la gráfica es sobrepasada y

que la deformación repentina ocurre en la región plástica, por lo que la ley de Hooke (el esfuerzo es proporcional a la deformación) no es válido.

Como resultado de esta extensión, los materiales presentan el defecto llamado, líneas de deformación cuando el material es deformado posteriormente, lo que a su vez da origen a defectos superficiales conocidos como marcas de deformación (stretcher-strains). Este es un defecto de calidad en piezas deformadas (estirado, doblado, troquelado, etc.), especialmente cuando estas piezas sean recubiertas o cuando las superficies sean expuestas al exterior, como por ejemplo en artículos para cocina, cubiertas de edificios etc.

Para poder eliminar esta extensión el material es sometido a una determinada deformación (reducción de área) que debe de ser tan bajo como sea posible para evitar el incremento de las propiedades mecánicas Iniciales del material.

Bajo estas condiciones el límite elástico convencional, llamado solo límite elástico después de que el material ha sido deformado, es definido como el esfuerzo correspondiente a una cierta deformación como 0.1% ó 0.2% de la longitud estandar de prueba como se ve en la figura 3.2. Esta deformación se conoce como Método del Desplazamiento (Offset).

Lo importante, es el efecto que tiene, sobre las propiedades mecánicas el eliminar dicha extensión. Por lo tanto, las fuerzas y relaciones geométricas que intervienen en la laminación superficial solo serán mencionadas brevemente.

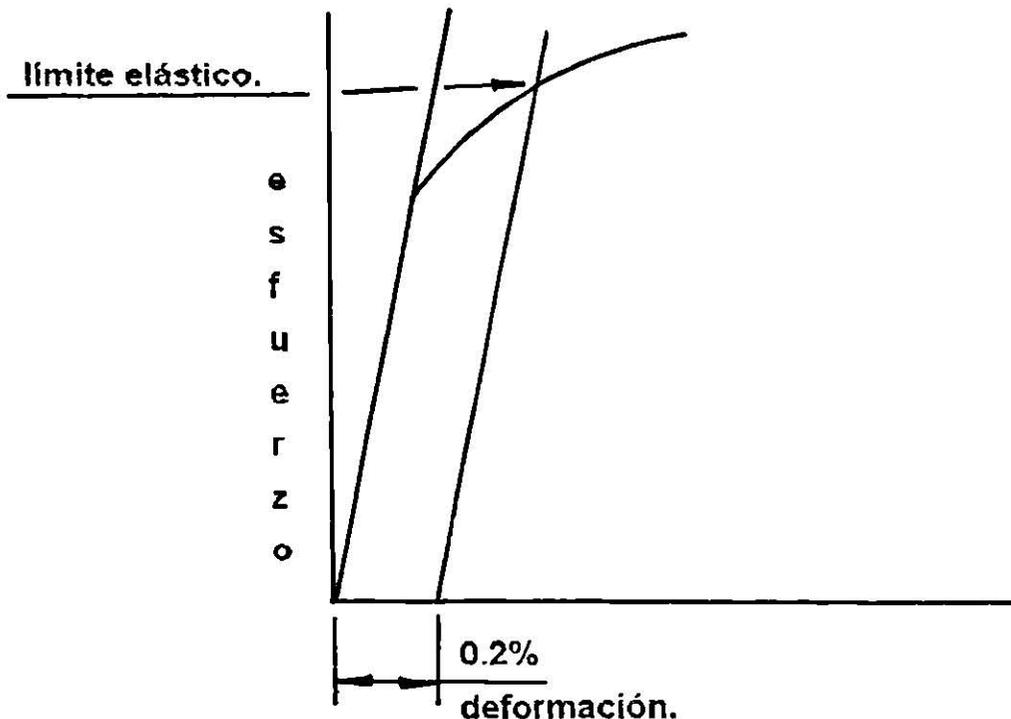


Fig. 3.2 Método Offset para determinar el límite elástico.

3.4.1 FUERZAS Y RELACIONES GEOMETRICAS QUE INTERVIENEN EN LA LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

Para lograr deformar el material este es sometido a los siguientes esfuerzos:

a).- Esfuerzo de Compresión. Este esfuerzo es proporcionado por los rodillos de laminación a todo lo ancho de la banda.

b).- Esfuerzo de Tracción. Este esfuerzo es proporcionado por los dos mandriles enrollador y desenrollador y es aplicado antes y después de los rodillos.

Como se vió antes, el material a procesarse tiene la forma de bobinas las cuales presentan espesor, ancho y longitud determinada por los procesos anteriores que, es necesario darle una velocidad de alimentación para poder procesarla en su totalidad en el molino. Ver figura 3.3.

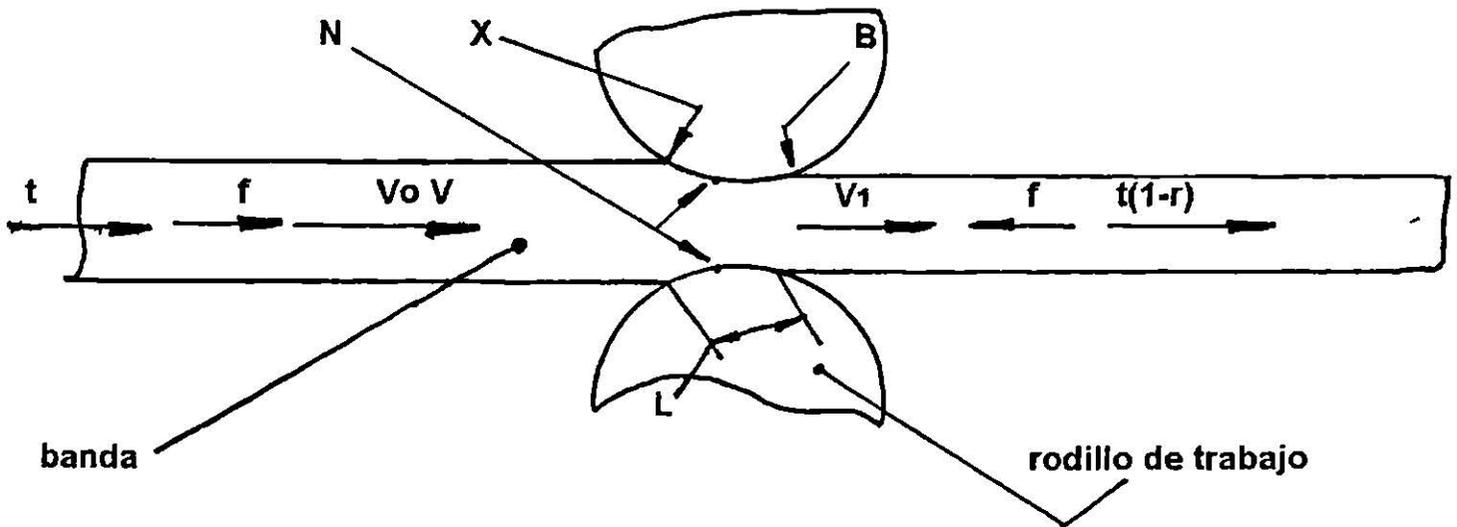


Fig. 3.3 Condiciones de la banda entre los rodillos.

Donde:

N- punto neutro.

B- punto de salida de la banda de los rodillos.

X- punto de entrada de la banda a los rodillos.

L- longitud del arco de contacto de la banda y los rodillos.

t- espesor de la banda al entrar a los rodillos.

t(1-r)- espesor de la banda a la salida de los rodillos.

f- fuerza de fricción entre banda y rodillos.

Vo-velocidad de la banda a la entrada a los rodillos, m/mín.

V1- velocidad de la banda a la salida de los rodillos, m/min.

r- razón de reducción en porcentaje.

m- coeficiente de fricción para laminado superficial en seco, cuyo valor es de 0.30.

(*)

V-velocidad en el punto neutro, m/min.

En la anterior figura se asume lo siguiente:

a)- Que el incremento en el ancho de la banda es despreciable comparado con el incremento en la longitud.

b)- Que el punto neutro esta situado cerca de la parte intermedia del arco de contacto.

c)- Que el arco de contacto es de radio infinito por lo que se considera recto.

d)- Que los rodillos son indeformables.

El flujo del material a la entrada de los rodillos debe ser igual al de la salida de los mismos.

En consecuencia:

$$A_oV_o = AV = A_1V_1 \quad (*)$$

Donde :

AoVo son el área y la velocidad a la entrada del arco de contacto.

AV son el área y la velocidad en el punto neutro.

A1V1 son el área y la velocidad a la salida del arco de contacto.

Para satisfacer la ecuación anterior, la velocidad de salida V1 deberá ser más grande que la velocidad de entrada, y por lo tanto la velocidad de la banda al deformarse se incrementará uniformemente de la entrada a la salida de los rodillos, ó bien que, de la entrada del rodillo al punto neutro la banda se mueve más lento que el rodillo y, del punto neutro a la salida esta se mueve más rápido que el rodillo.

Así también la fuerza de fricción f actúa de la entrada de los rodillos al punto neutro en la dirección del laminado y, del punto neutro a la salida en dirección opuesta. Porque es en el punto neutro donde cambia la velocidad relativa entre la superficie del rodillo y la de la banda.

La fuerza de fricción es de gran importancia debido a que facilita el deformado del material y además como se vio antes, el laminado se lleva a cabo sin lubricante

alguno, por lo tanto el coeficiente se incrementa.

Además de la fuerza de fricción, el hecho de que la deformación sea plástica, hace necesario recurrir a otras formas de solución para calcular las deformaciones sufridas por el material. Dichas soluciones son modelos matemáticos desarrollados en el laboratorio por lo que en la práctica solo sirven como referencia.

Los 4 parámetros más importantes inmersos en el modelo a estudiar son:

a)- La razón de la deformación promedio experimentada por la banda bajo la zona de deformación en la mordedura del rodillo en seg-1.

b)- El esfuerzo de compresión a el plano de la banda, requerido para plásticamente deformar el material a esta razón de deformación.

c)- La tensión promedio que experimenta la banda en la mordedura del rodillo.

d)- El coeficiente de fricción para el laminado superficial en seco existente entre la banda y los rodillos.

De acuerdo a la figura 3.3, la longitud del arco de contacto está dada por:

$$L=1/2((D_{rm}/2)+ \sqrt{(D_{rm}/2) +2D_{tr}}). \quad (*)$$

Donde :

D- es el radio promedio de los rodillos de laminación en mm

La razón de la deformación promedio en seg-1 ésta dada por:

$$e=2V/Dm \quad (*)$$

Donde :

V - es la velocidad de laminado (del molino) en mm/seg.

La mínima presión de rolado requerida para deformar el material ésta dada por la siguiente expresión:

$$G_p= 1.15(G_t+a (\log_{10}(1000))(e))-(S_1+S_2)/2 \quad (**)$$

Donde:

G_t- es el límite elástico del material a la salida de la línea de recocido, medido a muy baja deformación (0.1 ó 0.2%).

a- es un factor teórico de la razón de deformación por cada décima, su valor es aproximadamente 0.051 Mpa. (*)

Asumiendo que el punto neutro se encuentra cerca del punto medio de la

región de contacto, la fuerza específica de rolado ó fuerza por unidad de ancho de la banda, en N/mm es expresada por :

$$f = \frac{G_p(t)(1-r)}{m(\exp((mL)/((t)(1-r)))-1)}. \quad (***)$$

Por lo que el esfuerzo aplicado a lo ancho de la banda se representa como:

$$G = f(N/mm)/a(mm). \quad (**)$$

Lo anterior es el comportamiento teórico del material bajo las cargas de deformación, a las que es sometido. Pero en realidad es difícil calcular con precisión las deformaciones debido a que estas ocurren en la región plástica representada en una gráfica esfuerzo-deformación. Ver figura 3.1. Después de la región elástica el material no tiene un comportamiento predecible en su deformación y cede repentinamente sin aumento apreciable de la carga aplicada.

Además de lo anterior, por las necesidades de producción se tiene una amplia gama de espesores y anchos, que hace necesario el establecimiento de un rango definido y práctico de los parámetros de operación a obtenerse (esfuerzos de apriete, esfuerzo de tensión y % de alargamiento).

Con el fin de conocer el % de alargamiento mínimo necesario para suprimir la extensión del límite elástico aparente y por consecuencia eliminar el defecto de Líneas de Deformación, se obtuvieron pruebas de tensión de todos los espesores nominales, que se procesan en la línea de recocido y decapado.

Las probetas utilizadas en las pruebas son las estandarizadas por Norma ASTM A 370 con una longitud de prueba de 50 mm. Ver figura 3.4.

REFERENCIAS:

(*) William L. Roberts.
TEMPER ROLLING.
Pagina 802 Cap. 24
FLAT PROCESSING OF STEEL.
Edit. DEKKER U.S.A.

(**) William L. Roberts.
AN APPROXIMATE THEORY OF TEMPER ROLLING.
Pagina 537 Cap. 9.
COLD ROLLING OF STEEL.
Edit. DEKKER U.S.A.

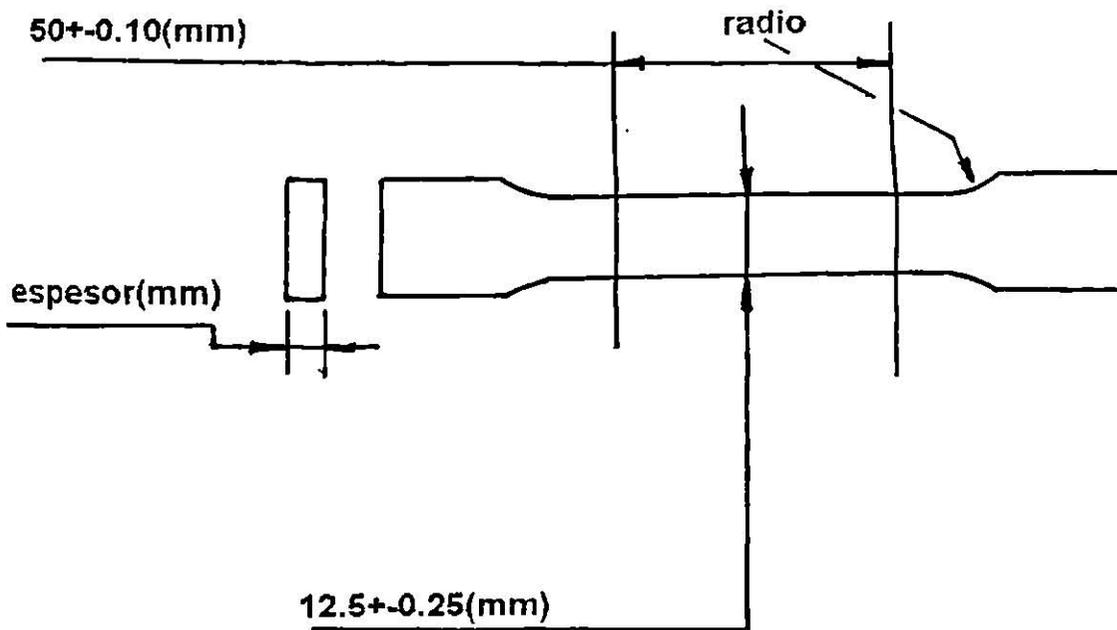


Fig. 3.4. Probeta Estandarizada para Pruebas de Tensión Norma ASTM A 370.

Los resultados obtenidos se presentan en la gráfica 3.1.

Se observa que el alargamiento varía entre 0.10 y 0.41 % para todos los espesores. Por lo que este deberá ser el rango mínimo a obtener en el molino al laminar el material. Se debe tener en cuenta que el porcentaje de alargamiento es solo el suficiente para eliminar la extensión del límite elástico aparente, pero no necesariamente el suficiente, para eliminar hasta la tolerancia permitida, las ondulaciones que presente el material y obtener el aspecto superficial adecuado por lo que este valor podrá incrementarse a criterio del operador.

3.5 PLANITUD.

Se define planitud como la diferencia en longitud de las fibras de la banda (bandas con un ancho unitario) a todo lo ancho de la misma. Lo que provoca que entre mayor sea la diferencia de longitud entre ellas, mayor será el ondulado y viceversa.

La planitud no se debe confundir con el perfil de la banda. El perfil se define como la variación del espesor a lo ancho de la banda, por lo tanto no tienen relación entre sí.

Se puede tener una buena distribución de la longitud de las fibras de la banda (banda plana) y una mala distribución del espesor y viceversa.

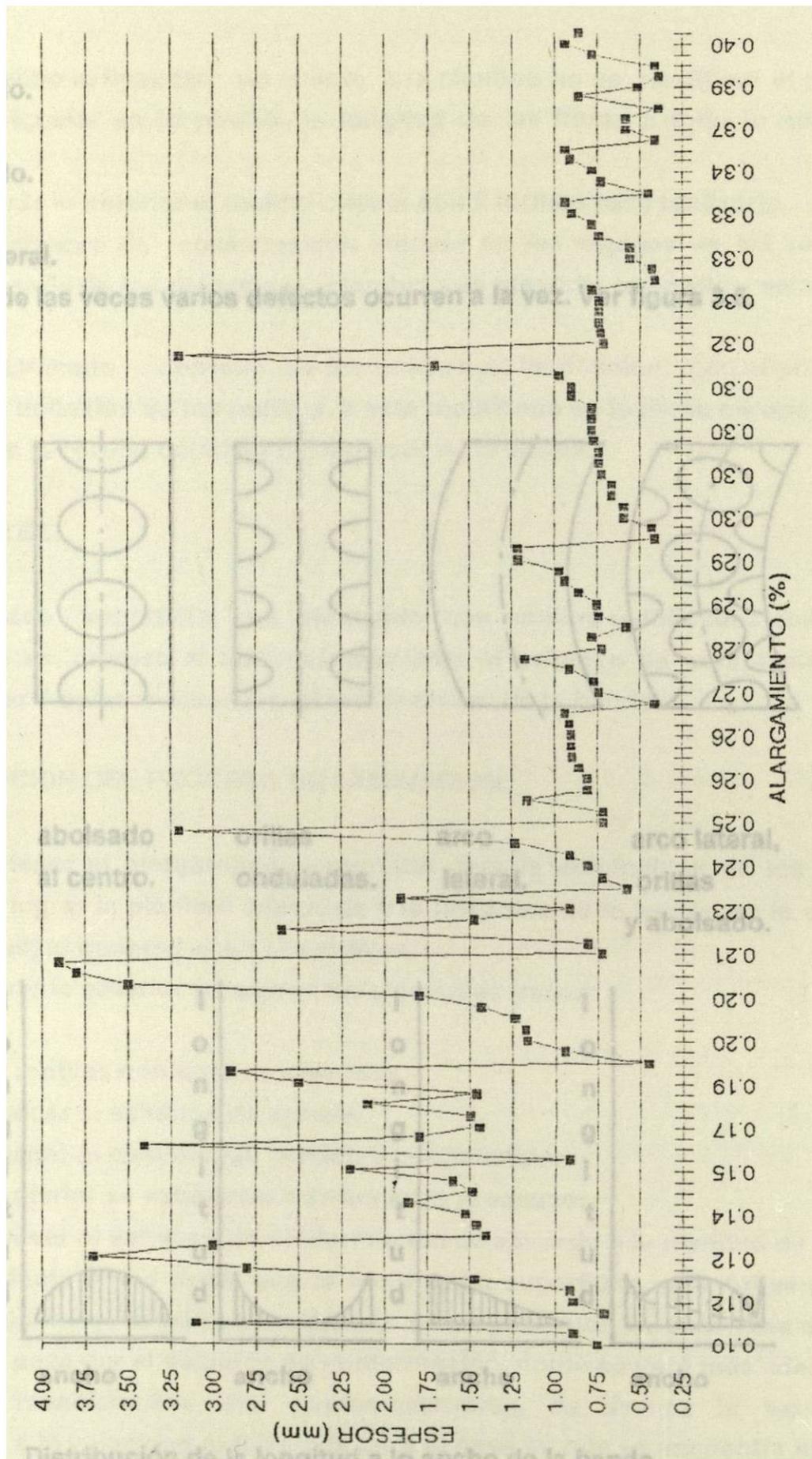
El perfil final deseado se obtiene en la laminación en caliente y, la planitud es una de las finalidades de la laminación superficial en frío.

El laminado en frío con altas reducciones (hasta 90%), también afecta la forma original si la operación no es realizada correctamente.

En el laminado superficial se inducen en el material esfuerzos residuales al material que pueden ser perjudiciales en las operaciones siguientes de corte a longitud o con el desarrollo de (camber) arqueado lateral de la banda en corte múltiple (se corta un ancho inicial, en un ancho menor). Es por tanto muy importante que el material llegue de los procesos anteriores de laminado en frío y recocido lo más plano posible.

Existen varios defectos de planitud en la banda; pero los más comunes son los siguientes:

- a)- Orilla u orillas onduladas.



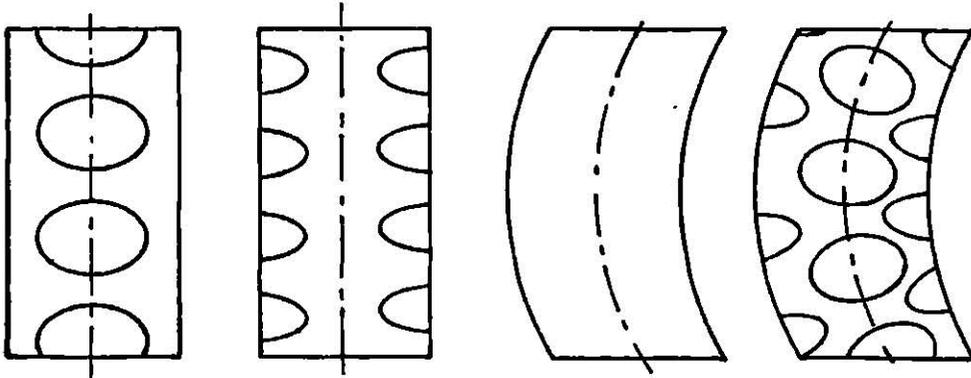
Graf 3.1 Alargamiento mínimo para eliminar líneas de deformación.

b)- Abolsado.

c)- Combado.

d)- Arco lateral.

Algunas de las veces varios defectos ocurren a la vez. Ver figura 3.5.

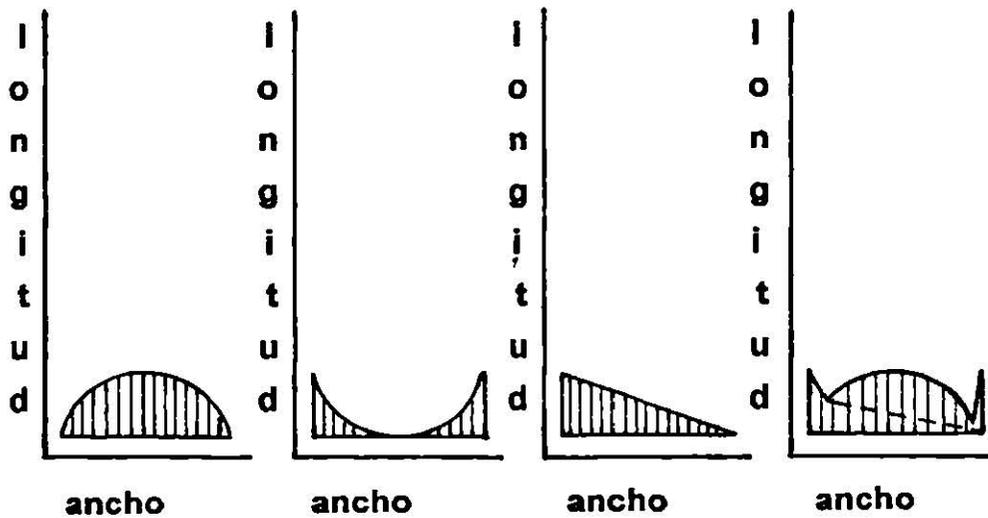


abolsado
al centro.

orillas
onduladas.

arco
lateral.

arco lateral,
orillas
y abolsado.



Distribución de la longitud a lo ancho de la banda.

Fig. 3.5 Defectos comunes de planitud.

En el molino la finalidad en cuanto a la planitud no es modificar el perfil de la banda, si no igualar en lo posible la longitud de las fibras a todo lo ancho de la misma.

Para lograr lo anterior el molino cuenta con 2 formas para realizarlo.

a)- Un esfuerzo de conformación situado en las espigas de los rodillos. Su magnitud depende de los defectos de planitud que presente la banda y será a criterio del operador.

b)- Un rectificado convexo de los rodillos de laminacion, con el proposito de compensar la deflexión de los rodillos, a este rectificado se le llama corona.

El uso de la corona depende del espesor de la banda.

3.6 BRILLANTEZ.

El laminado superficial es efectuado con rodillos rectificadas con acabado espejo y este es impreso al material, mediante el esfuerzo de compresion, por el efecto de alisar ó apianar todas las microasperezas de la banda.

3.7 DESCRIPCION DEL PROCESO DE LAMINACION.

Para obtener el alargamiento requerido para la eliminación de las líneas de deformación, lograr la planitud adecuada y la brillantez de la banda, se le dán varios pases (pasadas) al material entre los rodillos.

Para lograr lo anterior se siguen los siguientes pasos:

a)- Tener rodillos con corona adecuada.

b)- Establecer el esfuerzo de apriete.

c)- Establecer el esfuerzo de tensión y contratensión.

Todo lo anterior se establecerá de acuerdo al espesor.

d)- Establecer el esfuerzo de conformación de acuerdo a la planitud de la banda.

Es importante hacer notar que la laminación superficial, esta influenciada del primer al penúltimo pase (si se trata de más de un pase) por los esfuerzos de apriete, y en el último pase por el esfuerzo de conformación, como se verá más adelante.

Una vez mencionados los puntos anteriores, se avanza la banda hacia la bobinadora a la velocidad establecida para el pase en que se encuentre el proceso.

Al someter al material a esfuerzos de compresión, y tensión y a una cierta

velocidad se obtiene una cantidad de alargamiento por cada pase, que sumados dan el alargamiento total requerido.

Los esfuerzos elástico recuperables (de conformación) son despreciables excepto, en el último pase, que es cuando la banda obtiene la planitud adecuada.

3.8 CONSIDERACIONES ADICIONALES.

a)- En el primer pase, se corre la banda a la mínima velocidad que permita detectar y evitar defectos en la misma y que pueden ocasionar defectos posteriores y daños a los rodillos. El molino se detiene si es necesario para enrollar el papel intercalario si viene fraccionado y/o eliminar defectos.

El papel sirve para evitar que el material se raye entre las espiras como se vio en el capítulo 2.

También al final de cada pase se cambian los pulidores, con el fin de evitar que el polvo que se acumule en ellos dañe la banda.

b)- En los siguientes pases el laminado es continuo y a velocidad más alta.

c)- Es hasta el último pase que se eliminan a la banda las ondulaciones con el fin de obtener una banda lo más plana posible.

La revisión de las ondulaciones se hace visual con la banda tendida, sin tensiones y por el lado de la bobinadora B2. El operador aplica el esfuerzo de conformación a criterio de acuerdo a la posición y magnitud de las ondulaciones. A continuación se corren entre 3 y 4 espiras y se vuelve a revisar. La revisión se realiza las veces que sea necesario hasta asegurar una planitud aceptable.

Para obtener la planitud se pone en operación en el último pase, el rodillo antidoblez.

Los defectos de planitud que presenta la banda, hasta antes del último pase (si son más de uno), se pueden corregir como sigue, tomando en consideración que las ondulaciones son a causa de las diferencias de longitud entre las fibras de la banda:

1)- Bandas con orillas onduladas.

En este caso es necesario alargar más el centro que las orillas, para esto es necesario una corona mayor, ya que así el esfuerzo de apriete es mayor en el centro, para lograr tener una corona mayor se puede disminuir el esfuerzo de apriete o aumentar el esfuerzo de conformación o ambos a la vez.

2)- Banda abombada al centro.

En este caso es necesario alargar mas las orillas que el centro, para esto es necesario una corona menor, ya que así el esfuerzo es mayor en las orillas que en el centro, para obtener una corona menor se aumenta el esfuerzo de apriete o se disminuye el de conformación o ambos a la vez.

3)- Banda con una orilla ondulada y la otra plana.

En este caso es necesario elongar mas la orilla plana que la ondulada, para esto es necesario disminuir el esfuerzo de apriete en el lado de la orilla ondulada o aumentar el esfuerzo de conformación o ambos a la vez.

d)- Para eliminar protuberancias ocasionadas por el dobléz del material en la mordaza del mandril enrollador, en el material de espesores menores a 0.45 mm, se procede de la siguiente manera:

1)- Se corta la punta no laminada.

2)- Se inserta en el mandril un cilindro hueco de acero con un diámetro interior de 630 mm y espesor de pared de 6.35 mm y con un ancho un poco mayor al de la banda que se esta laminando.

3)- Se sujeta la punta de la banda al cilindro con 6 tiras de cinta adhesiva recubierta de fibra sintética y se enrollan 5 espiras a tensión mínima. Para los espesores mayores a 0.45 mm. solo se le aplana la protuberancia con pequeños golpes de martillo a lo largo de todo el mandril y se le coloca un pedazo de polipad con una longitud igual al perímetro del mandril.

3.9 ESTABLECIMIENTO DE LOS PARAMETROS DE OPERACION.

Al momento de tratar de establecer parámetros definidos de operación, para obtener el material con las características mencionadas al inicio del capítulo se observa que:

a)- Se tiene una amplia variación de los alargamientos, ver gráfica 3.1.

b)- El material presenta variación en sus propiedades mecánicas a la salida de la línea de recocido.

Por lo anterior se llevó a cabo en el molino una serie de pruebas de laminación superficial con el fin de obtener los requisitos solicitados por el cliente y establecer los parámetros de operación.

De las pruebas realizadas se obtuvieron los parámetros prácticos de operación a los que se les denominó "Consignas de Operación para la Laminación en el Molino de Laminación Superficial".

Se obtuvieron valores de esfuerzo de apriete, tensiones (tensiones y contratensiones), velocidad y el % de alargamiento resultante. Los resultados se presentan en el siguiente capítulo.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES

Como se mencionó en el capítulo anterior, se realizaron en el molino una serie de pruebas, con el fin de determinar los parámetros de operación, para laminar superficialmente el acero Inoxidable.

Los resultados de las pruebas se presentan a continuación. Es importante notar que los resultados se presentan en rangos definidos con un máximo y un mínimo, porque es con estos valores con los que se laminó la mayor parte del material probado.

4.1 PARAMETROS DE OPERACION.

Como parámetro de operación: se entienden todas aquellas condiciones que se pueden cuantificar, bajo las cuales se laminó el material para obtener los requisitos del cliente. Tales parámetros son: esfuerzos de apriete, conformación, tensiones y contratensiones (medidos en toneladas), velocidad en m/min, alargamiento medido en % y los tipos de montaje utilizados.

4.1.1 ESFUERZO DE APRIETE.

El apriete en el primer pase es variable, con el fin de eliminar los defectos que presente el material.

El número de pases deberá ser de 1 a 5 para todos los anchos y espesores.

Tomando en consideración la productividad y diseño del molino, se preferirá los pases NONES y, se laminará con pases PAR solo cuándo sea estrictamente necesario.

En el caso de no obtener con éste número de pases una planitud y/o un aspecto superficial aceptable del material, se le dará 1 ó 2 pases adicionales.

Para el esfuerzo de conformación no se obtuvieron datos definidos, a causa de que este es dependiente del esfuerzo de apriete y de los defectos que presentó el

material en procesos anteriores, como son las altas reducciones en los molinos de laminación en frío, velocidad de recocido etc. que provoca un ondulado del material.

Espesor (mm)	Apriete(tons.) Pases Intermedios	Apriete(tons.) Pase Final
<=0.30-0.60	420-520	230-300
0.51-0.70	350-520	190-390
0.71-0.90	300-460	170-340
0.91-1.20	220-360	150-220
1.21-4.0	145-280	130-210

4.1.2 VELOCIDAD DE LA BANDA.

Esta es la velocidad máxima a la cuál no se presenta vibrado de la banda, entre el mandril y los rodillos de laminación, que provocaría:

- a). Daños a los rodillos deflectores tales como pinchazos con la orilla de la banda.
- b). Marcas planas permanentes sobre la superficie del rodillo deflector que son visibles en la lámina si el rodillo dañado es el del lado de enrollado.

Además es también la velocidad que nos da la mayor productividad.

Espesor. (mm)	Velocidad Máxima. (m/min)
<=0.30-0.80	500
0.81-1.40	450
1.41-1.80	300
1.81-4.0	250

4.1.3 ESFUERZO DE TENSION Y CONTRATENSION.

Las contratensiones deberán ser mayores a las tensiones entre 1 y 3 toneladas, con el fin de evitar que a la banda se le forme el defecto de pliegue (principio de traslape del material a 45°) ocasionado por las ondulaciones de la banda a la entrada a los rodillos de laminación.

Espesor. (mm)	Tensión. (tons)	Contratensión. (tons)
<=0.30-0.40	2-5	4-7
0.41-0.50	3-6	5-8
0.51-0.60	5-7	7-9
0.61-0.80	6-8	8-10
0.81-1.20	7-9	8.5-11
1.21-1.60	8-10	9.5-12
1.61-4.0	10-12	10-12

4.1.4 ALARGAMIENTO.

El alargamiento total es el resultado de la suma del alargamiento obtenido en cada uno de los pases con los que se laminó el material.

Este a su vez es el resultado de: esfuerzo de tensión, contratensión, apriete y de la velocidad aplicados a la banda por el molino. Además es el principal criterio para definir si aparecen o no Líneas de Deformación (stretcher strains).

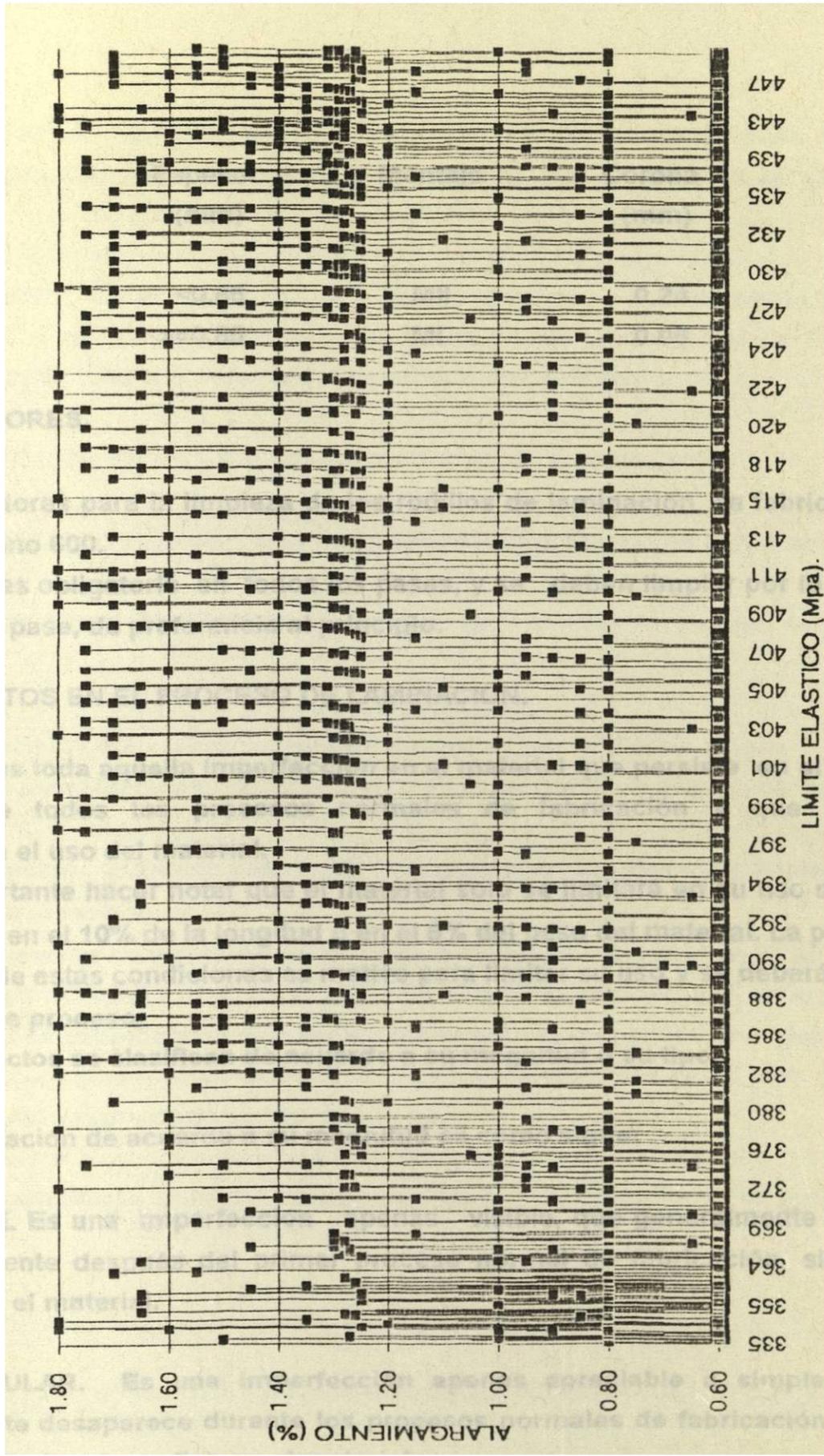
Espesor (mm)	Alargamiento. (%)
<=0.30-0.49	0.60-0.80
0.50-0.59	0.80-1.00
0.60-0.70	0.80-1.30
>0.70	1.20-1.80

En la gráfica 4.1 se muestran las propiedades mecánicas obtenidas en el acero con el anterior porcentaje de alargamiento.

Se debe tener presente que independientemente del alargamiento o el espesor, el material debe tener valores similares de Límite Elástico, que es uno de los requisitos de los clientes.

4.1.5 MONTAJES.

Los montajes utilizados para la laminación superficial en frío son los siguientes:



Graf. 4.1 Relación del Limite Elástico con el Alargamiento.

Espesor (mm)	Montaje	Corona (mm)
<0.85	MII	0.24
>=0.85	MI	0.06

4.1.6 PULIDORES.

Los pulidores para la limpieza de los rodillos de laminación, se fabrican con tela abrasiva grano 600.

Su uso es obligatorio en todos los pases, y se deben limpiar por lo menos una vez en cada pase, de preferencia al principio.

4.2 DEFECTOS EN EL PROCESO DE LAMINACION.

Defecto es toda aquella imperfección en el material que persiste en el mismo aún después de todos los procesos normales de fabricación y que limitan y/o condicionan el uso del material.

Es importante hacer notar que el material solo se limitará en su uso si el defecto se presenta en el 10% de la longitud ó en el 5% del peso del material. La presencia de cualquiera de estas condiciones es motivo para limitar su uso y se deberá cambiar la secuencia de proceso.

Los defectos se clasifican de acuerdo a su magnitud ó su tipo.

La clasificación de acuerdo a su magnitud es como sigue:

a).- **LEVE.** Es una imperfección apenas visible, que generalmente desaparece inmediatamente después del primer proceso normal de fabricación, sin limitar ni condicionar el material.

b).- **REGULAR.** Es una imperfección apenas apreciable a simple vista, que generalmente desaparece durante los procesos normales de fabricación y, cuando persiste no limita ni condiciona el material.

c).- NOTABLE. Defecto visible que persiste en el material después de todos los procesos normales de fabricación, y que limita y/o condiciona el uso final del material.

d).- FUERTE. Defecto apreciable a simple vista que no únicamente limita el uso del material, si no que a veces también limita su proceso normal de fabricación y además degrada total o parcialmente la calidad del material.

La clasificación de los defectos por su tipo es de la forma siguiente:

a).- FORMA. Son imperfecciones muy visibles que afectan la planitud del material.

b).- SUPERFICIE. Son defectos visibles que afectan la calidad superficial del material.

c).- ESTRUCTURA. Son imperfecciones no visibles y que afectan las propiedades mecánicas del material y solo se detectan en la prueba de tensión.

Los defectos pueden venir en el material, de procesos anteriores o bien generarse en el molino.

A los defectos de forma se les elimina completamente, aunque si se generan en o reaparecen después del laminado, se debe a errores del operador, a las imperfecciones superficiales solo se les disminuye aumentando el número de pases, con el consecuente incremento de las propiedades mecánicas, por último a los defectos de estructura nada se les puede hacer.

A continuación se analizan las imperfecciones en orden de ocurrencia.

4.3 DEFECTOS ORIGINADOS EN PROCESOS ANTERIORES A LA LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

Los defectos que se observan al desenrollar el material en el molino de Laminación Superficial en Frío, han sido generalmente generados en el Proceso de

Recocido en Hornos de Caja, en el Molino de Laminación en Frío, o en la Línea de Recocido y Decapado y la mayoría de ellos solo son disminuidos. Algunos de los más importantes se analizan a continuación. Por ser defectos de apariencia es difícil una representación gráfica de los mismos y solo la experiencia del operador los puede detectar.

4.3.1 ABOLSADO. Son huecos o jorobas de formas longitudinales ovaladas o elípticas, en apariciones sucesivas en el centro de la banda, su separación es aproximadamente de 300 mm una de otra y pueden estar situados en el 1/4 o 1/2 del ancho total de la banda.

El abolsado se origina en el Molino de Laminación en Frío y es debido a:

- a).- Perfil de la banda excesivamente convexo.**
- b).- Exceso de presión al centro de la banda durante el laminado.**

Este defecto es eliminado completamente al laminar superficialmente el material.

4.3.2 ARRUGADO TRANSVERSAL. Es una impresión de la superficie de los rodillos sobre la lámina. Dicha impresión es parecida a pequeñas plizaduras, que tienen orientación transversal al sentido de la laminación y no se sienten al tacto.

Se presentan en forma cerrada y continua en ambas caras a todo lo ancho y largo del rollo. Se origina en el Molino de Laminación en Frío y es a causa de defectos en los rodillos, tales como:

- a).- Rodillos fatigados por exceso de tiempo de servicio.**
- b).- Rodillos mal rectificadas. (vibrados).**

Esta imperfección puede ser prácticamente eliminada en la laminación superficial en frío aumentando el número de pases, con el consecuente incremento de las propiedades mecánicas; por eso se opta por pulir el material.

4.3.3 ASPECTO BLANQUESINO. Apariencia superficial uniforme con tonalidad blanca y homogénea.

Se presenta en toda la longitud del rollo, afectando toda la superficie de una o ambas caras. Es originado en el Molino de Laminación en Frío a causa de:

- a).- Exceso de la película de aceite en la superficie de la banda.**
- b).- Baja absorción del papel Intercalarlo.**

c).- Rodillo con exceso de tiempo de servicio.

El defecto no es disminuido en la Laminación Superficial por lo que el material afectado o bien es: pulido, relaminado o enviado a segunda calidad.

4.3.4 ASPECTO OPACO. Apariencia superficial uniforme con bajo % de reflectividad. Se presenta a todo lo ancho y largo de la bobina y en una o ambas caras. Se origina en el Molino de Laminación en Frío por:

a).- Rodillos de trabajo con exceso de tiempo de servicio.

b).- Baja absorción del papel intercalario.

c).- Mal Funcionamiento de la lavadora en la línea de recocido.

Esta Imperfección no se elimina en la Laminación Superficial, por lo que el material afectado es: pulido, relaminado o enviado a segunda calidad.

4.3.5 VIBRADO. Son impresiones periódicas en la lámina con deformación a manera de líneas transversales al sentido de la lámina con, aproximadamente 3 mm ancho por el largo en relación al ancho de la banda; se observan en ambas caras de principio a fin del rollo. Dichas deformaciones son originadas en el Molino de Laminación en Frío por:

a).- Altas velocidades de laminación.

b).- Tracciones excesivas.

c).- Variación del coeficiente de fricción entre el rodillo y la lámina.

d).- Rodillos excéntricos.

e).- Vibración del conjunto mecánico y eléctrico de los motores.

Este defecto es disminuido considerablemente en la Laminación Superficial aumentando el número de pases. El material afectado se puede:

a).- Enviar al cliente en acabado 2B ó pulido, si el defecto es leve o regular.

b).- Relaminar si el defecto es notable o fuerte.

4.3.6 ARRUGADO LOGITUDINAL. Son líneas de deformación plásticas que se aprecian en la superficie del material en forma de vibrado paralelas al sentido de la laminación. No se siente al tacto. Se presentan con una separación de uno a dos mm a todo lo ancho y largo del rollo acentuándose hacia las orillas. Este defecto tiene su origen en el proceso de recocido en hornos de caja por una orientación preferencial

de los cristales del material debido a que se procesa con temperaturas menores a las requeridas.

Este defecto es disminuido considerablemente en la Laminación Superficial aumentando el número de pases. El material afectado puede ser:

- a).- Relaminado.
- b).- Enviado a segunda calidad.

4.4 DEFECTOS DE ORIGEN EN EL PROCESO DE LAMINACION SUPERFICIAL EN FRIO.

Las altas velocidades con que es laminado el material en el Molino para la Laminación Superficial en Frío, hace difícil detectar las imperfecciones en la lámina generadas en el molino mismo y solo serán observadas en las líneas de corte, que es el proceso siguiente, esto podría traer cambios en el ciclo de fabricación o generar reprocesos, si las imperfecciones no son detectadas en el proceso de Laminación Superficial en Frío (al inicio de cada pase).

Los defectos generados en el molino se analizan a continuación de acuerdo a su ocurrencia, así como su posible destino.

4.4.1 ABOLSADO. Son huecos o jorobas de formas longitudinales ovaladas o elípticas, en apariciones sucesivas en el centro de la banda, su separación es aproximadamente de 300 mm una de otra y pueden ser de 1/4 o 1/2 del ancho total de la banda. son generadas en el Molino para la Laminación Superficial en Frío a causa de:

- a).- Exceso de elongación en el centro con relación a las orillas.
- b).- Montaje de rodillos inadecuados al espesor a laminar.

Al material afectado se le puede:

- a).- Nivelar y/o estirar el material si fue asignado para ser enviado en hojas.
- b).- Reprocesarlo.
- c).- Relaminarlo.
- d).- Enviarlo como material condicionado.

El abolsado es similar al defecto de orillas onduladas solo que estas se presentan en las orillas de la banda.

4.4.2 ABORREGADO. Son impresiones del patrón de apariencia del papel intercalario sobre la superficie de la banda, principalmente en espesores menores a 0.45 mm. El defecto tiene apariencia grumosa al ser observada al reflejo de la luz, en sentido transversal al de la banda. Se localiza en ambas caras a todo lo ancho y largo de la banda. El aborregado tiene su origen en:

- a). Formación heterogénea del papel intercalario.
- b). Altas tensiones de enrollado combinadas con la causa anterior.
- c). Utilización de papel intercalario recuperado.

Una vez que el material ha sido afectado se hace lo siguiente:

- a). Reprocesar en el molino si el espesor real lo permite.
- b). Enviar al cliente como material condicionado.

4.4.3 MAL ASPECTO SUPERFICIAL. Se define como una superficie con apariencia no deseada, debido a la presencia de franjas ó arrugado impreso que opaca el material. Se presenta a todo lo ancho de la banda y en una o ambas caras. El mal aspecto superficial es generado por:

- a).- Procesar material con rodillos fatigados (aspecto opaco).
- b).- Limpieza de los rodillos de laminación con material sucio.

Al material afectado se le puede aplicar uno de los siguientes procedimientos:

- a).- Reprocesar en el molino.
- b).- Relaminar.
- c).- Enviar a segunda calidad.
- d).- Aplicar a otro cliente.

4.4.4 LAMINADO SUPERFICIAL INSUFICIENTE. Aspecto superficial rugoso y opaco y es un indicio de que el material presentará Líneas de Deformación (Líneas de Luders) en la prueba de tensión. Se presenta en ambas caras, a todo lo ancho y largo del rollo. Es originado por: falta de alargamiento en el material (no eliminar el límite elástico aparente).

Al material afectado se le hace lo siguiente:

- a).- Reprocesar en el molino.
- b).- Desviar el material a segunda calidad.

4.4.5 LINEAS DE DEFORMACIÓN. Líneas diagonales entrecruzadas a 45° del sentido de la laminación formando rombos, consecuencia de falta de alargamiento en el material, aparecen al someter a la lámina a esfuerzos de tracción. Pueden ser apenas visibles, ó bien tener aproximadamente 200 mm por lado de los rombos. Aparecen a todo lo ancho y largo y en ambas caras de la lámina que fue sometida a esfuerzos de tensión. Tiene su origen en el Molino para la Laminación Superficial en Frío por bajo porcentaje de alargamiento. Ver figura 4.1. El material afectado se le puede:

- a).- Reprocesar en el molino.
- b).- Enviar a segunda calidad.
- c).- Enviar a chatarra.

4.4.6 QUEBRADURAS. Son marcas transversales con deformación que distorsionan el reflejo de la luz. Se presentan en el sentido transversal al de la laminación, con un ancho de aproximadamente 10 mm por el largo en relación al ancho de la banda. Afecta en promedio al 10% de la longitud total del rollo dependiendo de la marca original que marca las espiras subsecuentes. Se localizan en el diámetro Interior del rollo. Estas marcas son generadas en el Molino para la Laminación Superficial en Frío por:

- a).- Por el borde generado en la fijación de la lámina al mandril de enrollado.
- b).- Falla en el proceso de enrollado por quedar mal enganchado el material. Al material dañado se le puede:

- a).- Reprocesar en el Molino.
- b).- Enviar a segunda calidad.
- c).- Estirar antes de empacar.

4.4.7 INCRUSTACIONES. Son marcas que se forman por impresión en la superficie de la banda al laminar los rodillos un cuerpo extraño y, que causan una disminución del espesor. Tienen la forma exactamente idéntica al material laminado por lo que su tamaño puede ser desde un punto apenas perceptible hasta todo el ancho de la banda, con una separación aproximadamente de 2600 mm que es el perímetro del

LÍNEAS DE LUDERS

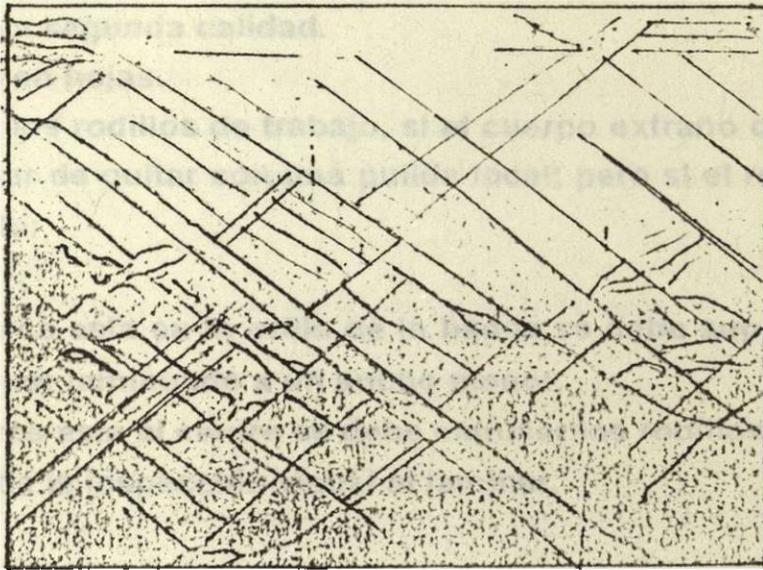


Fig. 4.1 Representación de las Líneas de Deformación (Líneas de Luders).

rodillo de trabajo. Se pueden presentar en cualquier punto de la bobina a lo largo y ancho de ésta. Los cuerpos extraños pueden venir en la lámina o bien caer sobre ella al momento de la laminación y pueden ser pedazos de papel, restos de pelusa por alfombra o papel, aceite, insectos polvo en el rodillo etc. Una vez que el material ha sido afectado se le puede:

- a).- Cortar a un ancho menor o en bandas.**
- b).- Relaminar.**
- c).- Enviarlo a segunda calidad.**
- d).- Enviarlo en hojas.**

En cuanto a los rodillos de trabajo, si el cuerpo extraño queda adherido al rodillo se le puede tratar de quitar con una pulida local; pero si el rodillo queda marcado se hace lo siguiente:

- a).- Si la marca esta en la orilla de la banda se debe suprimir el laminado en ese ancho y continuar laminando a un ancho menor.**
- b).- Si la marca esta al centro se debe cambiar los rodillos de laminación. De aqui la importancia de la inspección visual al laminar.**

4.4.8 EMBUTIDOS. Son deformaciones de la lámina en forma de copa que a diferencia de las incrustaciones no causan disminución del espesor. Este defecto es generado en el Molino para la Laminación Superficial en Frío por:

- a).- Cuerpo extraño sobre la superficie del rodillo antidoble o deflector.**
- b).- Cuerpo extraño atrapado entre las espiras de la bobina al ser enrollada.**

Al material afectado se le puede:

- a).- Cortar a un ancho menor ó en flejes.**
- b).- Reprocesar en el molino.**
- c).- Enviar a segunda calidad.**
- d).- Relaminar.**

4.4.9 PLIEGUES. Son deformaciones longitudinales con superposición de la lámina. Tienen la forma de zurco, curvado ó diagonal. Se presentan en anchos de entre 5 o 10 mm por largo variable, preferentemente al centro de la banda y puede afectar

desde algunos metros hasta el total de la bobina. Son generados en el Molino para la Laminación Superficial en Frío por:

a).- Exceso de tensión.

b).- Papel intercalario mal enrollado, con plizaduras que se marcan en la lámina.

El producto dañado tiene opción a:

a).- Reprocesarse en el molino.

b).- Cortarse en flejes.

c).- Enviarse a segunda calidad.

Todos las anteriores imperfecciones se pueden evitar si se exagera un poco en la inspección visual de la banda al momento de laminarla superficialmente.

REFERENCIAS :

Manual de Identificación de Defectos en el Producto.

BIBLIOGRAFIA

WILLIAM L. ROBERTS.

-FLAT PROCESSING OF STEEL.

Edit. DEKKER U.S.A.

WILLIAM L. ROBERTS.

WILLIAM L. ROBERTS.

-COLD ROLLING OF STEEL.

Edit. DEKKER U.S.A.

WILLIAM L. ROBERTS.

