



23  
2ej.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
Aragón

## LA FABRICACIÓN DE TUBOS COMO ALTERNATIVA PARA SUSTITUIR LA MADERA EN LA PRODUCCIÓN DE ESCOBAS

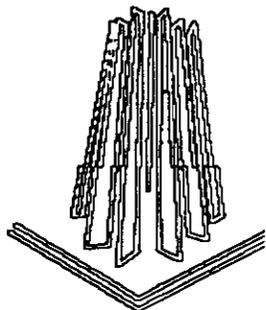
TESIS

Que para obtener el título de:  
**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Presenta:  
**ALFREDO ESPINOSA TORRES**

Asesor:  
M. en C. Aldama Avalos Daniel

México 1998



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

264398



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

Al concluir este trabajo quiero aprovechar para manifestar el profundo agradecimiento que siento hacia la Universidad Nacional Autónoma de México y a los buenos profesores de quienes he adquirido las enseñanzas más valiosas, con las que he logrado mi realización profesional y como persona.

Muy en especial al M. en C. Aldama Avalos Daniel por su acertada orientación para la realización de este trabajo.

Al Ing. Rodolfo McKinney Valencia por haberme iniciado en esta profesión.

A mis padres por enseñarme a ser un hombre de bien.

A mis hermanos que son la esencia de la familia.

A mis hijos que son lo más valioso que tengo.

Y a todos aquellos que de alguna manera me impulsaron a seguir adelante y tuvieron fe en mí.

Alfredo Espinosa Torres.

# **CONTENIDO.**

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I ALTERNATIVAS PARA FABRICAR TUBOS.	2
CAPÍTULO II TUBOS CON UNIÓN SOLDADA.	6
CAPÍTULO III TUBOS ENGARGOLADOS.	34
CAPÍTULO IV TUBOS METÁLICOS SIN COSTURA.	48
CAPÍTULO V TUBOS DE PLÁSTICO.	64
CAPÍTULO VI ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.	88
CONCLUSIONES.	97
BIBLIOGRAFÍA.	100

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.	Pág. 1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>ALTERNATIVAS PARA FABRICAR TUBOS.</b>	
1.0 Alternativas para fabricar tubos.	2
1.1 Clasificación de los procesos para fabricar tubos.	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>TUBOS CON UNIÓN SOLDADA.</b>	
2.0 Tubos metálicos con unión soldada.	6
2.1 Arrollamiento de la chapa.	7
2.1.1 Teoría para calcular el desarrollo de la chapa.	10
2.1.2 Localización de la fibra neutra.	10
2.2 Soldadura por resistencia en la fabricación de tubos.	13
2.2.1 Formación del núcleo.	17
2.3 Soldadura por resistencia de alta frecuencia en la fabricación de tubos.	19
2.4 Soldadura por inducción de alta frecuencia en la fabricación de tubos con costura.	21
2.4.1 Profundidad de referencia y distribución de la corriente.	23
2.4.2 Técnica de los generadores de alta frecuencia para calentamiento por inducción.	29
2.5 Otros métodos para soldar tubos.	32
2.5.1 Soldadura por arco sumergido.	32
2.5.2 Soldadura por arco con gas y electrodo de tungsteno (TIG ).	32

### **CAPÍTULO III**

#### **TUBOS ENGARGOLADOS.**

<b>3.0</b>	<b>Proceso de unión de láminas por el método de engargolado.</b>	<b>34</b>
<b>3.1</b>	<b>Experiencias obtenidas durante el diseño y construcción de una conformadora de banda continua para fabricar mangos metálicos con unión engargolada en una fábrica de escobas.</b>	<b>37</b>

### **CAPÍTULO IV**

#### **TUBOS METÁLICOS SIN COSTURA.**

<b>4.0</b>	<b>Tubos metálicos sin costura.</b>	<b>48</b>
<b>4.1</b>	<b>Métodos de barrenado.</b>	<b>48</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Método de Mannesmann.</b>	<b>48</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Método de Stiefeld.</b>	<b>51</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Método de perforación en prensa.</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>Métodos de estirado.</b>	<b>53</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Estirado a paso de peregrino.</b>	<b>53</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Laminación de tubos con punzón.</b>	<b>55</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Banco de estirado.</b>	<b>56</b>
<b>4.3</b>	<b>Tren de reducción y tren de abocardado.</b>	<b>57</b>
<b>4.4</b>	<b>Tubos metálicos extruidos.</b>	<b>58</b>

### **CAPÍTULO V**

#### **TUBOS DE PLÁSTICO.**

<b>5.1</b>	<b>Tubos de plástico extruido.</b>	<b>64</b>
<b>5.2</b>	<b>Principios de la extrusión de plásticos.</b>	<b>64</b>
<b>5.3</b>	<b>Instalaciones para extrusión de plástico.</b>	<b>77</b>
<b>5.4</b>	<b>Recubrimiento de plástico para tubos metálicos.</b>	<b>78</b>
<b>5.5</b>	<b>Selección de algunos materiales plásticos.</b>	<b>79</b>

<b>CAPÍTULO VI</b>		
<b>Análisis de alternativas.</b>		<b>88</b>

<b>CONCLUSIONES.</b>		<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>		<b>100</b>

# INTRODUCCIÓN.

Este trabajo tiene la finalidad de proporcionar diferentes opciones a los fabricantes de escobas para producir los mangos de estos utensilios sin utilizar la madera como materia prima, como se ha hecho durante décadas afectando directamente la explotación de los recursos forestales en todo el mundo.

Algunos países desarrollados han implementado la utilización de otros materiales, principalmente metal, plásticos o una combinación de ambos en la producción de mangos para escobas y de otros utensilios domésticos.

Tomando en cuenta lo anterior es fácil notar la importancia de contar con el conocimiento de las técnicas aplicables en el procesamiento de estos materiales de sustitución que se están imponiendo en el mercado, dejando en la obsolescencia los procesos con materiales tradicionales.

En el capítulo uno haremos una breve reseña de la diversidad de los procesos que se pueden utilizar para dichos fines.

En el segundo se habla de los procedimientos útiles para producir tubos por diferentes procesos de soldadura y los métodos de arrollamiento de láminas.

El tercero se refiere a tubos con unión engargolada y las experiencias obtenidas al diseñar y construir una formadora de este tipo en una fábrica de escobas.

En el capítulo cuarto encontraremos los métodos conocidos para elaborar tubos metálicos sin costura incluyendo la extrusión de metales, aunque los primeros tengan mejores aplicaciones en otro campo que el de nuestro interés.

El capítulo cinco muestra las técnicas para extrusión de tubos de plástico y la aplicación de recubrimientos de plástico para tubos metálicos.

Finalmente en el capítulo sexto haremos una evaluación de las técnicas estudiadas a lo largo de este trabajo y proponer la mejor alternativa.

# *CAPÍTULO I*

## *ALTERNATIVAS PARA FABRICAR TUBOS.*

## 1.0 Alternativas para fabricar tubos.

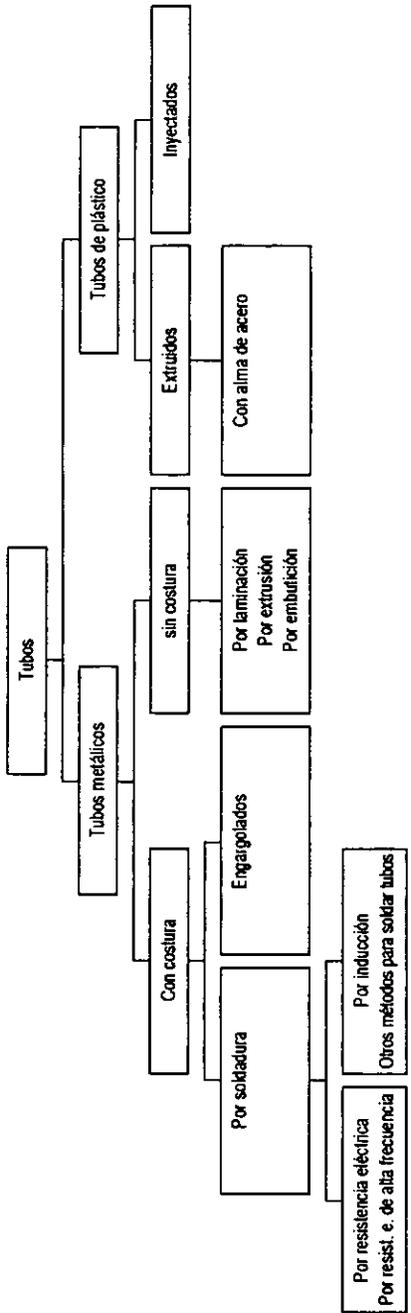
Existen en la actualidad diversas maneras de fabricar tubos, sean metálicos o de plástico. El primer caso, se divide en dos categorías: **tubos metálicos con costura** y **tubos metálicos sin costura**. A su vez, los tubos con costura se pueden producir utilizando algún proceso de soldadura, el cual se debe seleccionar de acuerdo a las características del material como su tipo, espesor de la chapa, diámetro del tubo, y hasta su longitud. O bien empleando el proceso de engolado para unir los bordes.

Por su parte, los tubos sin costura son producidos por laminación, por extrusión de metales o por embutición; los que se obtienen por estos métodos tienen la característica principal de ser fabricados de una sola pieza, sin tener unión o costura en sentido longitudinal.

La fabricación de **tubos de plástico** en la actualidad no está orientada hacia la aplicación que pretendemos, teniendo otros campos de utilización; sin embargo es de gran importancia considerar esta alternativa, para lo que tendremos que conocer la gran variedad de plásticos existentes, así como de sus características particulares, ya que debido a una selección incorrecta del polímero no se le ha dado aplicación en este campo aún cuando a nuestro parecer, se perfila como una de las mejores opciones.

Los principales procesos de manufactura para la transformación de polímeros son: la extrusión y el moldeo por diversas técnicas, de lo que hablaremos con mas detalle en el capítulo correspondiente.

# FABRICACION DE TUBOS



Inicialmente se desarrollaron los equipos de **soldadura por resistencia eléctrica**, la cual trabaja con un par de electrodos en forma de rodaja, que se desplazan a lo largo de los bordes, produciendo el calor necesario para obtener la unión, sin embargo este método presenta dificultades de falso contacto entre los electrodos y la pieza, así como el continuo desgaste de dichos elementos que por lo regular se fabrican de cobre.(7,8)

Ante las dificultades de los equipos de soldadura por resistencia eléctrica se pensó en utilizar una corriente de alta frecuencia, reemplazando los electrodos de cobre por un par de sondas rozantes que no necesitan ejercer demasiada presión sobre la pieza a soldar para lograr un buen contacto, aun en material oxidado. De este modo apareció la **soldadura por resistencia de alta frecuencia** con lo que se eliminó el problema de los electrodos sucios o gastados característico de los equipos de baja frecuencia.(2,5,6,10)

Con el avance de la industria surgieron nuevas necesidades en el proceso tales como soldar chapa demasiado delgada(0.2mm), aumentar la velocidad del proceso, situación que era restringida por la velocidad de calentamiento de los bordes, fué entonces desarrollada la **soldadura por inducción de alta frecuencia**, con la que es posible calentar una pieza metálica a gran velocidad sin necesidad de hacer contacto físico entre la pieza a soldar y los componentes del equipo.(6,7)

Existen otros métodos aplicables en el soldeo de tubos como son: el arco sumergido, ampliamente utilizado en la fabricación de cilindros para contener fluidos a presión, pero difícilmente aplicable en nuestro caso ya que se utiliza preferentemente para soldar chapa más gruesa que la mencionada, también podemos agregar que el proceso TIG es utilizado para soldar recipientes en destilerías, ductos, y pailería en general, aunque presenta dificultades de calibración cuando se trata de continuidad en la soldadura a gran escala.

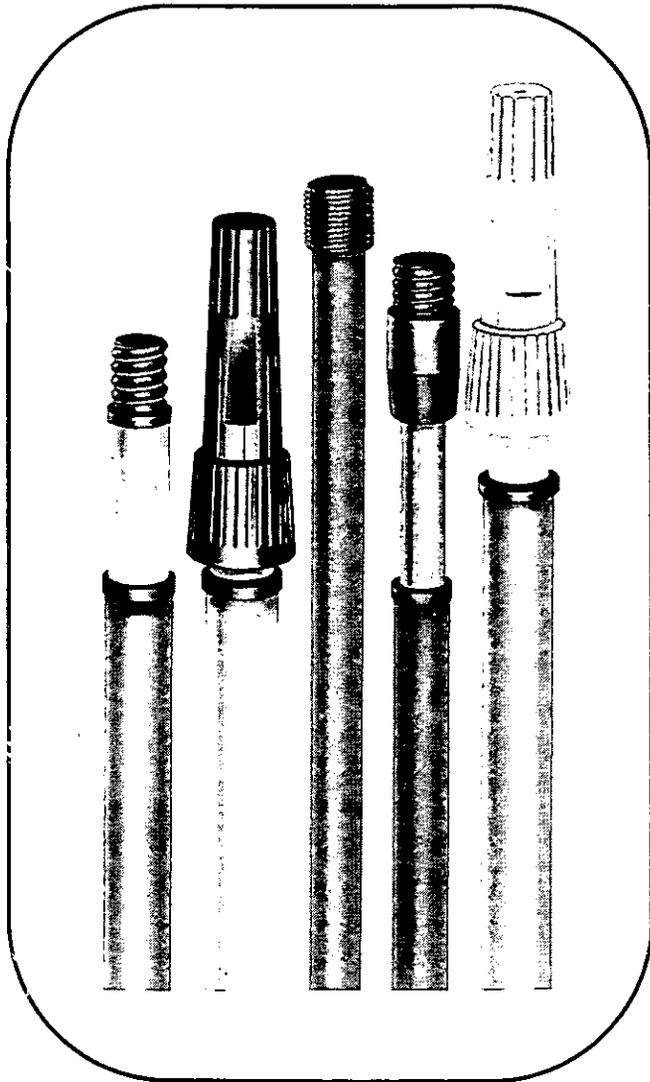


Fig. 1 Algunos modelos fabricados con tubo metálico con costura en Italia, E.U., Francia y Alemania.(15)

## ***CAPÍTULO II***

### ***TUBOS CON UNIÓN SOLDADA.***

## 2.0 Tubos metálicos con unión soldada.

La primer característica de los tubos fabricados con costura es que invariablemente serán obtenidos a partir del arrollamiento de una cinta o banda metálica a la que se le unen los bordes mediante algún proceso de soldadura.

Los primeros equipos que se utilizaron para la producción continua de tubos soldados, cuentan con sopletes instalados de tal manera que calientan los bordes del tubo arrollado, a la vez que se desplaza a lo largo de la conformadora, con ese calentamiento de los bordes y una fuerza aplicada en los costados se logra una unión a tope.(2)

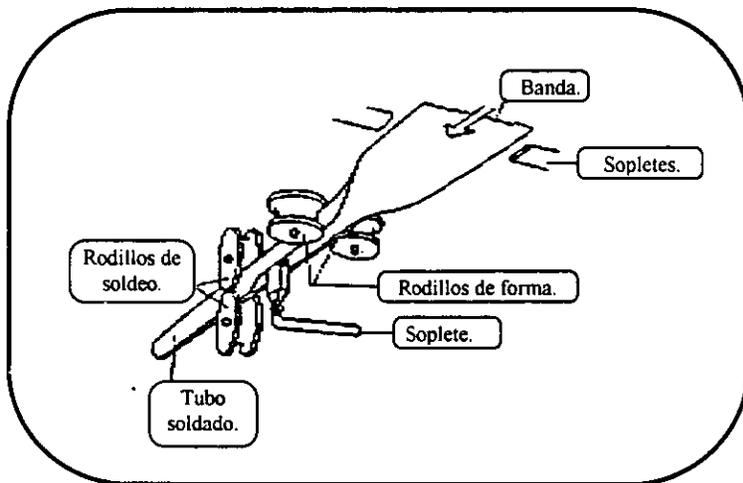


Fig. 2 Método para soldar tubo con soplete.(2)

## 2.1 Arrollamiento de la chapa.

El curvado de láminas para formar tubos se realiza en máquinas de rolado, éstas máquinas están compuestas por un conjunto de rodillos a través de los que se hace pasar la hoja o banda a rolar, las primeras roladoras se diseñaron para curvar la chapa en forma transversal, característica que sólo nos permite procesar una sola pieza a la vez, y la longitud del tubo obtenido depende de la longitud de los rodillos de la máquina. Éstas tienen una importante aplicación en la construcción de cilindros para los más diversos usos, aunque no se puede realizar la fabricación de manera continua, siendo mas bien del tipo intermitente.(3)

$F$  = fza. de curvado (daN)  
 $r$  = radio del rodillo superior. (mm)  
 $r_1$  = radio rodillos inferiores. (mm)  
 $d/2$  = radio a curvar. (mm)  
 $a$  = distancia entre rodillos. (mm)  
 $Rt$  = esfuerzo de ruptura en tensión del metal. (daN/mm<sup>2</sup>)  
 $Z$  = módulo de sección de la placa. (mm<sup>3</sup>)  
 $\alpha$  = ángulo de curvado.  
 $U$  = relación para un valor de  $\alpha$  de 0° a 90°.

$$x = a/r \quad U = 2\cos\alpha/x - \sin\alpha$$

$$F = Z.Rt.U/r \dots \dots \dots (1)$$

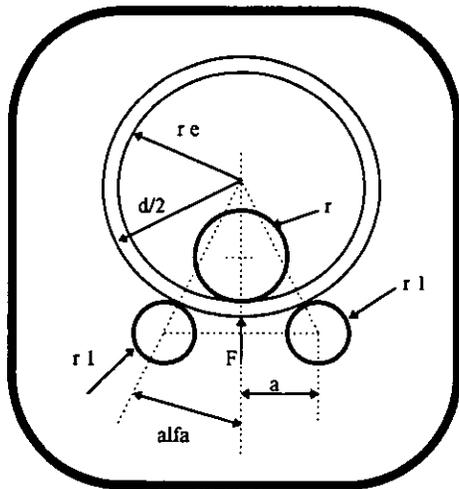


Fig. 3 Roladora transversal.(3)

Existen algunos métodos para enrollar láminas mediante troqueles en prensa.

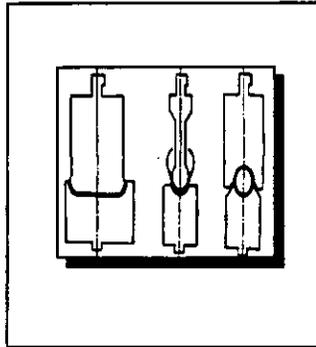


Fig. 4 Juego de troqueles para fabricar tubos en tres pasos.(1)

Los métodos de las figuras 3 y 4, tienen la desventaja de no poder soldar simultáneamente los bordes de la lámina, creandose la necesidad de agregar operaciones a los procesos, impidiendo la continuidad y resultando menos productivos al compararlos con las roladoras de banda continua, en las que el arrollamiento de la banda se realiza de forma longitudinal, para lo que están provistas de varios pares de rodillos conformadores que realizan el curvado por etapas consecutivas y de manera continua, además se pueden procesar piezas de longitud ilimitada, que son soldadas simultáneamente y seccionadas a la salida del tren por un cabezal de corte deslizante.

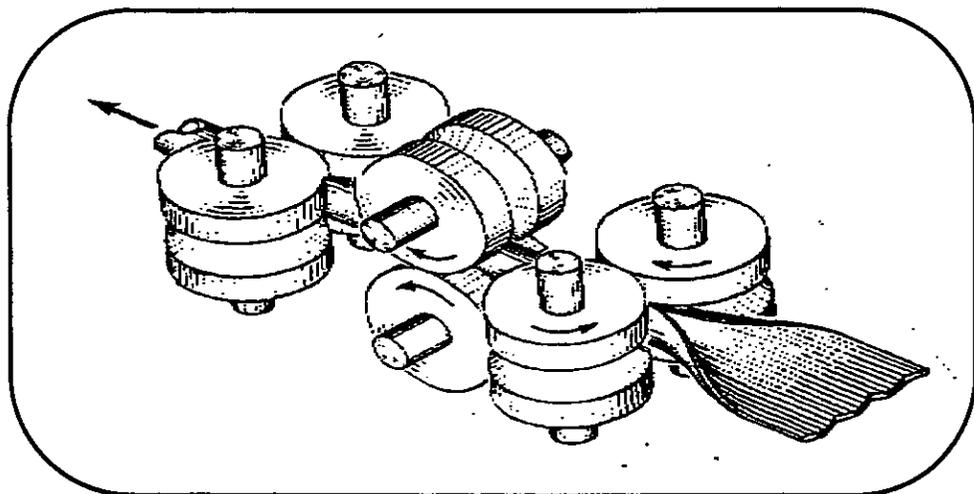


Fig. 5 Esquema de la formadora de banda continua.(7,8,9)

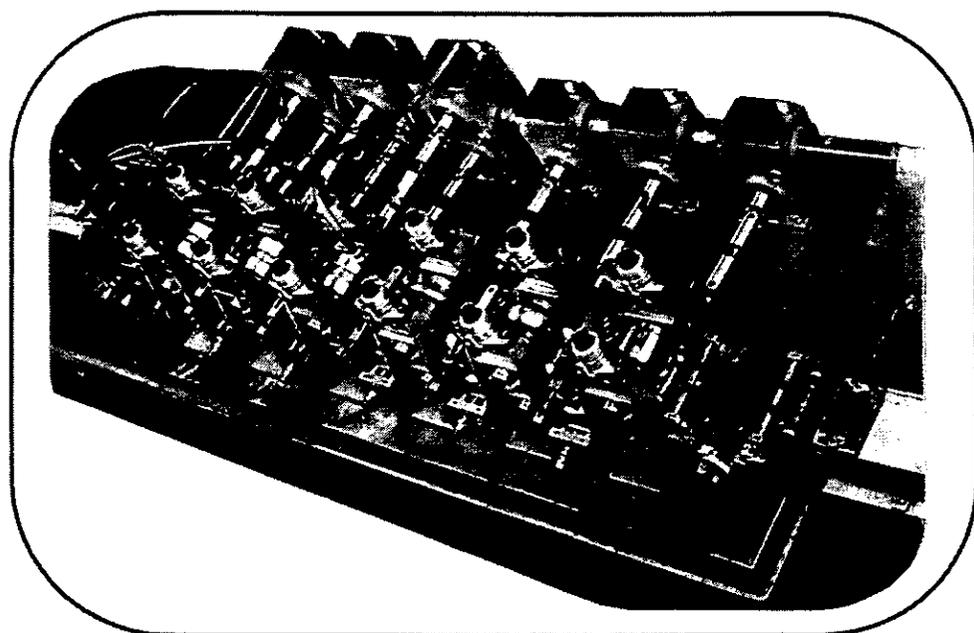


Fig. 6 Equipo para la fabricación de tubo soldado de la marca T&H Machine Inc.(4)

NOTA: En este proceso de formado se introduce la lámina caliente con la finalidad de obtener simultáneamente la soldadura de los bordes mediante una unión a tope.

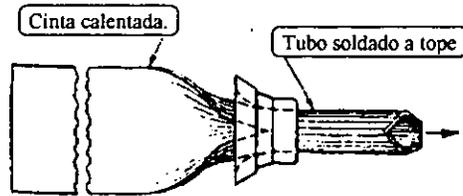


Fig. 6-A Curvado de la chapa utilizando una matriz campana.(7,8,9)

### 2.1.1 Teoría para calcular el desarrollo de la chapa.

Las fuerzas de doblez producen una deformación en la estructura física interna de la chapa, presentándose esfuerzos de tensión y compresión que están condicionados a partir de una línea muy fina llamada **eje neutro** o **fibra neutra**, que se localiza dentro del espesor de la lámina doblada, y es la única zona que no experimenta esfuerzos. La posición de la fibra neutra puede variar en función del espesor y del radio del doblado, y ésta variación determina finalmente el desarrollo del material.(1)

### 2.1.2 Localización de la fibra neutra.

La operación previa al doblado es el cálculo del desarrollo de la pieza, para lo que se toma en cuenta la posición de la fibra neutra, que no siempre se encuentra al centro del espesor.(3)

La siguiente ilustración muestra los parámetros de cálculo y la distribución de esfuerzos de tensión y compresión.

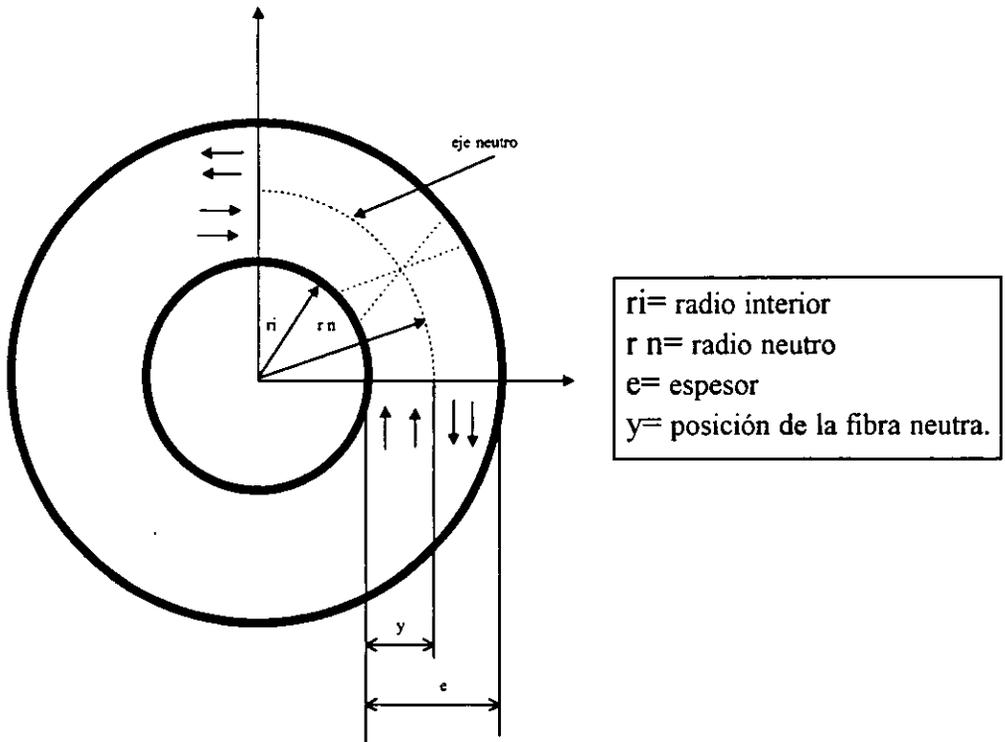


Fig. 7 Elementos básicos para calcular el desarrollo de una pieza rolada o doblada.(1)

Para $r_i/e$	$y$
0.2	0.347e
0.5	0.387e
1.0	0.421e
2.0	0.451e
3.0	0.465e
4.0	0.470e
5.0	0.478e
10.0	0.487e

Tabla 2 ; para calcular el valor de  $y$  en función de  $r_i/e$  .(3)

Entonces podemos calcular la longitud del sector de 90° de la figura 7 a lo largo de su eje neutro mediante:(3.1)

$$L = 3.14(r_i + y) / 2 \dots\dots\dots(2)$$

y para cualquier sector:

$$L = 3.14(r_n)(\alpha) / 180^\circ \dots\dots\dots(3)$$

donde  $r_n = r_i + y$

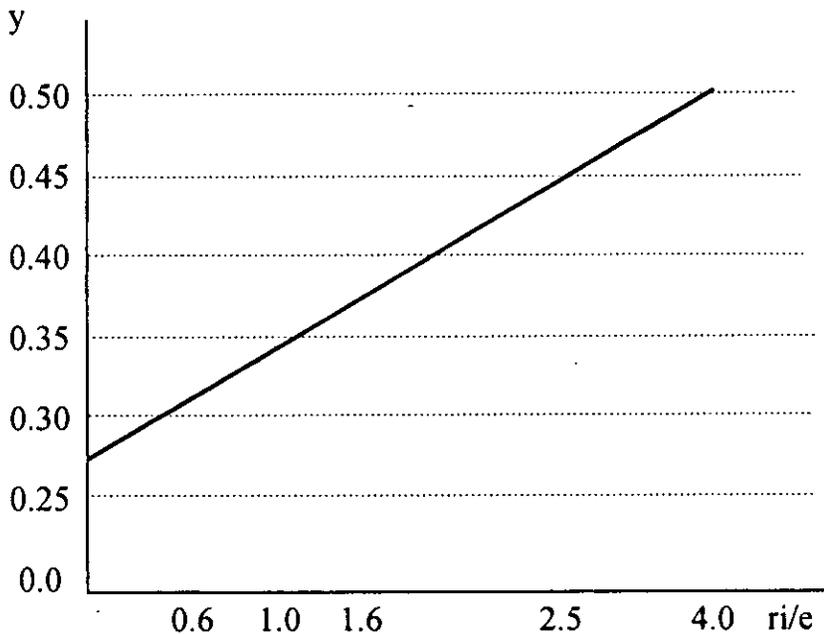


Gráfico 1; Para calcular y en función de ri/e.(1)

## 2.2 Soldadura por resistencia en la fabricación de tubos.

En la soldadura por resistencia eléctrica se consigue la unión de los bordes gracias al calor producido por la resistencia al paso de la corriente que presenta la pieza a soldar y la superficie que separa los bordes. Inicialmente se aplica una fuerza para mantenerlos en contacto y controlar la resistencia eléctrica de la superficie a soldar, una vez alcanzada la temperatura de fusión se aumenta dicha fuerza para producir la acción forjante y el afino del grano. Con un calentamiento adicional se logra el revenido que elimina las tensiones internas.(6)

El calor necesario para soldar por resistencia se produce con:(5,6,7)

$$\boxed{Q = I^2RT} \dots\dots\dots(4).$$

Donde:

Q es el calor producido.

I es la intensidad de la corriente al cuadrado.

R es la resistencia eléctrica del circuito.

T es la duración o tiempo del paso de la corriente.

Ya se había mencionado en la sección 1.0 que éste método utiliza un par de electrodos en forma de rodaja con la finalidad de hacer circular la corriente a través del tubo a soldar, mientras que estos giran libremente desplazándose a lo largo de la unión, la corriente es suministrada por un transformador reductor que proporciona una tensión de 5 volts y una intensidad de corriente de 40,000 amperios , el circuito opera a frecuencias de 300 a 350 Hz.(5,6)

La regulación del calentamiento se produce en el devanado del transformador, y la velocidad del laminador está restringida por la frecuencia utilizada, logrando un máximo de 36 m/min , y en caso de aumentar ésta velocidad se produce eventualmente una serie discontinua de puntos en lugar de una soldadura continua.(6)

La presión necesaria para efectuar la soldadura varía de 15 a 55 MPa.(7)

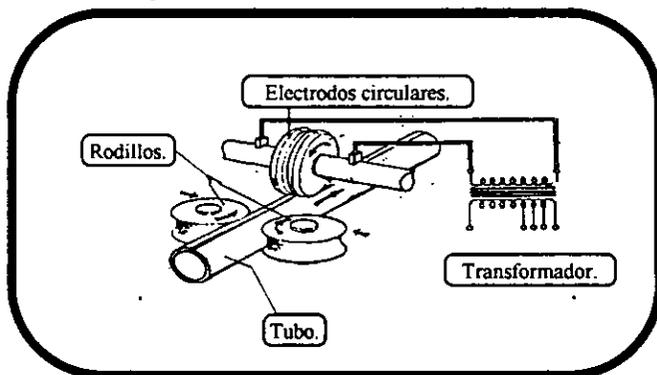


Fig. 8 Soldadura por resistencia utilizando un equipo de baja frecuencia.(6)

La resistencia eléctrica de las superficies de contacto depende directamente de la presencia de cascarilla y suciedad, así como de la fuerza aplicada y el área de contacto, factores determinantes del buen funcionamiento de éste método que se basa en el contacto directo entre los electrodos y la pieza a soldar.(7)

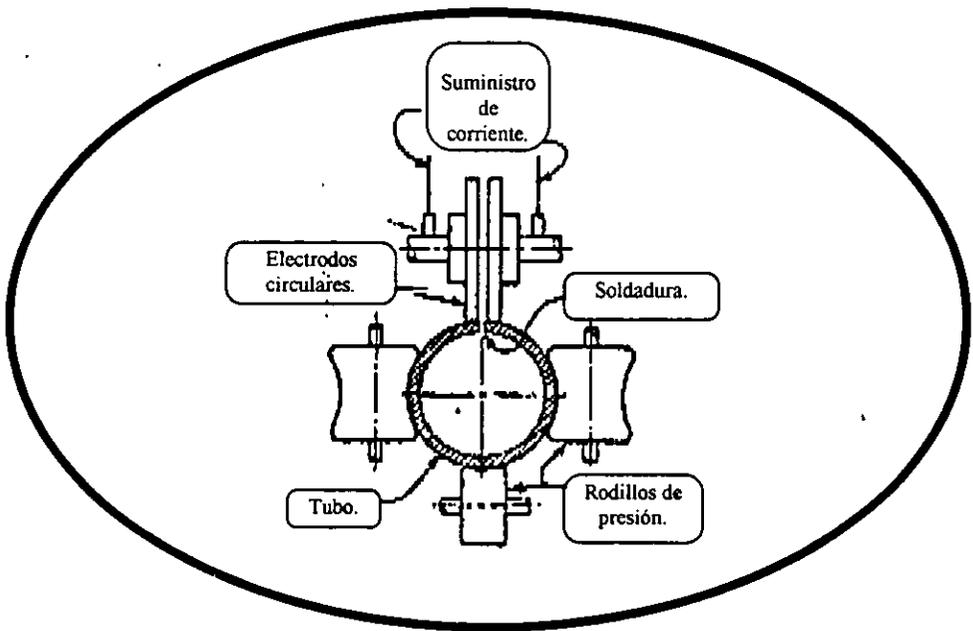


Fig. 9 Detalles del proceso ERW. (7,8)

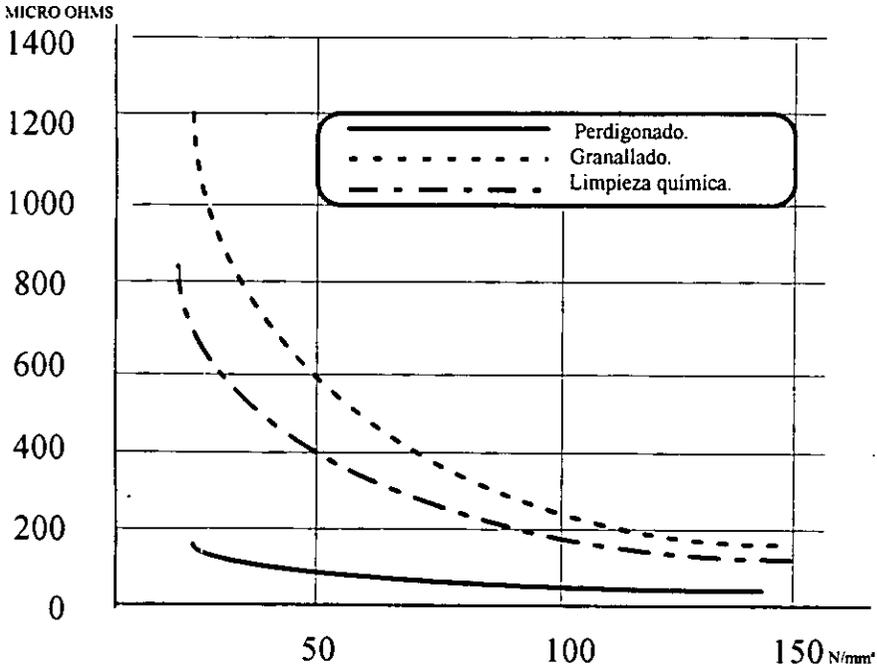


Gráfico 2 ; Variaciones de la resistencia de contacto con la presión aplicada.(6)

El aumento de la fuerza tiene por efecto reducir la resistencia de contacto, como se muestra en el gráfico2 para un acero resistente al calor; pero para soldar los metales de baja resistividad, la resistencia de contacto no debe reducirse demasiado elevando la fuerza aplicada, puesto que debe estar presente para producir el calentamiento para la soldadura. Las fuerzas excesivas son indeseables porque producen entalladuras en las piezas y desgaste en los electrodos.(6)

### 2.2.1 Formación del núcleo.

Las soldaduras por resistencia se caracterizan por su rápida formación y sus curvas de calentamiento y enfriamiento de fuerte pendiente, debido a la proximidad de los electrodos y su aplicación muy localizada.

Una vez aplicada la fuerza de cierre, se inicia el paso de la corriente y hay una caída drástica en la resistencia de contacto, en este momento **sube rápidamente la temperatura en la superficie de contacto chapa-chapa** y en dos regiones anulares bajo los electrodos.

La soldadura por resistencia no puede llevarse a cabo si los metales no tienen un **coeficiente de temperatura-resistencia positivo**. La figura 10 muestra la distribución de la temperatura en un punto de soldadura parcialmente acabado en un acero suave de 2 x 6.3 mm tal como se presenta por métodos metalográficos. Al continuar el proceso se **desarrolla un núcleo fundido** cuyo diámetro crece rápidamente al principio y más lentamente después a medida que se aproxima a su dimensión máxima .(6)

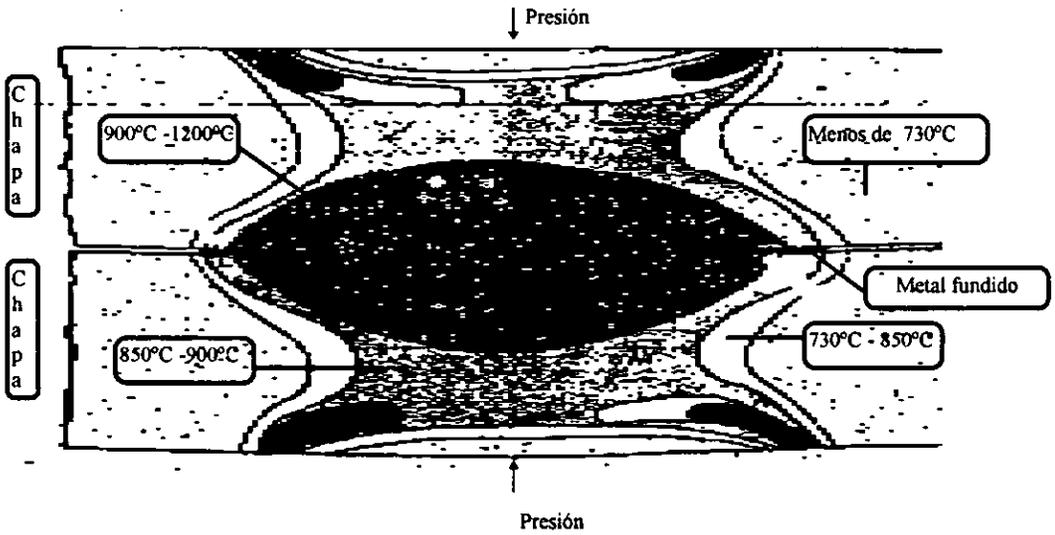


Fig. 10 Distribución de la temperatura en un punto soldado por resistencia en acero suave, durante la formación del núcleo según examen metalográfico.(6)

### **2.3 Soldadura por resistencia de alta frecuencia en la fabricación de tubos con costura.**

En realidad, este proceso es una variante del anterior en el que existen algunos factores que lo hacen esencialmente diferente. La primer diferencia consiste en que la corriente será introducida a través de un par de sondas que apenas rozan los bordes del tubo a soldar sin ejercer presión para establecer contacto con el circuito; esto sólo es posible **aumentando la frecuencia a un rango de 400,000 a 450,000 Hz. y elevando el voltaje a 100 volts.**<sup>(5,6)</sup>

Con esta frecuencia se produce un efecto pelicular muy marcado, efecto por el cual el paso de la corriente tiende a concentrarse en la superficie del conductor. El contacto de las sondas se hace a corta distancia antes de que los bordes se cierren completamente, y debido al mencionado efecto pelicular, la corriente recorre un camino a lo largo del vértice formado por los bordes a medida que se van cerrando. De éste modo se produce una fusión superficial y ésta delgada capa es escupida a medida que se juntan los bordes, por ésta razón el proceso es capaz de soldar metales no férreos que forman óxidos refractarios.

En el proceso de resistencia de alta frecuencia, las impurezas superficiales se eliminan con el metal fundido, con el voltaje elevado (100 v.) y con la alta frecuencia de la corriente suministrada. No hay problema en conseguir un buen contacto, incluso en metal oxidado.

Otra ventaja de usar voltaje elevado es que pueden obtenerse elevados niveles de potencia con intensidades de corriente más bajas (200 a 5000 amperes) y con un equipo de 60 Kw puede soldarse tubo de 0.6 mm de espesor a una velocidad de 90 m/min.<sup>(6)</sup>

La profundidad de la región calentada es extremadamente superficial, por lo regular menos de 0.7 mm, (ver sección 2.4.1.) siendo ésta la mejor situación para soldar tubos de pared delgada.<sup>(6)</sup>

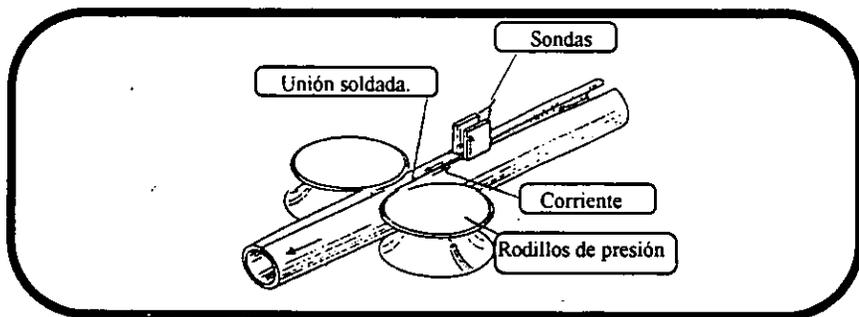


Fig. 11 Soldando un tubo utilizando el método de resistencia de alta frecuencia (2,5,6,10)

## **2.4 Soldadura por inducción de alta frecuencia en la fabricación de tubos con costura.**

El calentamiento por inducción es el mas rápido de los procesos utilizados para soldar, fundir, temprar, y en general cualquier proceso que requiera incremento de temperatura.

Éste método se asemeja al de resistencia de alta frecuencia por utilizar el efecto pelicular, sin embargo la diferencia esencial es que no existen elementos eléctricos que tengan contacto directo con la pieza a soldar, introduciéndose la energía eléctrica mediante corrientes inducidas, las que provienen de una bobina enrollada alrededor del tubo formado, y que se distribuyen superficialmente, produciendo un calentamiento y fusión de la superficie. La soldadura se logra mediante la acción de forja al aplicar una fuerza sobre la unión.

La soldadura por inducción no está limitada a la fabricación de tubos, teniendo aplicaciones como la ensambladura de recipientes o el soldeo de asientos de válvulas en motores de combustión,

sin embargo el proceso no es adecuado para metales de alta conductividad debido a que el calor es generado precisamente por la oposición al paso de la corriente.(6,11)

El rango de frecuencia utilizado es de 200 Khz a 500 Khz.(7) y debido a que el calentamiento es instantáneo, no existe la posibilidad de que se formen óxidos nocivos. La soldadura por inducción se puede usar para la mayoría de los metales y se emplea con éxito en metales no similares.

La elevada velocidad de calentamiento del método de inducción sorprendería a cualquiera que lo desconozca, además de su versatilidad para trabajar con todos los materiales conductores de la electricidad ; metales o no metales. Durante muchos años , éstos equipos estuvieron desplazados por su alto costo pero el siguiente resumen de ventajas explica por que se han extendido recientemente.(7,10)

- *Elevadas cifras de producción.*
- *Bajo costo de energía por pieza.*
- *Bajo costo de mano de obra.*
- *Poco espacio.*
- *Mínimo mantenimiento.*
- *No causa daños a la pieza por calentamiento, ya que el tiempo de calentar es muy pequeño.*

CALENTAMIENTO POR:	POTENCIA SUMUNISTRADA	
CONVECCIÓN	0.1 a 0.5	W/cm <sup>2</sup>
RADIACIÓN	1 a 25	W/cm <sup>2</sup>
CONTACTO	20	W/cm <sup>2</sup>
SOPLETE	1000	W/cm <sup>2</sup>
INDUCCIÓN	20,000	W/cm <sup>2</sup>

Tabla 2 ; Muestra la ventaja del proceso de calentamiento por inducción sobre otros procesos.(11)

### 2.4.1 Profundidad de referencia y distribución de corriente.

El calentamiento de una masa conductora se provoca colocandola dentro del campo magnético de un inductor alimentado por una corriente de alta frecuencia (fig. 12). Las corrientes inducidas circulan sensiblemente según las secciones rectas y tienden a oponerse a las variaciones del campo magnético en el interior del conductor. Penetran de acuerdo con la frecuencia, y para ilustrar este efecto de “piel” consideremos la figura 13 que muestra una barra cilíndrica colocada según el eje Z-Z' de un inductor para la cual **G. Goudet** ha demostrado que resulta una distribución en

la que el campo magnético es paralelo a  $Z-Z'$  en todo punto, mientras que la corriente y el campo eléctrico se reducen a sus componentes tangenciales.

Se dice entonces que debido al efecto pelicular, la mayor parte de la corriente es conducida por la superficie exterior de la pieza y una pequeña parte por el centro si se tratara de una barra sólida.(11)

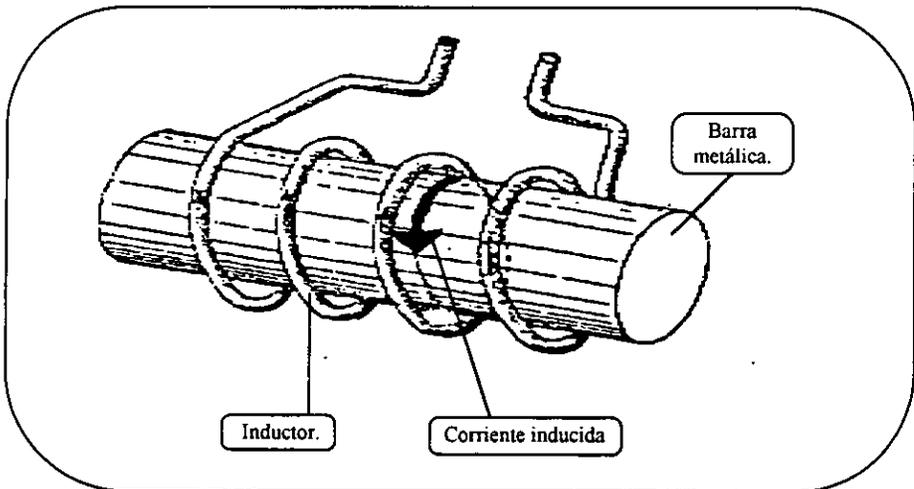


Fig. 12 Disposición general para el calentamiento por inducción.(11)

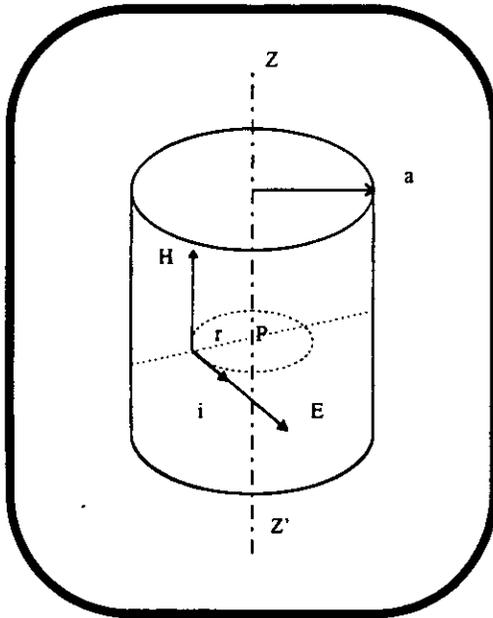


Fig. 13 Distribución de los parámetros eléctricos para una barra colocada dentro del campo magnético de un inductor.(11)

Existen algunas expresiones para calcular la profundidad de la superficie donde es conducida la mayor parte de la corriente inducida desde el punto de vista de diferentes autores:(6,10,11)

P. T. Houldcroft  $\delta = \sqrt{[1/f]}$  .....(5).

W. I. Patton  $\delta = 5034 \sqrt{[\sigma/\mu f]}$  .....(6).

G. Goudet  $\delta = \sqrt{[2/\mu \epsilon \omega]}$  .....(7).

**Ejemplo:** Considerar el calentamiento de un redondo de 20 mm de diámetro de acero inoxidable, para el cual :

$$\sigma = 0.0073 \quad \mu = 1 \quad f = 540,000 \text{ c/seg.}$$

Calcular la profundidad de referencia en calentamiento por inducción.

$$\delta = 5034 \sqrt{0.0073 / 540,000} = \boxed{0.58 \text{ mm.}}$$

Como se observa, una película de 0.58 mm es conductora de varios miles de amperios por lo que el calentamiento es muy rápido.

La distribución de las corrientes inducidas en la pieza a calentar ( **corrientes de Foucolt o corrientes parásitas** ) se puede representar en la figura 14 que muestra una sección de una barra sometida a un campo magnético con una frecuencia de 10,000 c/seg. Y después a una frecuencia baja de 400 c/seg. Los resultados se muestran en la tabla 3 donde se observa como se produce una distribución en forma de capas concéntricas y se acusa un mayor efecto pelicular a frecuencias más elevadas. Esto también indica que para piezas que requieran un calentamiento total y no superficial, se deberían usar frecuencias tan bajas como los 60 c/ seg.<sup>(10)</sup>

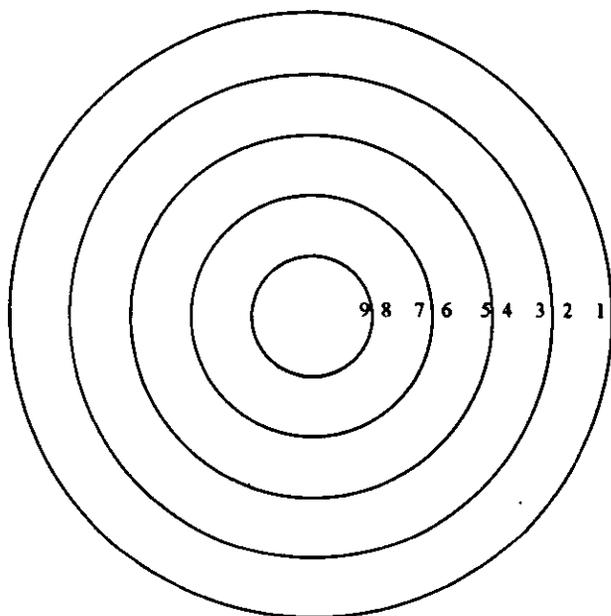


Fig. 14 Sección de una barra en la que se muestra la distribución de las corrientes de Foucolt según la tabla 3.(10)

Capa número:	Amperes a 10 Kc	Amperes a 400 cps
1	6280	1308
2	3270	1142
3	1740	976
4	925	830
5	496	674
6	279	526
7	159	374
8	89	225
9	29	75

Tabla 3 ; Distribución de las corrientes parásitas de Foucolt para la figura 14., observar el efecto al aumentar la frecuencia.(10)

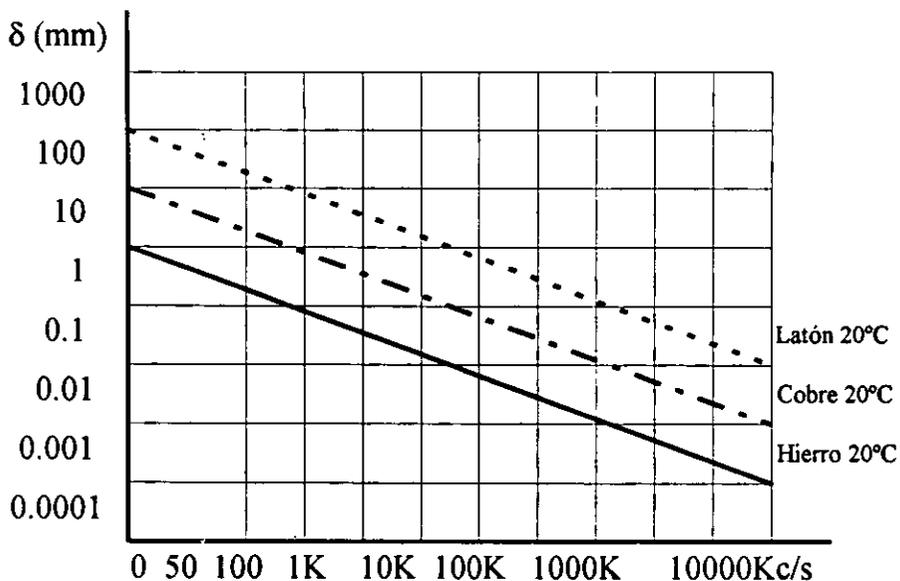


Gráfico 3 ; Profundidad de referencia respecto a la frecuencia.(11)

Por todo lo anterior hemos llegado a la **conclusión** de que efectivamente se produce una concentración de energía en la superficie de las piezas calentadas por el método de inducción, en particular para el caso que nos ocupa , esto también explica por qué cuando se introduce la chapa arrollada dentro de ese campo magnético se produce una concentración más acentuada en los bordes , al grado que se consigue la fusión de los mismos, consolidando la unión soldada. También se ha mostrado la ventaja sobre otros métodos, lo que lo hace muy rentable y altamente productivo.

## **2.4.2 Técnica de los generadores de alta frecuencia para calentamiento por inducción.**

Los generadores de inducción para soldadura, son máquinas de alta frecuencia que producen corriente alterna de onda larga, en la parte terminal está instalada una bobina hecha con tubo de cobre de 6.3 mm de diámetro, con la finalidad de introducirle agua para enfriamiento. La alta frecuencia la obtienen a partir de una potencia normal a 60 c/seg. , rectificando la corriente como primer paso mediante rectificadores que **pueden utilizar válvulas de mercurio o diodos rectificadores como en las máquinas más modernas** (ver figura 15). Después de este paso se obtiene una corriente rectificada con la que **se alimenta un circuito oscilador** como el circuito L-C (ver figura 16) donde una bobina de inducción y un condensador se recargan continuamente uno a otro.(10)

Es en esta parte del circuito donde se genera la alta frecuencia, **y su magnitud está determinada por los parámetros del circuito** de acuerdo a las fórmulas presentadas en ésta sección.

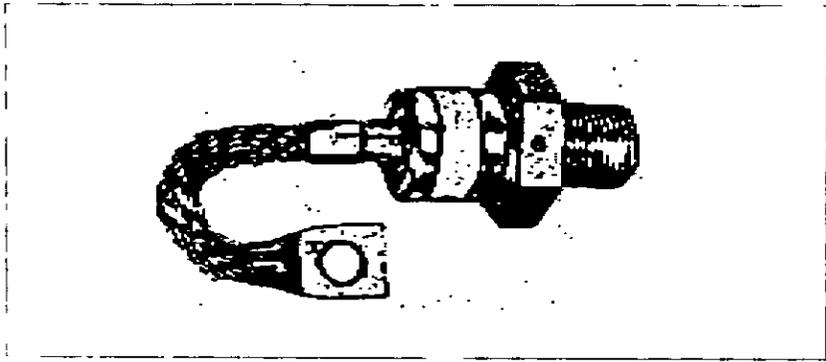


Fig. 15 Diodo rectificador de 300 amp. Utilizado en generadores de alta frecuencia.(10)

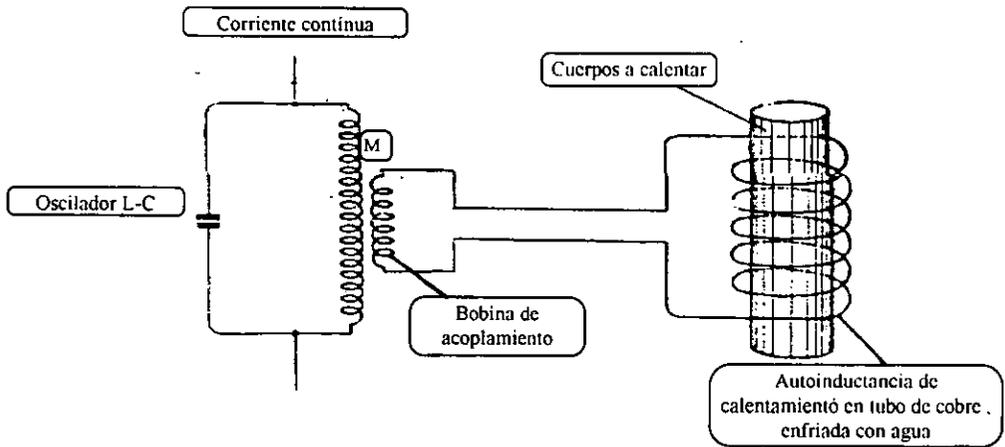


Fig. 16 Circuito L-C básico oscilador, alimentado con corriente continua obtenida de la rectificación de la línea trifásica.(11)

Es muy importante observar en la figura 16 que la pieza a calentar actúa de la misma forma que el secundario de un transformador de una sola espira, razón por la cual se induce una corriente de miles de amperios, que aplicados con la frecuencia elevada por el oscilador, calentarán la superficie de los cuerpos conductores colocados dentro de la inductancia de calentamiento.

Para el cálculo de los parámetros del circuito oscilador se utilizan las siguientes fórmulas:<sup>(10,13,14)</sup>

$$\boxed{f=1/[2\pi\sqrt{LC}]} \dots\dots\dots(8).$$

$$\boxed{L \text{ (nH)} = 1000N^2 R^2 / (9R + 10L)} \dots\dots\dots(9).$$

N= número de vueltas del inductor.

R = radio hasta el centro del alambre en pulgadas.

L = longitud del solenoide.

## **2.5 Otros métodos para soldar tubos.**

Existen algunas variantes de la soldadura por arco que son utilizadas en la construcción de tubos de gran diámetro y chapa de mas de 4mm de espesor, por lo que solamente serán mencionados sin profundizar en los detalles de cada proceso, ya que éstos parámetros quedan fuera de aplicación para nuestro objetivo; sin embargo se hace la invitación a desarrollarlos como tema de otra tesis.<sup>(6,10)</sup>

### **2.5.1 Soldadura por arco sumergido.**

En el soldeo por arco sumergido el arco se mantiene bajo un fundente granular. La corriente de alimentación puede ser continua o alterna, el electrodo es del tipo alambre enrollado cubierto de cobre para mejorar el contacto eléctrico. La principal aplicación del arco sumergido es para soldaduras horizontales de espesor mayor a los 5mm con uniones largas y rectas en aceros de baja aleación para construcción naval y tanques de almacenamiento y alta presión.<sup>(6,10)</sup>

### **2.5.2 Soldadura por arco con gas y electrodo de tungsteno. (TIG)**

Este proceso se desarrolló originalmente para soldar magnesio: utiliza un electrodo de tungsteno (no consumible) y se suministra un gas inerte para protección del arco y el metal fundido, se puede usar gas argón , helio o una combinación de ambos, Para favorecer el cebado y mantenimiento del arco se superpone una corriente de alta frecuencia y alto voltaje a la corriente que se esté utilizando.

El proceso TIG produce soldaduras muy limpias ya que no produce escoria al no usar fundente, en cambio se requiere una

limpieza extrema de la pieza debido a que el gas no tiene acción limpiadora o decapante. La principal aplicación del método TIG es para soldar piezas pequeñas con excelentes resultados incluso en chapa delgada, **sin embargo presenta grandes dificultades cuando se trata de soldar uniones largas y continuas.** (6,10)

El proceso de arco con electrodo revestido no tiene una aplicación importante en este campo, tampoco la soldadura oxiacetilénica y existe una gran variedad de procesos de soldar que por lo general tienen mejores aplicaciones que éste caso.

## ***CAPÍTULO III***

### ***TUBOS ENGARGOLADOS.***

### 3.0 Proceso de unión de láminas por el método de engargolado.

El proceso de engargolado o rebordeado es un proceso utilizado con mucha frecuencia en la fabricación para dar consistencia a las piezas, *haciendo posibles las uniones* de las mismas y la conformación de las aristas para evitar que corten, reforzando al mismo tiempo la estructura.

Consiste en una combinación de operaciones de curvar y de doblar. En determinadas aplicaciones, como es la fabricación de recipientes metálicos de hojalata, es frecuente el uso de máquinas especiales, diseñadas adecuadamente para efectuar tal clase de trabajo; sin embargo, su uso es muy corriente en multitud de diseños de piezas, puesto que por tal procedimiento es posible obtener objetos de buena resistencia a bajo costo. En la figura 17 se muestran diversas formas de engargolado, exterior e interior, de fijación sólida y estanca.(12)

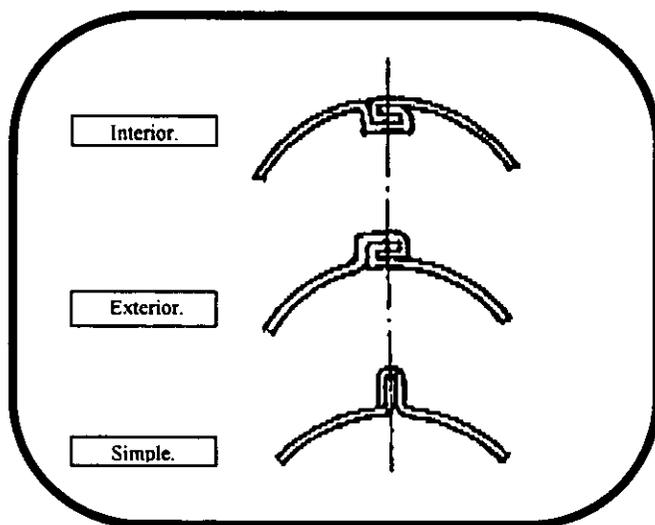


Fig. 17 Uniones engargoladas para fabricar tubos.(12)

Éstas uniones pueden realizarse en una serie de operaciones sucesivas sobre un mismo útil, o bien con un grupo de útiles independientes, en diferentes fases de trabajo. El procedimiento debe seleccionarse atendiendo al factor económico.(12)

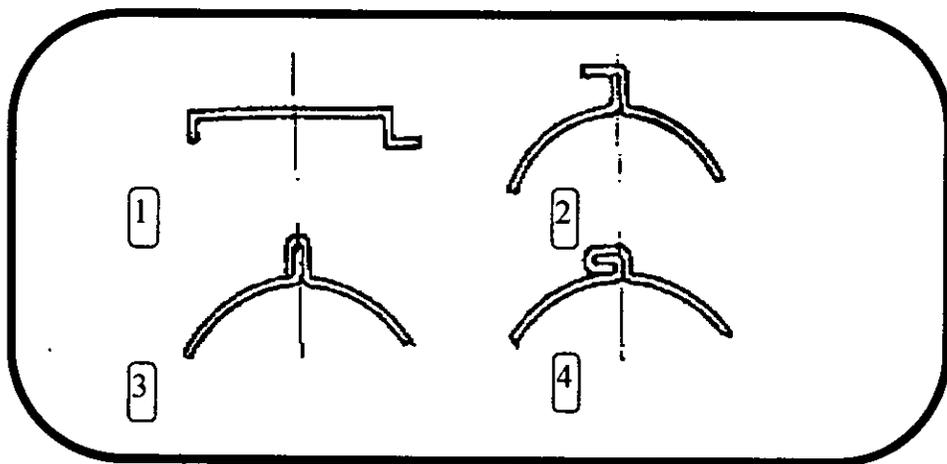


Fig. 18 Secuencia de operaciones para engargolado.(12)

Para efectuar el ensamble de dos piezas entre sí, puede emplearse un procedimiento de curvatura seguido de un aplastamiento de la costura; para obtenerlo bastan dos operaciones (fig.19) Éste procedimiento simplifica mucho la ejecución de la costura.(12)

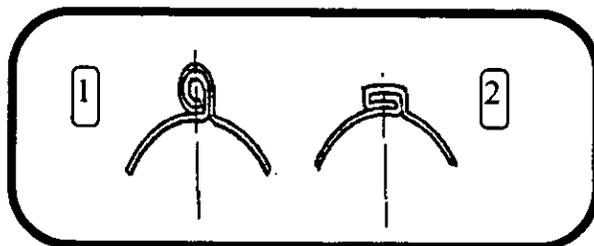


Fig. 19 Costura con engargolado por curvatura.(12)

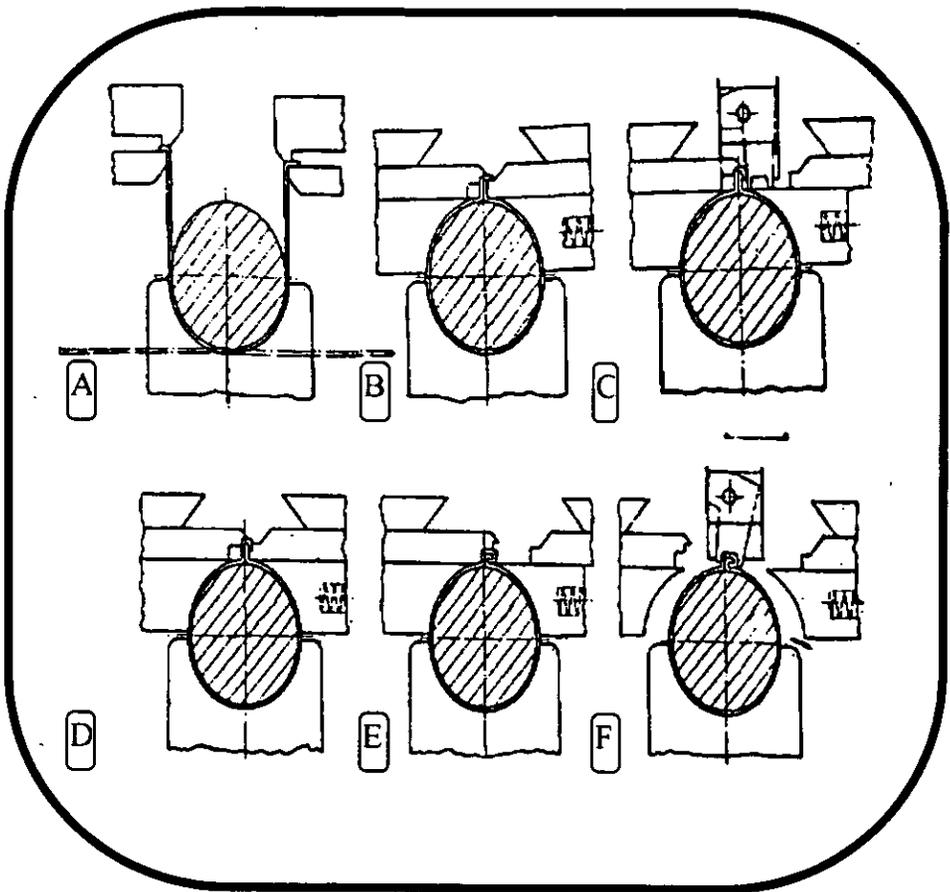


Fig. 20 Proceso de engargolado en prensa múltiple.(12)

Hasta aquí hemos analizado las posibles maneras de engargolar piezas de modo individual, pero cabe destacar que la secuencia de operaciones mostrada *se puede integrar en una formadora de rodillos para banda continua*, logrando hacer uniones de longitud infinita, optimizando el procedimiento con la continuidad de las operaciones. De esto hablaremos en la siguiente sección.

### **3.1 Experiencias obtenidas durante el diseño y construcción de una formadora de banda continua para tubos con unión engargolada, en una fábrica de escobas.**

El primer aspecto a considerar cuando se nos presentó la iniciativa de construir una máquina para fabricar tubos, fué decidir que tipo de unión emplearíamos después del rolado. Para ese entonces (1993), algunos fabricantes en el extranjero ya estaban introduciendo tubos engargolados para construir mangos para escobas y otros utensilios. Otros más en el país trataban de desarrollar el proceso con sus propios medios para poder utilizarlo, y algunos adquirieron equipo en el extranjero para empezar producir de inmediato.

También habían equipos para construir tubo soldado, sin embargo, éstos resultaban ser los más costosos.

Hubo quien intentó adaptar un equipo TIG a la salida del tren de formado, sin obtener los resultados óptimos que pretendía.

En nuestro caso se nos pidió desarrollar un tren de formado que fuera capaz de producir tubos con unión engargolada, y así evitar la inversión inicial que representaba un equipo de soldar por alta frecuencia. De este modo empezamos por diseñar el perfil de los rodillos que comprenderían el tren de formado.

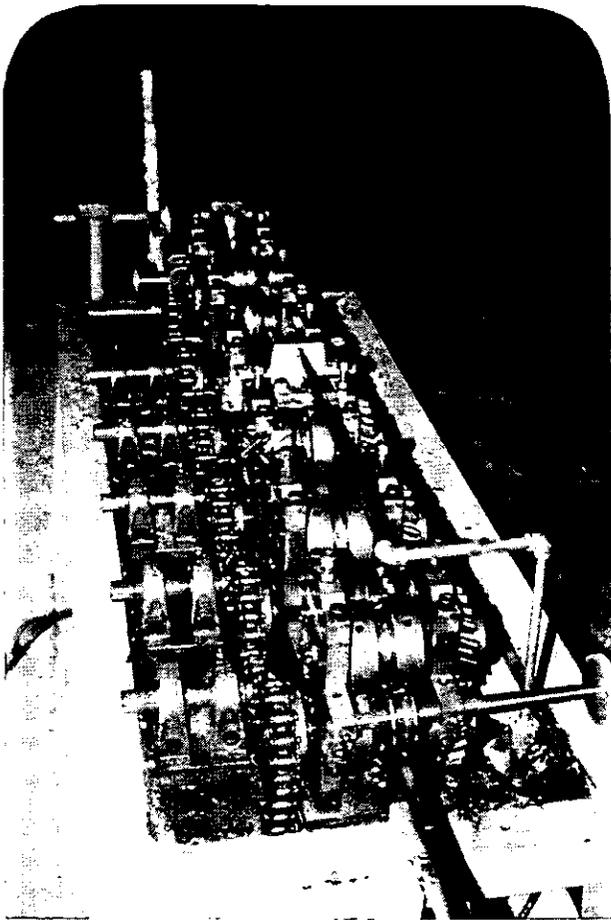


Fig. 21 Formadora de tubo con unión engargolada, diseñada y construida en una fábrica de escobas.(\*)

(\*) Diseñada y construida por Alfredo Espinosa Torres.

El tren de formado está compuesto por una secuencia de ocho operaciones que están dispuestas como sigue:

- *Moleteado de los bordes de la chapa.*
- *Doblez de los bordes.*
- *Semicierre de las pestañas.*
- *Primera etapa de curvado.*
- *Segunda etapa de curvado*
- *Tercera etapa de curvado*
- *Enganche de las pestañas*
- *Expansión y aplastamiento de la unión.*

Nota: La primera operación de moleteado es con la finalidad de producir un rizado en los bordes de la chapa, los que al formar la unión evitarán el corrimiento en sentido axial.

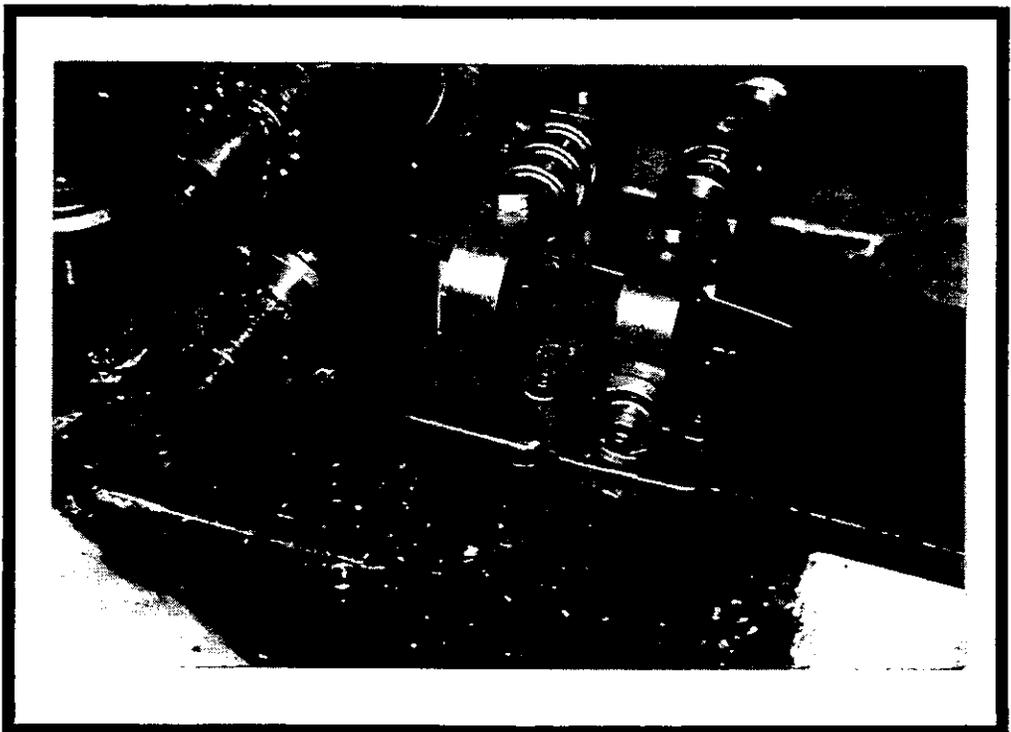
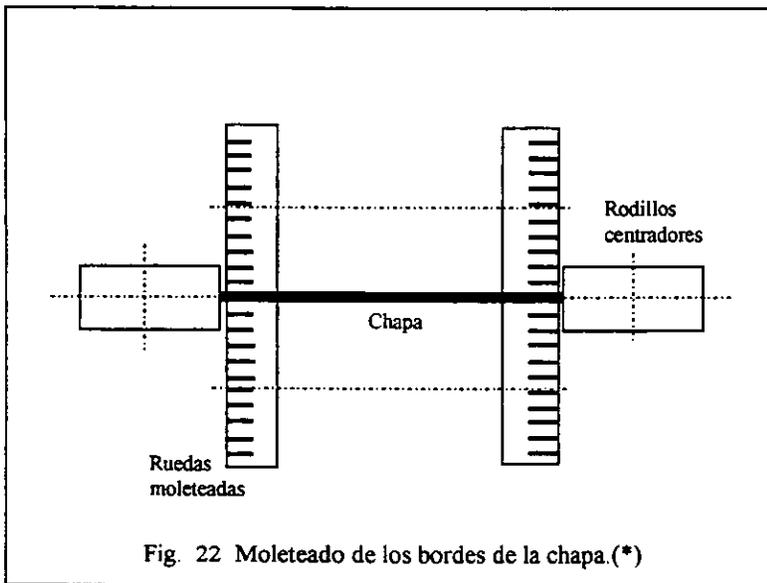


Fig. 22-A Detalle del moleteado.(\*)

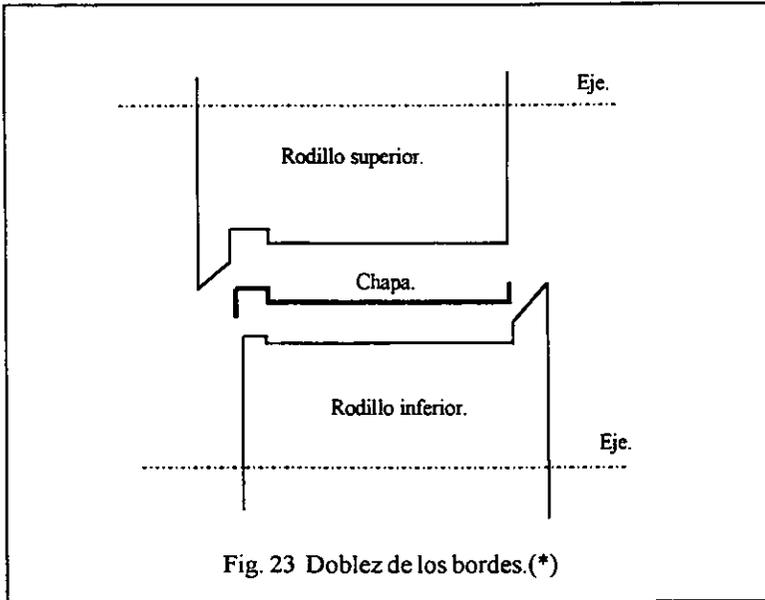


Fig. 23 Doblez de los bordes.(\*)

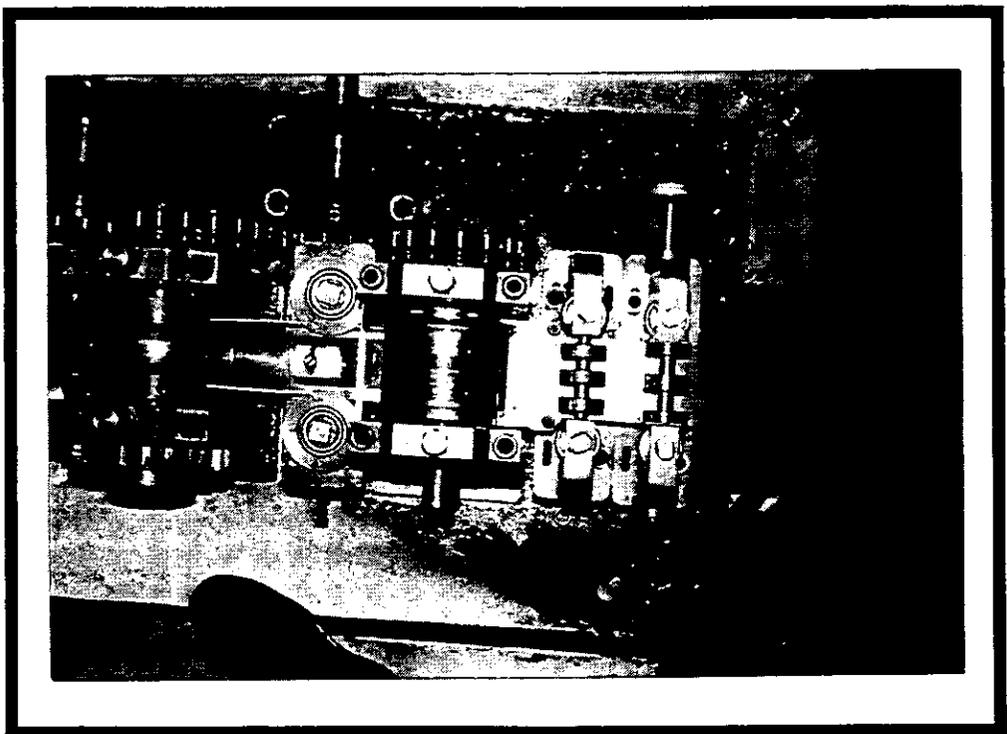
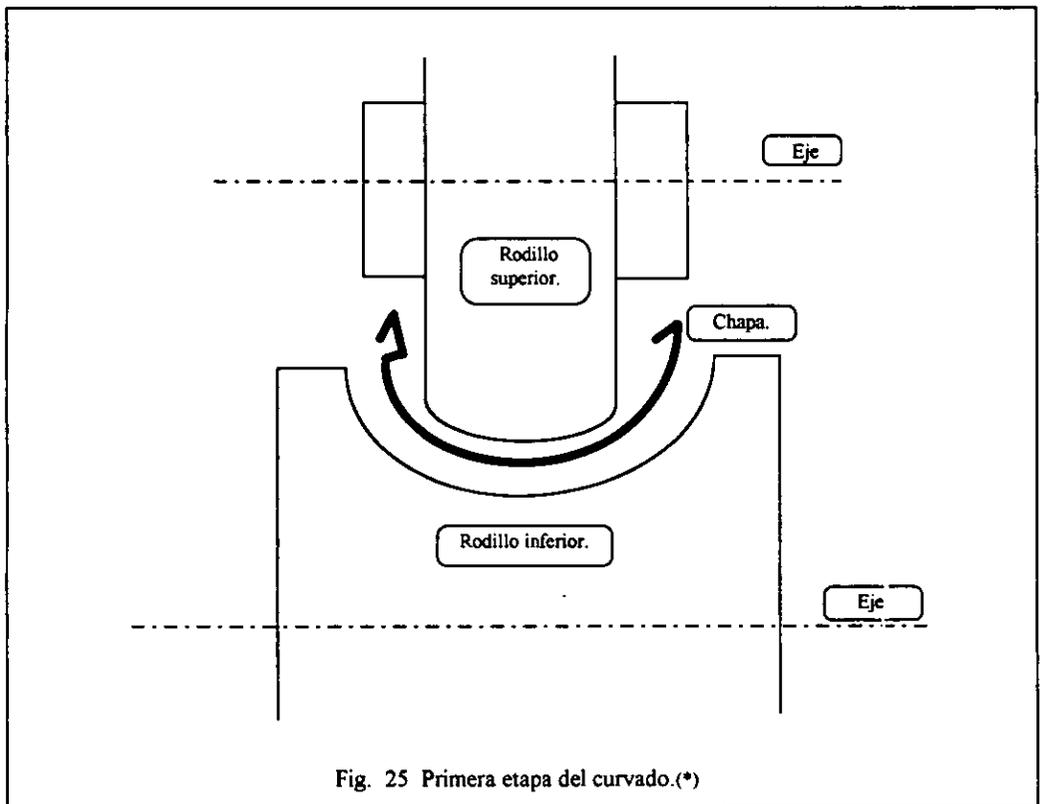
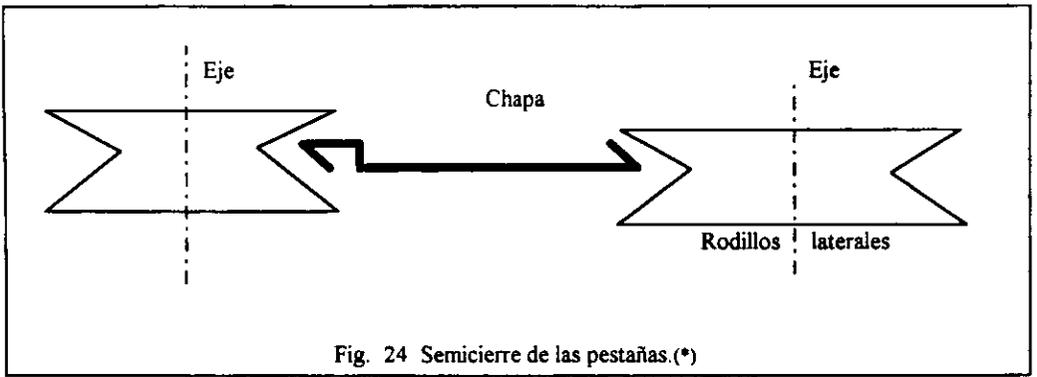
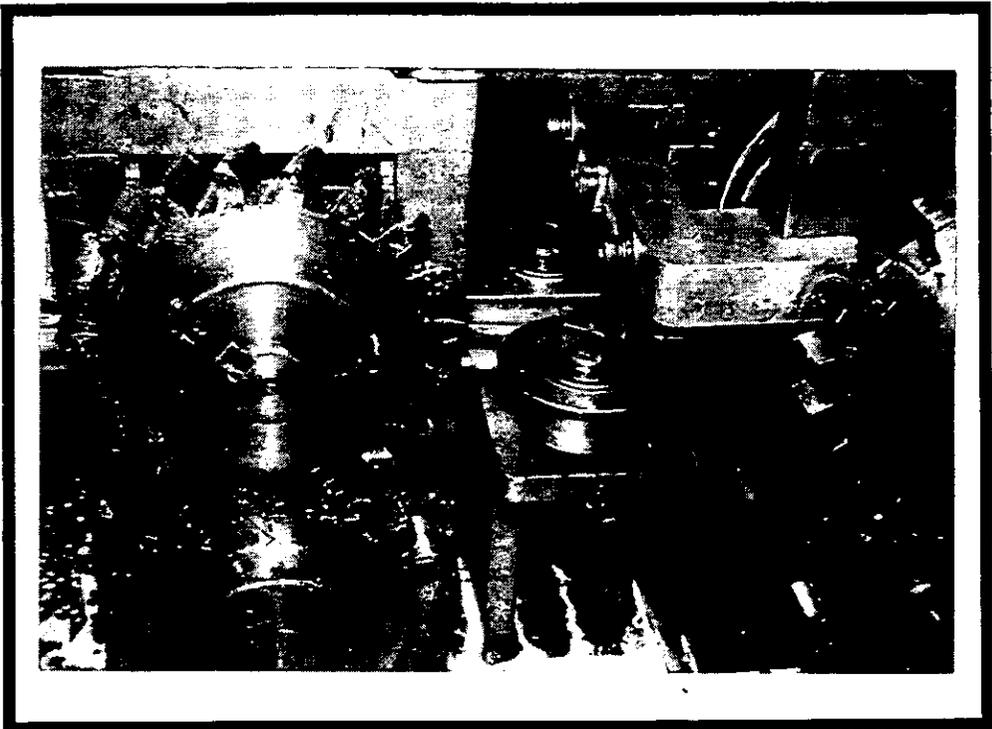
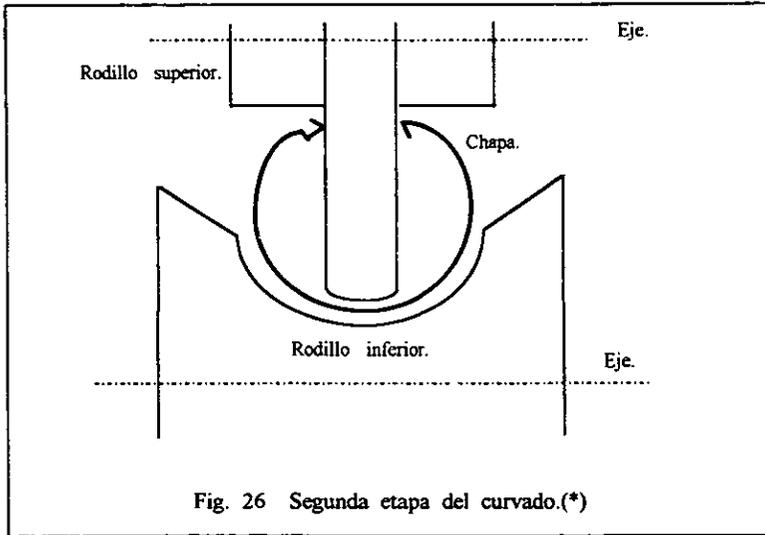
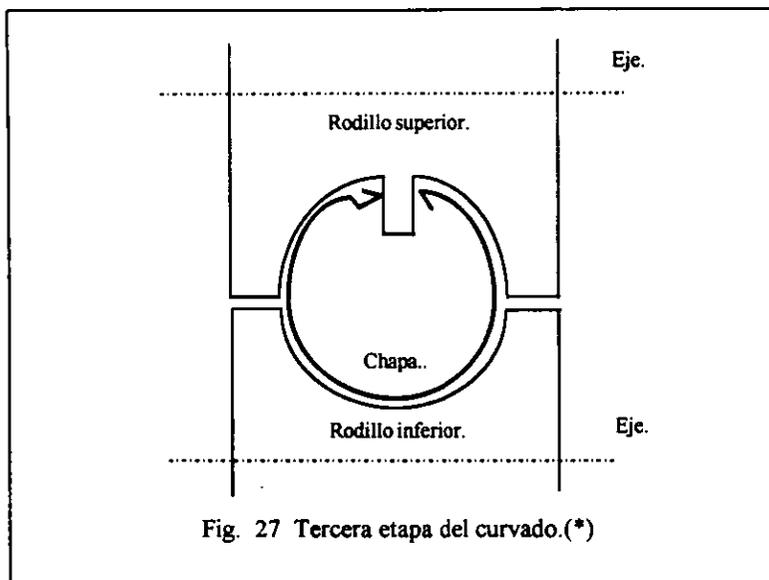


Fig. 23-A Ilustración del doblez de los bordes y primera etapa del curvado.(\*)







En este paso ya tenemos formado el tubo en su mayor parte, el siguiente paso consiste en cruzar o enganchar las pestañas lo que logramos con la ayuda de un rodillo auxiliar inclinado que está situado a la salida de la operación de la fig. 27. Una vez logrado esto se utiliza un mandril interior para expandir las deformaciones ocasionadas por el enganche de pestañas, dicho mandril tiene instalada una rueda moleteada de tal modo que sirve para aplastar el “nudo” haciendo presión contra un rodillo superior de respaldo y de ésta forma consolidar la unión.

En seguida se encuentra la etapa de calibración, en donde se corrige la redondez del tubo obtenido, para pasar finalmente a la sección de corte a la longitud deseada.

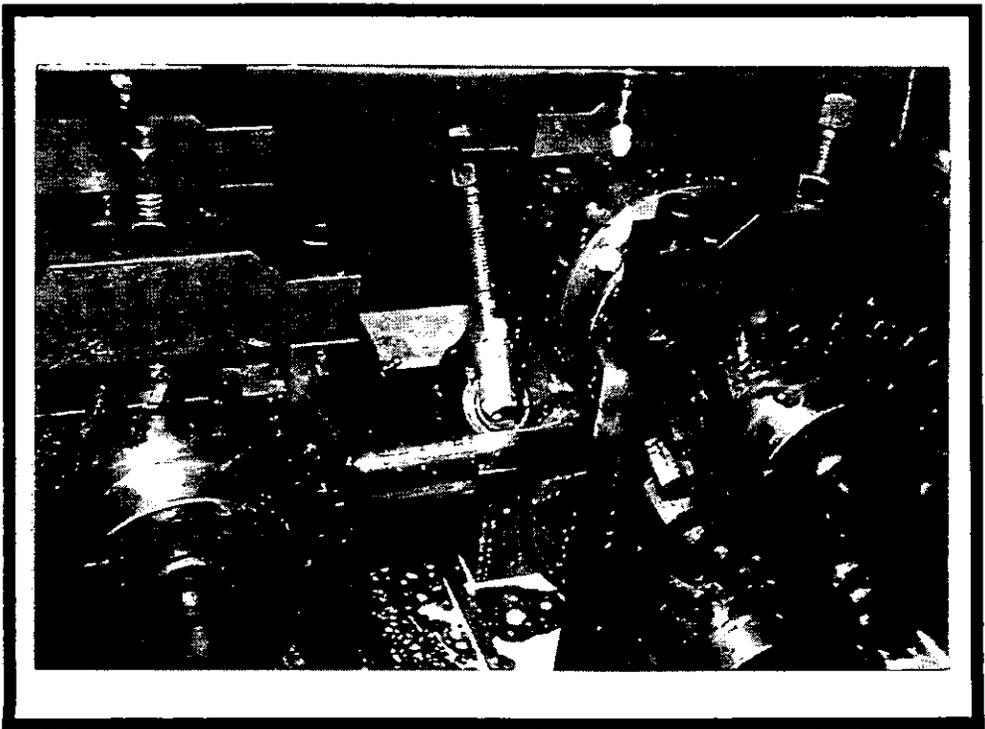
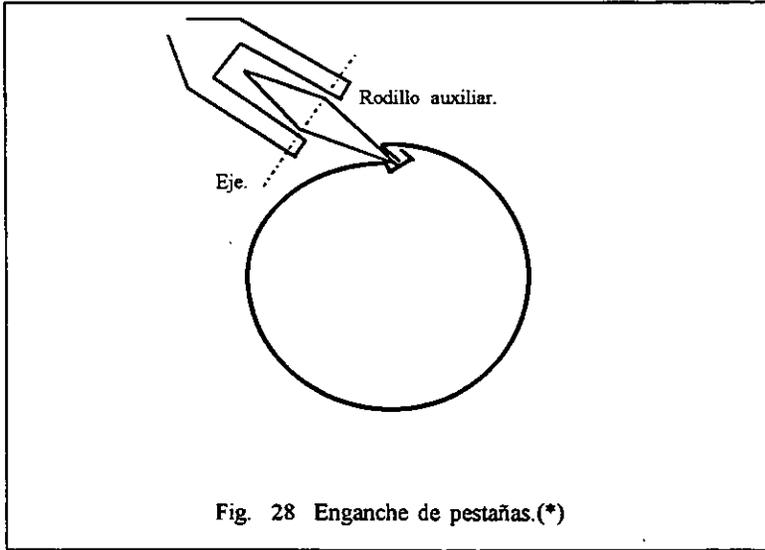


Fig. 28-A Rodillo auxiliar cruzando las pestañas.(\*)

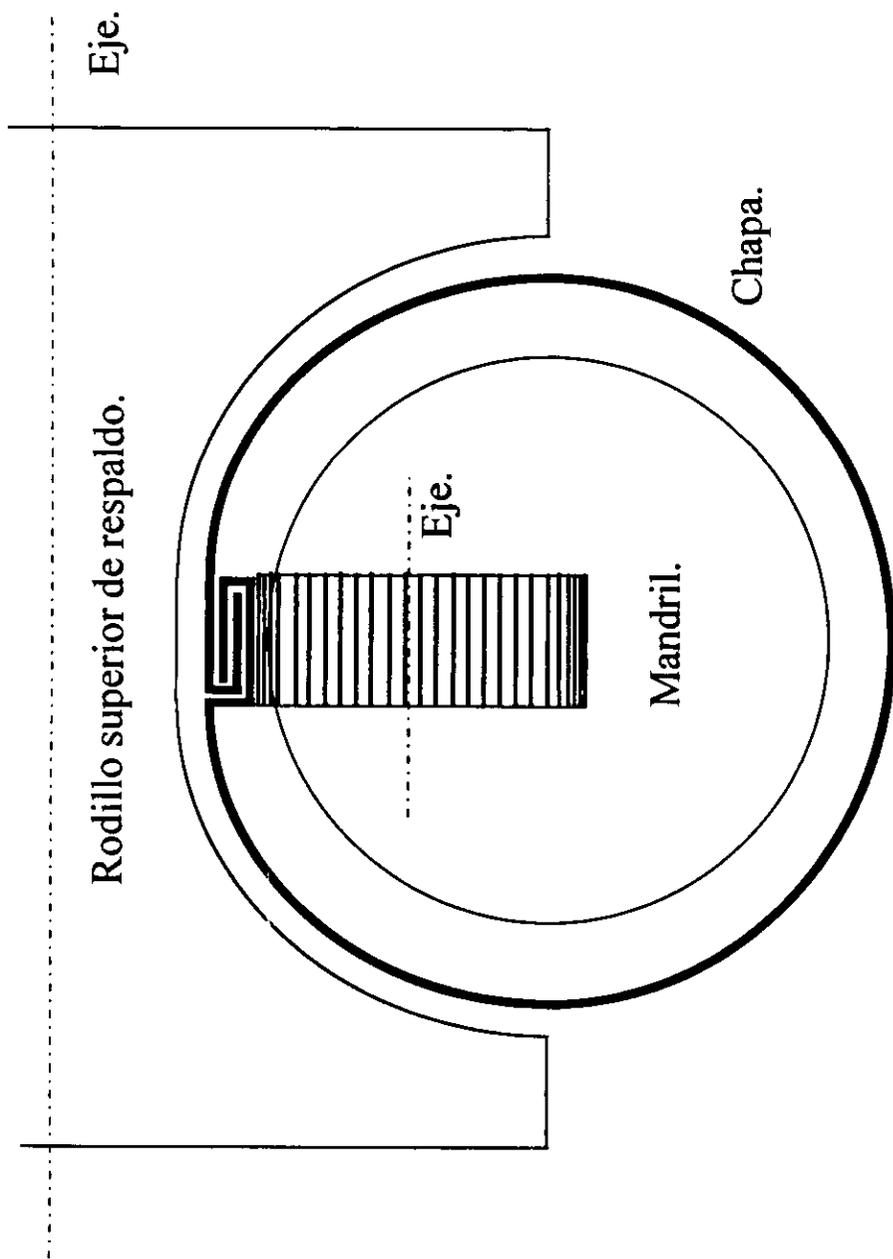


Fig. 29 Consolidando la unión.(\*)

La transmisión consiste en un conjunto de ruedas dentadas que son tiradas por una cadena en común, algunos equipos utilizan transmisiones a base de cajas de engranes con la finalidad de transmitir potencia a todos los ejes simultáneamente. Los rodillos inferiores transmiten movimiento a los rodillos superiores mediante un acoplamiento de engranes.

Con éste equipo hemos logrado una producción de 50 m/min. y se pudo automatizar el corte mediante un cabezal cortador deslizante, con el que se puede seccionar el tubo que sale de la máquina sin necesidad de detenerla.

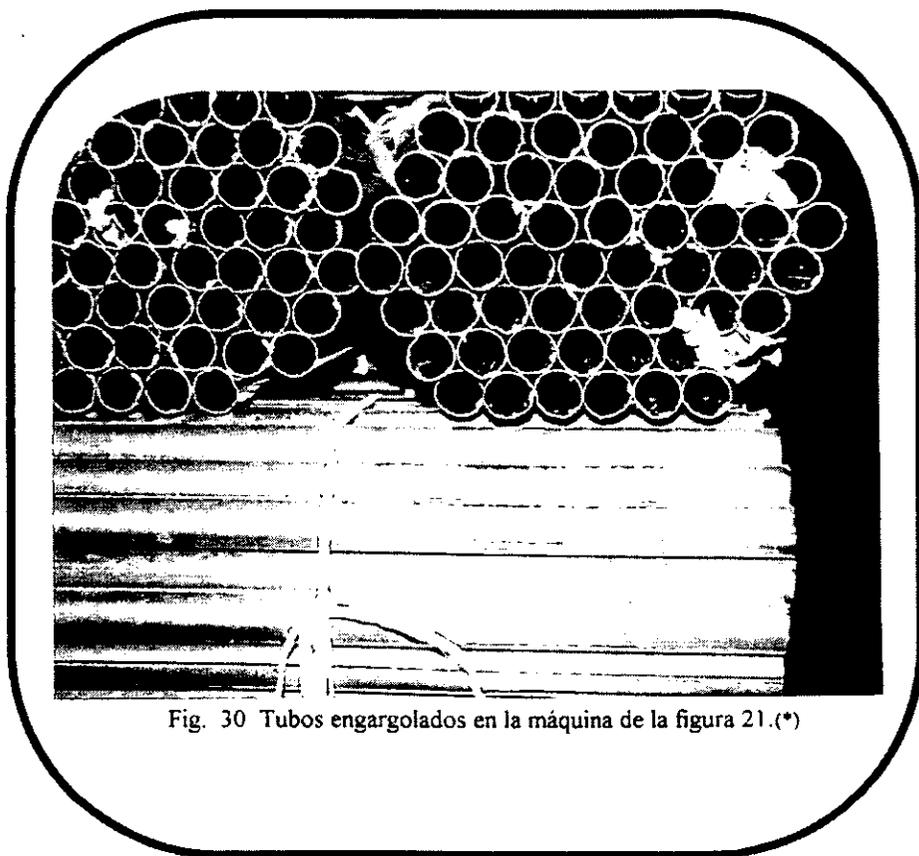


Fig. 30 Tubos engargolados en la máquina de la figura 21.(\*)

## *CAPÍTULO IV*

### *TUBOS METÁLICOS SIN COSTURA.*

## 4.0 Tubos metálicos sin costura.

La fabricación de tubos de acero sin costura se realizó por primera vez en 1885 según el procedimiento de los hermanos *Mannesmann*, en el que los tubos son fabricados a partir de un lingote laminado en un tren especial de rodillos. Poco después fue descubierto el método de barrenado en prensa de *Ehrhardt*. Éste y otros métodos similares se utilizan actualmente. La fabricación de tubos sin costura se divide en dos grupos fundamentales;

### *Fabricación de tubos metálicos sin costura.*



*Métodos de barrenado.*

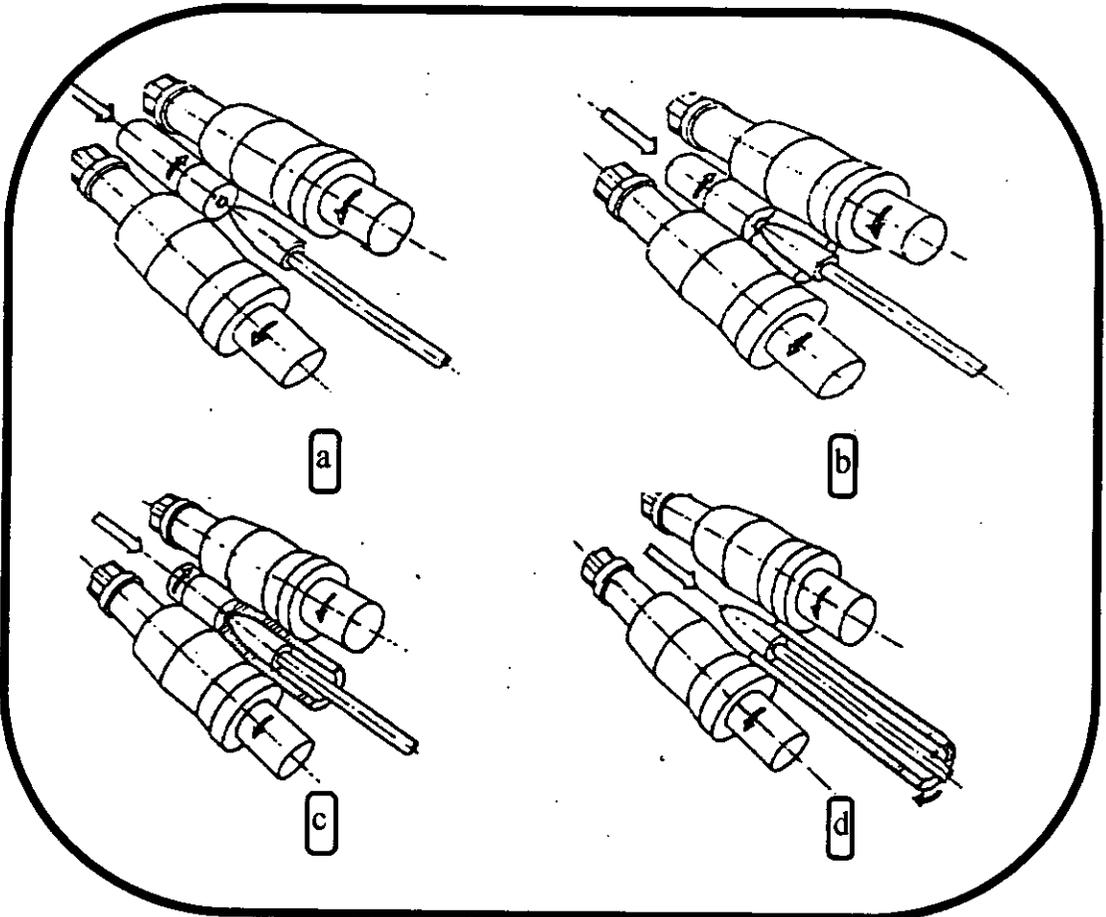
*Métodos de estirado.*

### 4.1 Métodos de barrenado.

#### 4.1.1 Método de barrenado de Mannesmann.

En el método de *Mannesmann* de rodillos inclinados, se introduce un lingote macizo para ser laminado helicoidalmente por dos rodillos de forma especial cónica que forman entre sí un ángulo de 3 a 6 grados y que giran en el mismo sentido, el lingote se desplaza entre los rodillos, y un mandril fijo lo atraviesa por su eje.<sup>(2)</sup>

Con éste método se producen tubos de pared gruesa, útiles en la construcción metalmeccánica y que se pueden someter a métodos de estiramiento para reducir el espesor de la pared.



Método de barrenado de Mannesmann.(2,16,25)

Es importante destacar que la perforación se producirá aun cuando no estuviera presente el mandril del centro, ya que únicamente cumple con la finalidad de alisar la superficie interna del tubo que se está formando, siendo los esfuerzos producidos por los rodillos, los que producen un agrietamiento en la parte central. (Ver fig. 32)

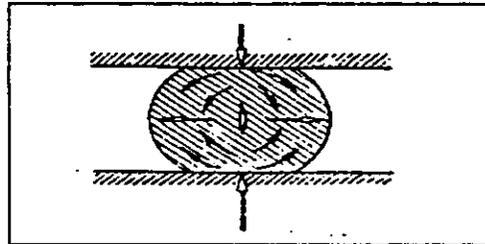


Fig. 32 Formación de grietas en el proceso de barrenado por laminación.(2.16)

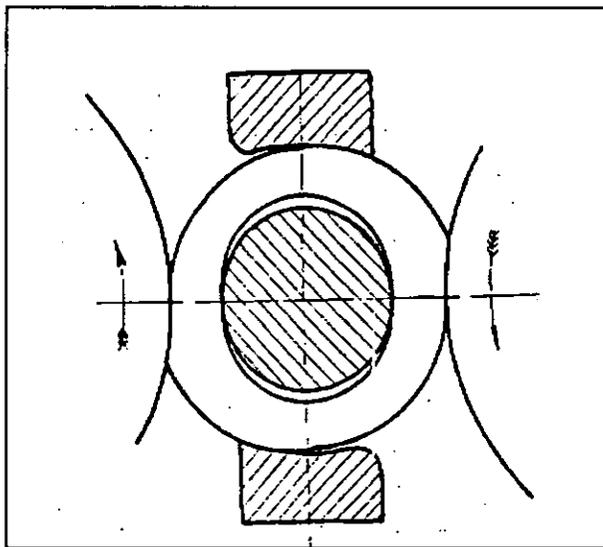


Fig. 33 Detalles internos del barrenado por laminación.(25)

### 4.1.2 Método de barrenado de Stiefeld.

Poco tiempo después del descubrimiento de *Mannesmann* aparecieron los métodos de *Stiefeld* para perforación por laminación con conos y perforación por laminación con discos, con los cuales logró obtener un espesor de pared delgado.(2)

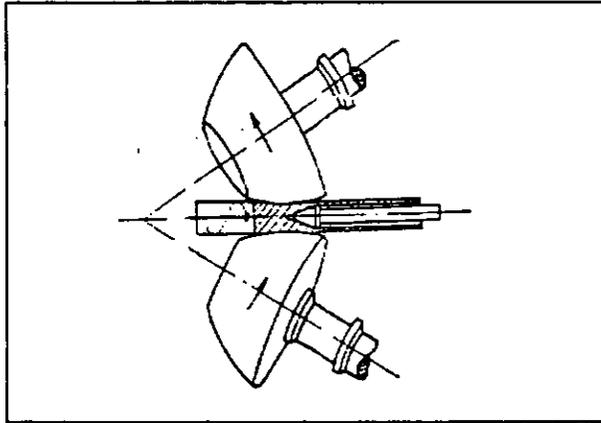


Fig. 34 barrenado por laminación con conos de Stiefeld.(2,25)

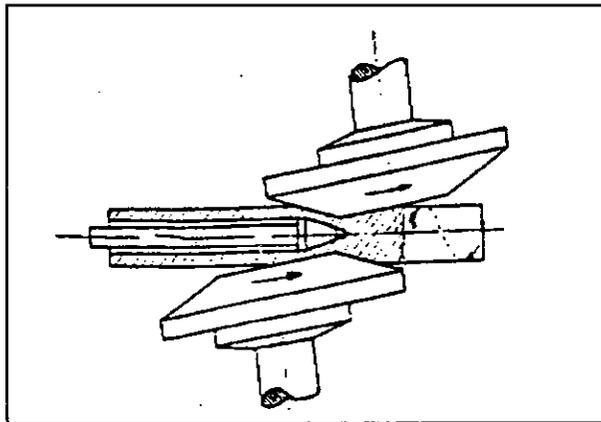


Fig. 35 Barrenado por laminación con discos de Stiefeld.(2,25)

### 4.1.3 Método de perforación en prensa.

El método de perforación en prensa se realiza aplicando un punzón de penetración accionado hidráulicamente sobre una lupia a temperatura de forja, dentro de una matriz, la pieza hueca obtenida se puede procesar en un banco de estirado para calibrar el espesor y aumentar su longitud, cortando al final el extremo cerrado para obtener un tubo.(8)

Nota: éste método es muy semejante al descrito en la sección 4.2.3.

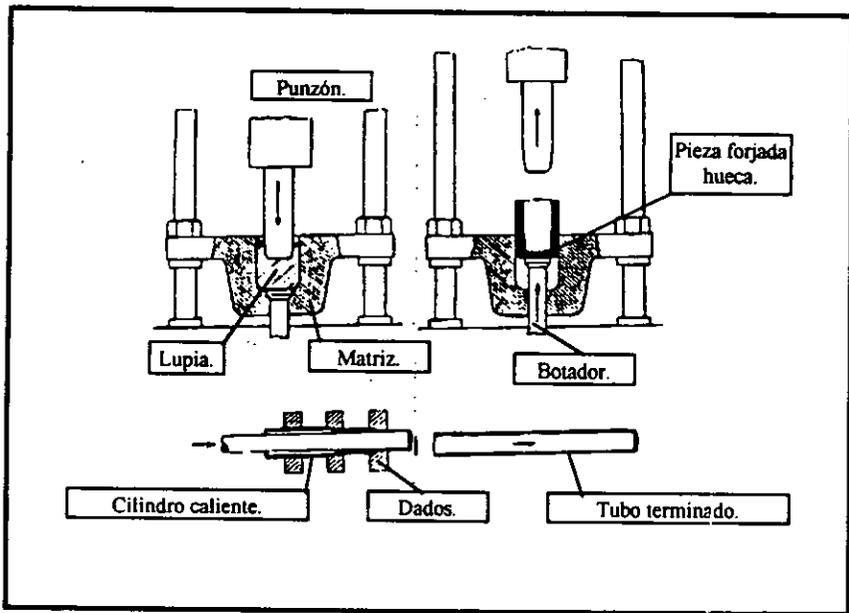


Fig. 36 Método de barrenado en prensa y estirado para producción de tubería.(8)

## 4.2 Métodos de estirado.

Con la creciente necesidad de producir tubos de pared delgada, se desarrollaron algunos métodos de estirado *para procesar los tubos obtenidos en los procesos de barrenado.*

Normalmente el lingote perforado es manipulado según el método de estirado desarrollado conjuntamente con el método de perforación, para convertirse en un tubo terminado; al método de estirado pueden seguirle laminaciones posteriores de calibrado mediante reducción o abocardado del diámetro.(2)

### 4.2.1 Estirado a paso de peregrino.

Los hermanos *Mannesmann* que pronto reconocieron que *no es posible fabricar un tubo comercial de pared fina por su método de rodillos oblicuos*, desarrollaron un método propio de estirado; el laminador a paso de peregrino, con el que se pueden laminar tubos con diámetro interior de **40 a 600 mm**, la longitud puede ser de **hasta 30 m**. Con éste método se realiza el trabajo muy rápidamente; tubos pequeños son laminados con **300 r.p.m.** de los rodillos, y tubos grandes con **30 a 40 r.p.m.**(2)

**Secuencia del método (ver fig. 29).**

1. *Amarre de la pieza en bruto y corte del material.*
2. *Estirado del material cortado.*
3. *Alisado de la parte laminada.*
4. *Retroceso del material y de la pieza en bruto.*

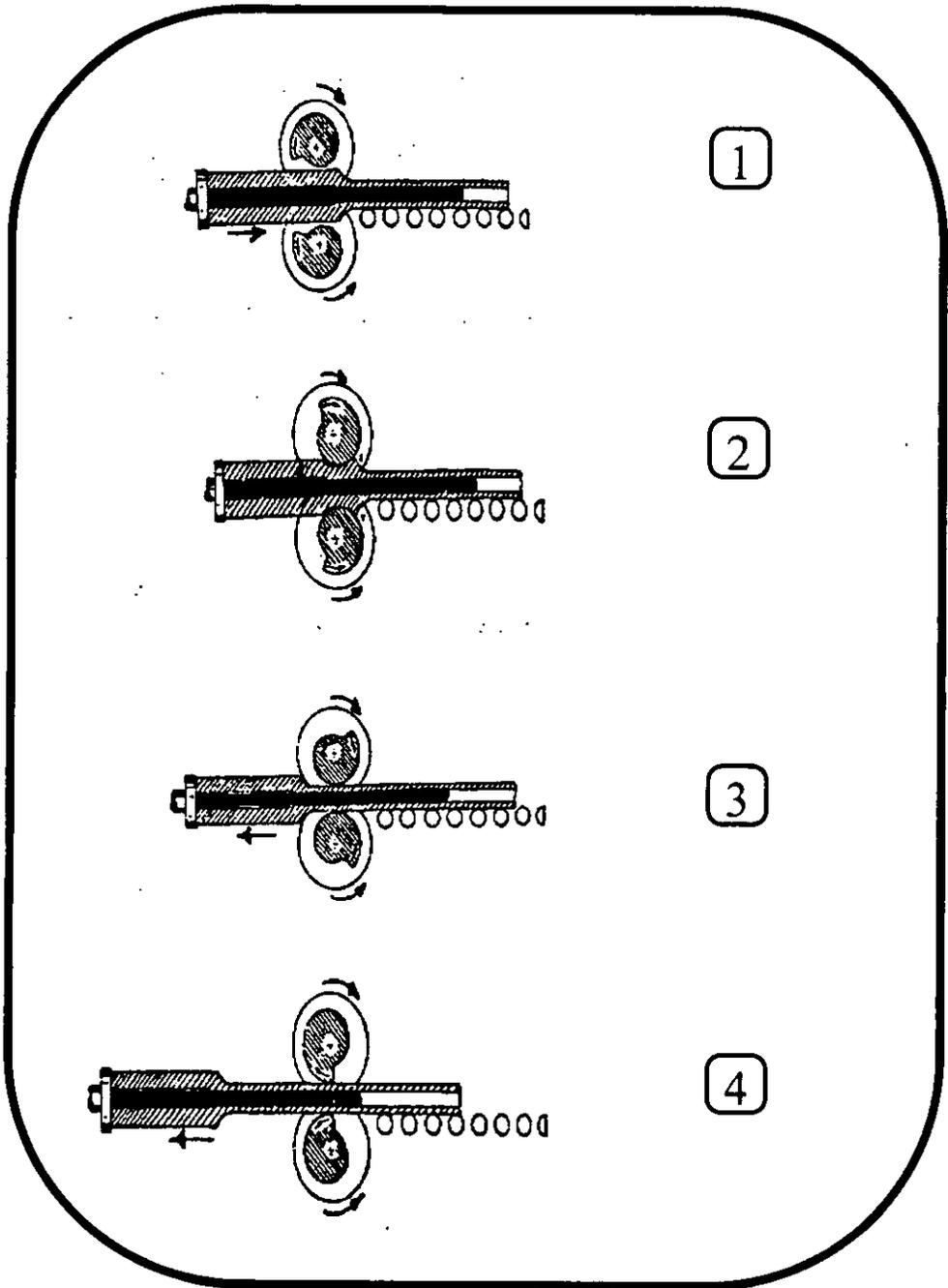


Fig. 37 Laminación a paso de peregrino.(2,16)

### 4.2.2 Laminación de tubos con punzón.

El método de *Stiefeld* consiste en un laminador de tubos con punzón. Los nódulos obtenidos en los laminadores de discos o de conos son de pared más fina que los obtenidos en el laminador de cilindros oblicuos de *Mannesmann*. Éstos nódulos de pared más fina no son laminados a paso de peregrino, sino que son laminados en varias pasadas en un mandril. En una caja de laminación se disponen dos cilindros en los que están trabajados calibres para tubos con diámetro creciente. El cilindro superior es regulable. En la parte de la salida se encuentra un par de rodillos de retroceso, así como una barra fija contra un tope dispuesta para admitir en su otro extremo mandriles recambiables. En la primera etapa, el nódulo es empujado en el calibre de laminación y laminado sobre el mandril, en seguida se separan los cilindros de laminación y actúan los cilindros de retroceso. En la segunda pasada se coloca un mandril más grueso y se gira el nódulo a 90°. La mayoría de las veces basta con dos pasadas. Se fabrican tubos de 60 a 350 mm de diámetro y 15 m de largo.

A continuación los tubos pasan por un tren calibrador para mejorar la calidad de la superficie en el interior y la exactitud de las medidas en el diámetro exterior.(2)

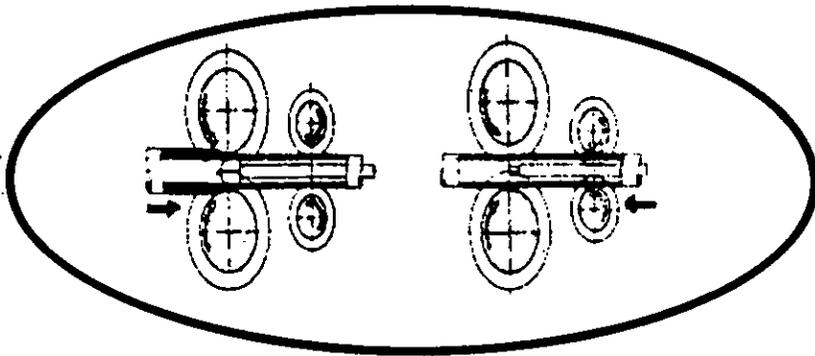


Fig. 38 Laminación de tubos con punzón.(2)

### 4.2.3 Banco de estirado.

El cuerpo hueco de pared gruesa perforado en la prensa es colocado en un mandril y empujado en un banco de estirado a través de una serie de matrices de estirado anulares, dispuestas una a continuación de otra y de sección decrecientes, fabricadas de fundición dura. Después de pasar por la hilera, el tubo que está en el mandril es ligeramente ensanchado en un tren de soltar constituido por un par de cilindros oblicuos y, finalmente separado del mandril. El tubo pasa a una sierra donde se le quita la zona del fondo sin perforar. De aquí pasa al tren de calibrado o reductor.

Por éste método se fabrican tubos de 60 a 140 mm de diámetro y largo de hasta 10 m.(2)

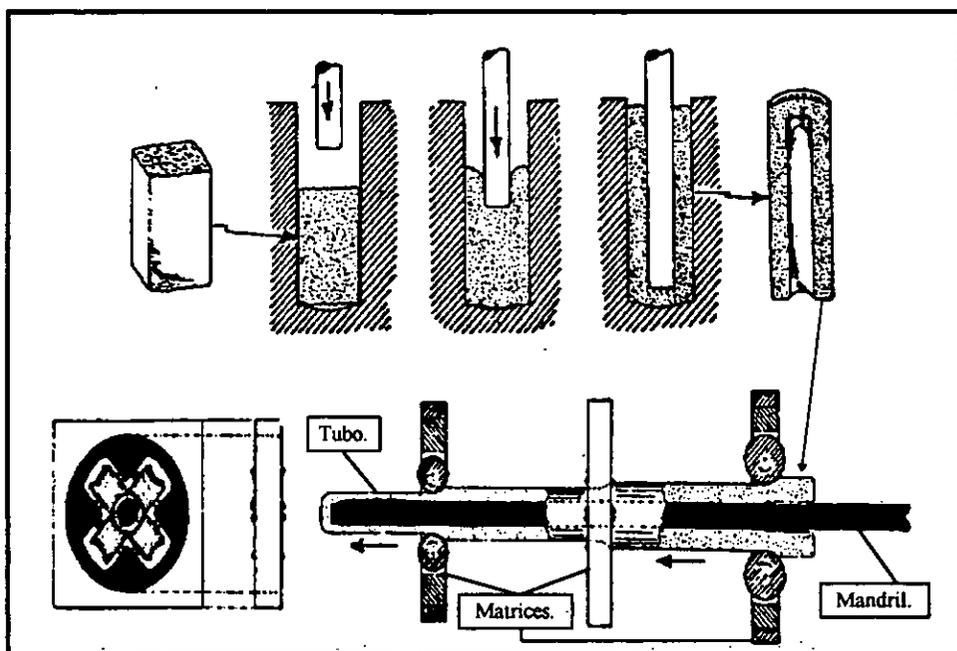


Fig. 39 Banco de empuje para estirado de tubos sin costura.(16)

### 4.3 Tren de reducción y tren de abocardado.

Los tubos fabricados según los métodos descritos se pueden reducir en su diámetro usando el tren de reducción, para lo que se calientan los tubos y se introducen en dicho tren en el que se aumenta progresivamente su velocidad de laminación, al tiempo que se reduce el espacio por donde pasa el tubo. En la reducción no se utiliza ningún mandril, con lo que se puede reducir el diámetro de tubos de 75 mm hasta un diámetro de 9mm.(2)

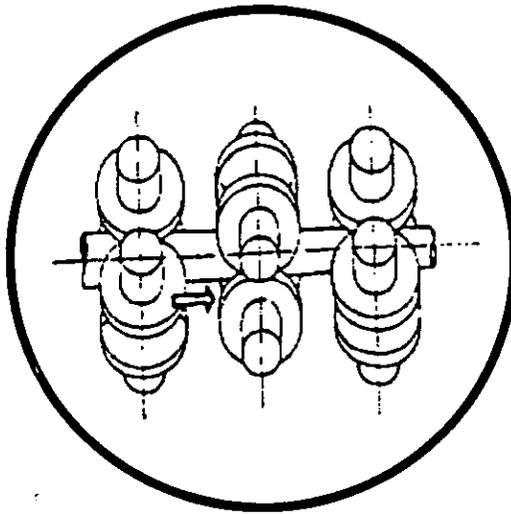


Fig. 40 Tren de reducción.(2)

El abocardado de tubos de diámetros mayores se realiza en el tren de abocardar de rodillos cruzados, provisto de rodillos cónicos y un mandril fijo.(2)

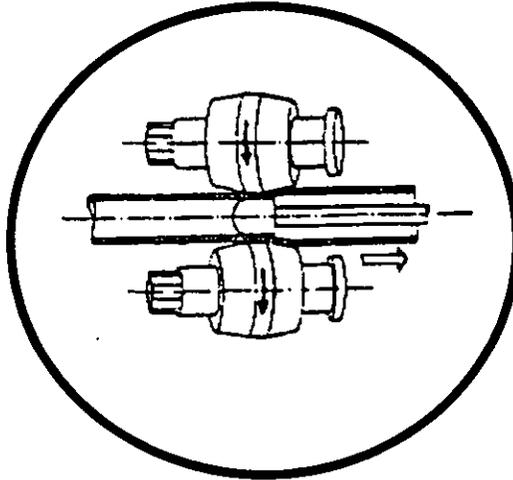


Fig. 41 Tren de abocardar.(2)

#### 4.4 Tubos metálicos extruidos.

El proceso de extrusión de metales consiste en transformar una masa metálica al forzarla a pasar a través de una matriz, calentando previamente dicha masa, para así obtener diversos perfiles en barras sólidas o tubulares. Algunos metales suaves como el plomo, estaño, y aluminio facilitan más el proceso, pudiéndose extruir en frío.

El primer metal extruido fue el plomo y en la actualidad se puede extruir acero utilizando lubricación vitrosa. La extrusión *tiene la ventaja de poder fabricar todas las formas que no pueden obtenerse por laminación*, con tolerancias dimensionales más cerradas, un acabado superficial más limpio, y mejores propiedades mecánicas.(3,17)

Existen dos variantes en el proceso de extrusión de los metales: *la extrusión directa y la indirecta*; En la extrusión directa, el lingote es forzado a través de una *matriz fija*, y el metal que se desplaza ejerce una fricción considerable sobre la pared del cilindro que lo contiene, sumándose ésta a la fricción que ejerce al pasar por la matriz. En la extrusión indirecta el metal es forzado en la *matriz móvil* que se encuentra en el extremo del émbolo, y al no haber movimiento relativo entre el metal y el recipiente, la fuerza requerida es menor a la necesaria en la extrusión directa. Sin embargo ésta última es la más utilizada debido a las complicaciones técnicas que implica la matriz móvil.(3,7,8,16)

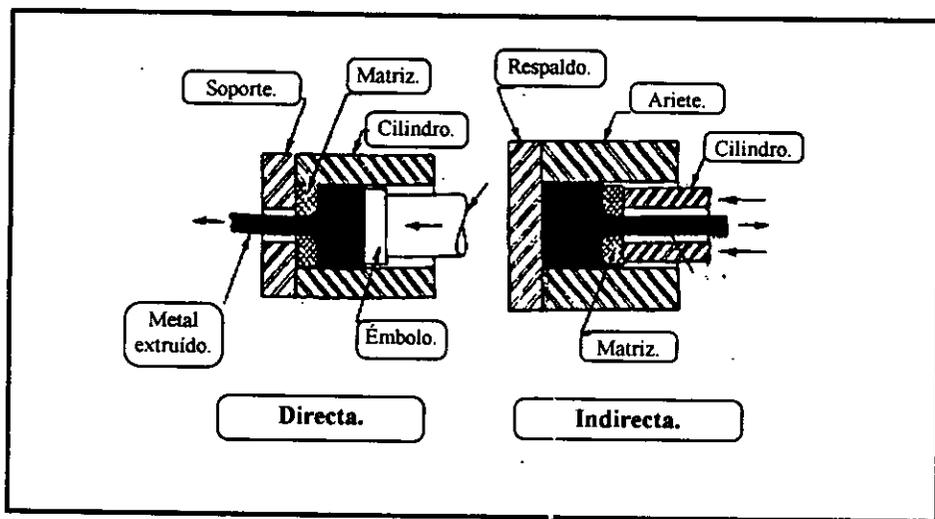


Fig. 42 Variantes de la extrusión de metales.(3,7,8,16)

La siguiente gráfica hace una comparación de las presiones necesarias en los métodos directo e indirecto , se puede notar el incremento inicial en el método directo seguido de una variación decreciente y que al final alcanza lo que sería el valor máximo de presión para el método indirecto.

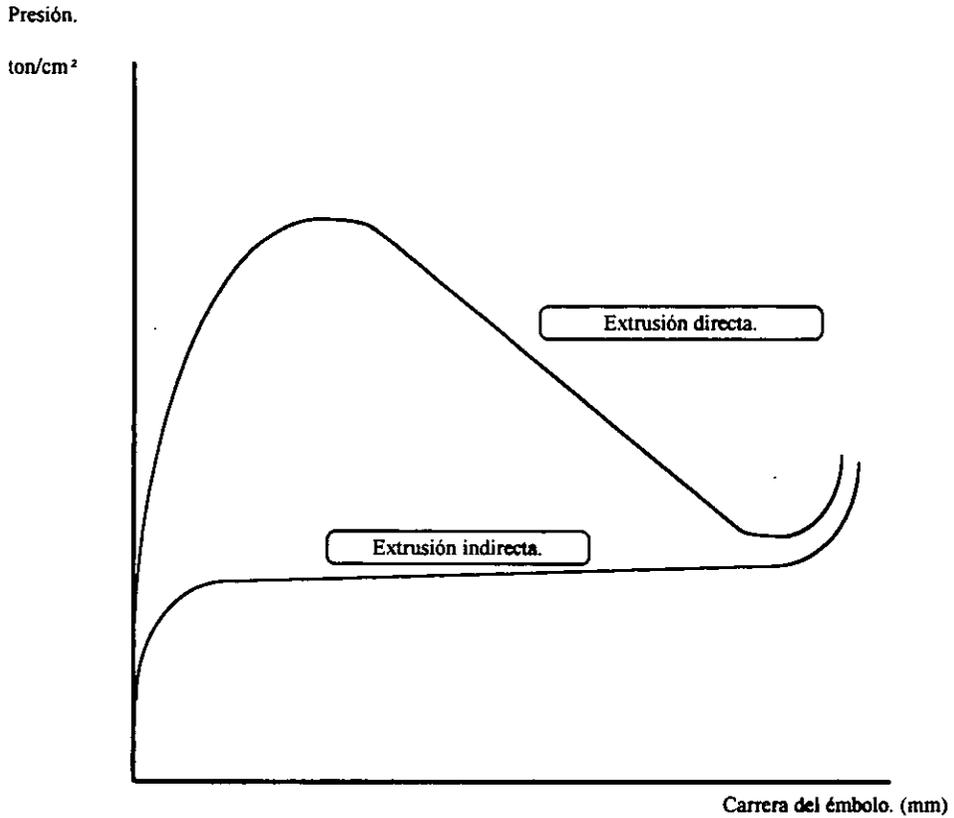


Gráfico 4 Variación de la presión para extruir aluminio.(3,16)

#### 4.4.1 Flujo del metal en la extrusión.

Ya se mencionó que en la extrusión indirecta la fricción entre el lingote y el recipiente es menor que en la directa, por lo anterior se tiene una menor turbulencia en la parte del lingote que no se ha extruido, comparada con la presentada en el método directo.(3)

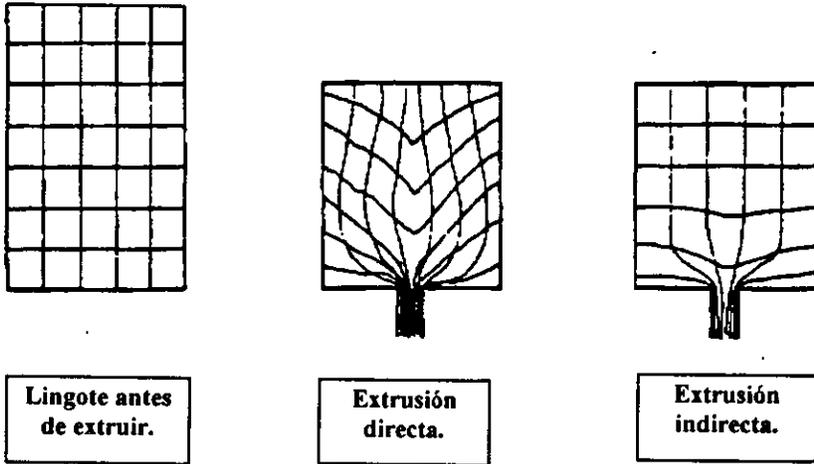


Fig. 43 Flujo del metal en la extrusión.(3,16)

Una turbulencia menor implica una reducción en el defecto de extrusión, dicho defecto consiste en el arrastre de la cubierta oxidada del lingote.(3)

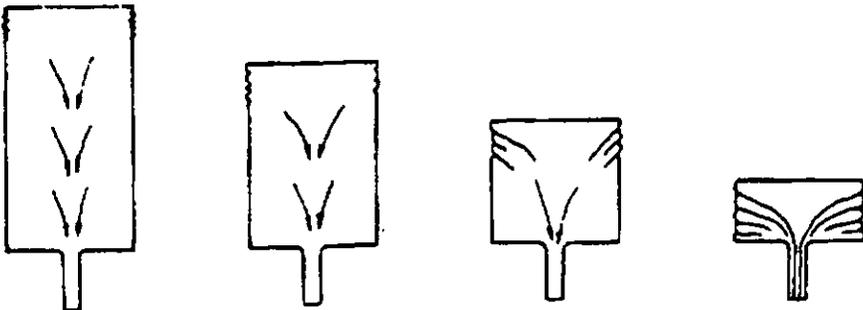


Fig. 44 Defecto de extrusión.(3)

## 4.4.2 Extrusión de tubos y formas huecas en metales.

Las formas huecas pueden extruirse utilizando mandriles fijos o móviles. Y para cavidades interiores más complejas, se utilizan mandriles radiales o de tipo araña.(5)

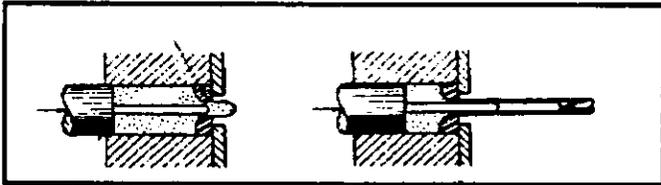


Fig. 45 Extrusión de tubos con mandril fijo.(5)

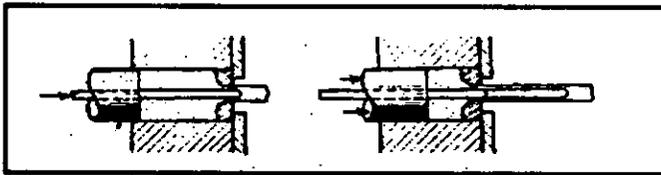


Fig. 46 Extrusión de tubos con mandril móvil.(5)

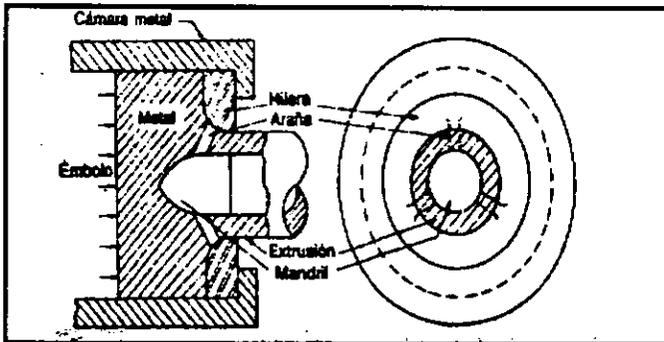


Fig. 47 Extrusión de tubos con mandril radial.(5)

### 4.4.3 Extrusión de tubos por impacto. (embutición)

Los tubos de pared muy fina como los usados para los recipientes de pasta dental se fabrican desde 1920 por éste método.

Existen dos variantes del proceso, la primera se realiza colocando un tocho de metal suave en una matriz cerrada de poca profundidad, previamente lubricada, a continuación se produce un choque a gran velocidad con un punzón cilíndrico y el metal se deforma hacia los lados del punzón, formando una película delgada que depende de la holgura entre punzón y matriz.

La segunda variante se conoce como proceso de Hooker, es una técnica de extrusión similar a la extrusión de tubo con mandril, pero se realiza a alta velocidad y se utiliza para tubos de cobre y latón.(3)

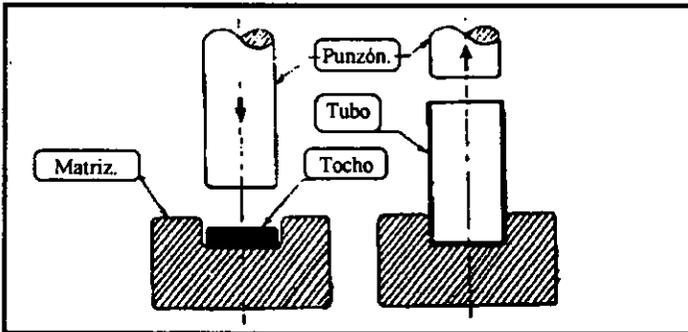


Fig. 48 Extruido por impacto.(3,8)

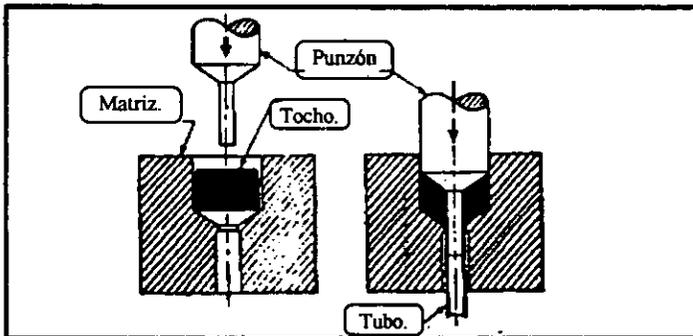


Fig. 49 Proceso Hooker de extrusión por impacto.(3,8)

## ***CAPÍTULO V***

### ***TUBOS DE PLÁSTICO***

## 5.1 Tubos de plástico extruidos.

El proceso de extrusión de plásticos consiste en forzar el paso de una masa fundida de algún polímero a través de un cabezal o dado de extrusión, con lo que se obtiene un artículo perfilado de sección constante y de longitud ilimitada.

Los tubos producidos por extrusión se obtienen mediante un dado especial y dispositivos periféricos de calibración, enfriamiento, y corte a la longitud deseada.

Además de producir tubos, la extrusión se aplica en la obtención de diversos artículos como son: película tubular, perfiles, láminas y película plana, filamentos, recubrimientos de cables, recubrimiento de tubos metálicos, y peletizado.(22)

## 5.2 Principios de la extrusión de plásticos.

Básicamente se conocen cuatro tipos de extrusoras de plástico:

- *Extrusoras de tornillo.*
- *Extrusoras de pistón.*
- *Extrusoras de disco.*
- *Extrusoras hidrodinámicas.*

Sin embargo, solamente las extrusoras de tornillo han tenido una aplicación importante en la industria debido a su alta producción y la elevada presión que desarrolla sobre la materia de trabajo.(18,19)

Por lo anterior dedicaremos nuestra atención *exclusivamente al estudio de las extrusoras de tornillo* , ya que las restantes proporcionan muy bajo rendimiento o muy baja presión de trabajo.(19)

El principio fundamental de las extrusoras de tornillo consiste en hacer girar un tornillo de canal helicoidal dentro de un cilindro de acero, el que cuenta con una abertura en un extremo para introducir el polímero granulado, y en su extremo terminal se coloca un cabezal o dado de extrusión a través del que será forzado a pasar el material que ha sido fundido a lo largo del recorrido, gracias a la acción mecánica del tornillo y al calor suministrado por los elementos calefactores instalados en la superficie externa del cilindro.(18,19,20,21,22)

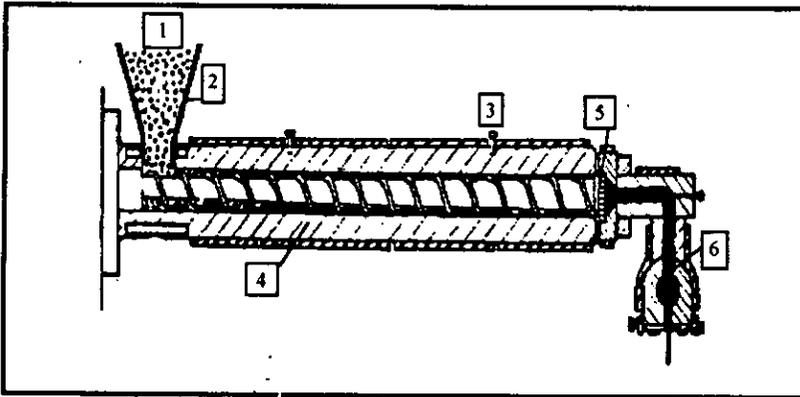


Fig. 50 Extrusora de tornillo para plásticos.(19)

1. Resina.
2. Tolva.
3. Termopares.
4. Cilindro.
5. Plato rompedor y filtros.
6. Cabezal y boquilla.

### 5.2.1 Los componentes principales de la extrusora de plásticos.

- *El tornillo.*
- *El cilindro.*
- *La boquilla para extruir tubos.*
- *Los elementos calefactores.*

El tornillo; es el órgano fundamental de la extrusora, ya que es la parte que mezcla, funde, y transporta el plástico hasta el cabezal o boquilla. Existen tres zonas características a lo largo del tornillo: alimentación, compresión y dosificación.(19)

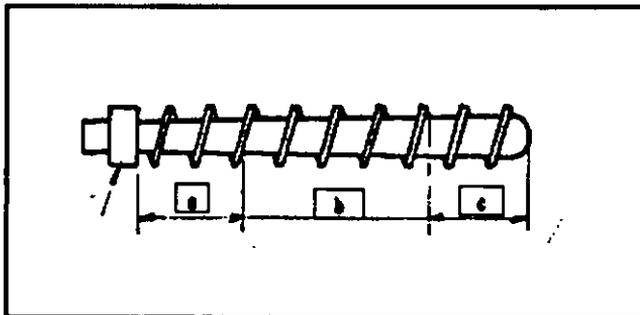


Fig. 51 Zonas características de un husillo plastificador.(19)

Los husillos de las extrusoras se construyen de acero endurecido superficialmente, por lo general son NITRURADOS, y en algunos casos son cromados, en particular para PVC.(22)

Existen extrusoras de uno o varios husillos, dependiendo del tipo de material a procesar, pero la mayoría de las máquinas que hay en el mercado son de un solo husillo, y dentro de ésta categoría se conocen diferentes tipos para aplicaciones específicas.(19)

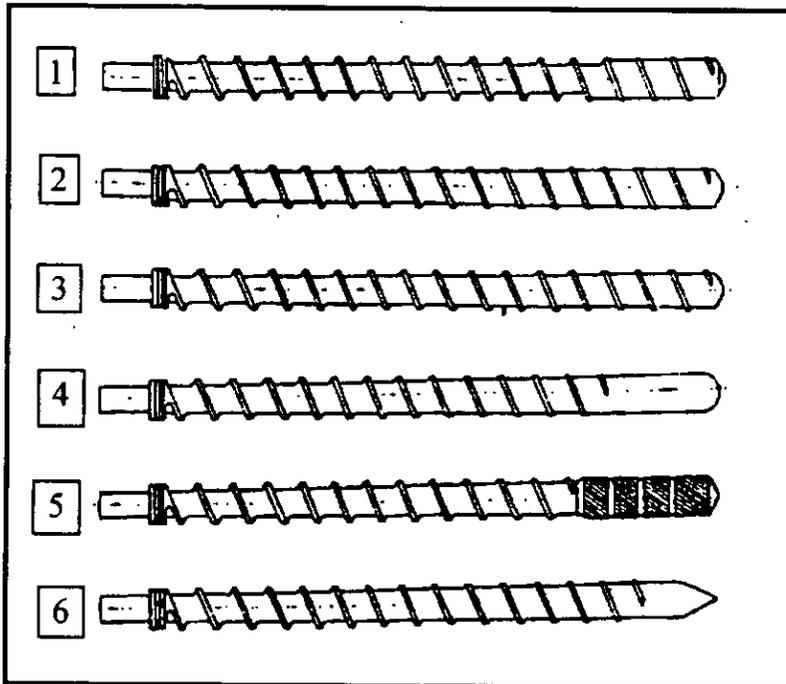


Fig. 52 Tipos de tornillos usados con diferentes materiales plásticos.(19)

1. Tornillo tipo nylon.
2. Tornillo tipo polietileno.
3. Tornillo de usos generales.
4. Tornillo tipo butirato.
5. Tornillo tipo estireno.
6. Tornillo tipo saran.

DIÁMETRO mm	PASO mm	PROFUNDIDAD DEL CANAL EN LA ZONA DE ALIMENTACIÓN (h1) mm	PROFUNDIDAD DEL CANAL EN LA ZONA DE EXTRUSIÓN (h3) mm	ANCHURA DE LA CRESTA DEL FILETE mm.
32	32	6	1.9	3.8
45	45	8	2.1	5
63	63	9.6	2.4	6.3
90	90	11.2	2.8	9
125	125	13.5	3.2	12
160	160	15	3.7	15

Tabla 4; Parámetros geométricos de los husillos.(18)

Existen otros parámetros importantes a considerar, como son: *la relación L/D (longitud/diámetro)*, que puede ser 20:1 , 22:1 o 25:1 entendiéndose que a mayor valor de dicha relación se producirá mayor acción mecánica sobre el polímero. *La holgura* entre el tornillo y el cilindro no debe ser mayor de 0.05 mm por cada 25 mm del diámetro del husillo. Y en cuanto a *la rugosidad superficial*, el material será impulsado con mayor efectividad por el tornillo , cuanto mayor sea la fricción del material contra el cilindro, y cuanto menor sea la fricción del material contra el husillo.(18,19,22)

Para el cálculo de los parámetros de un husillo se recomienda utilizar las ecuaciones empíricas siguientes.(18)

$$t = (0.8 \text{ a } 1.2)D \dots\dots\dots(10).$$

$$e = (0.06 \text{ a } 0.1)D \dots\dots\dots(11).$$

$$h1 = (0.12 \text{ a } 0.16)D \dots\dots\dots(12).$$

$$h3 = 0.5 [ D - \sqrt{D^2 - (4h1/i)(D-h1)} ] \dots(13).$$

$$L3 = (0.4 \text{ a } 0.6) L \dots\dots\dots(14).$$

$$\& = (0.002 \text{ a } 0.003)D \dots\dots\dots(15).$$

Donde **t** es el paso del husillo ; **e** es la anchura de la cresta del filete; **h1** y **h3** la profundidad del canal helicoidal en las zonas de alimentación y dosificación respectivamente; **i** es el grado de compresión ( se elige según el material a transformar ); **L3** la longitud de la zona de extrusión; **L** la longitud total efectiva del husillo; **&** el huelgo radial entre la cresta del filete y el cilindro.(18)

**Tornillo múltiple;** Debido a sus cualidades tecnológicas, éstas máquinas son ideales para trabajos de gran producción, obteniendo un mezclado completo a diferencia de las extrusoras de un husillo en las que sólo se alcanza un mezclado medio. Entre otras ventajas se mencionan la completa eliminación de los compuestos gelificantes, eliminación oportuna de la humedad, y permite la fabricación de artículos a partir de material en polvo.(18,19)

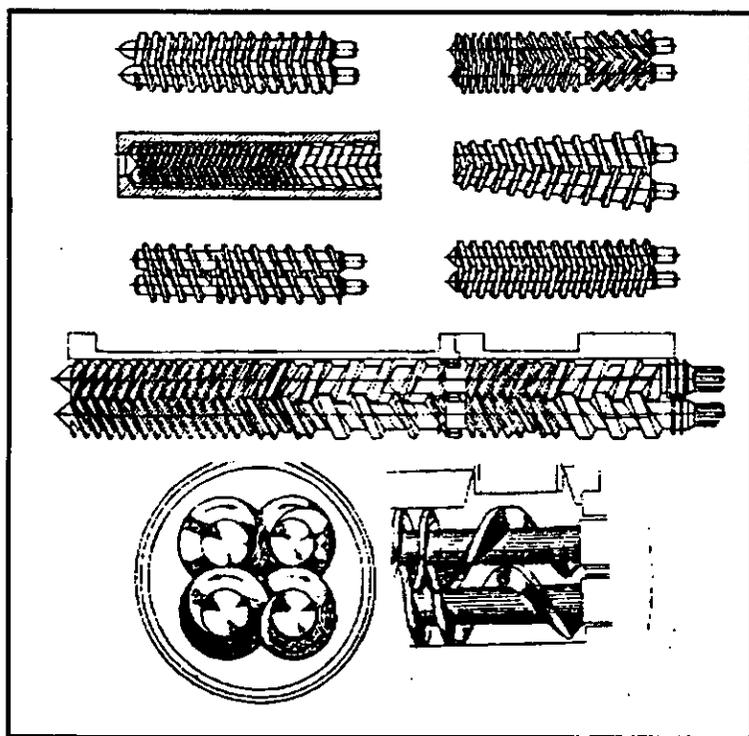


Fig. 53 Algunos diseños de extrusoras de 2 y 4 husillos.(18)

**El cilindro;** de la extrusora es el cuerpo de la máquina donde se aloja el tornillo. En su interior se fricciona el material plástico, y a través de éste se transmite el calor suministrado por los elementos de calefacción externos.

Los cilindros deben ser lo suficientemente sólidos para soportar presiones de  $700 \text{ kg./cm}^2$ , resistentes a los efectos térmicos (hasta  $400^\circ\text{C}$ ) y muy resistentes al desgaste y la corrosión.

Por lo general, el interior de los cilindros suele reforzarse con una camisa, pero también los hay sin camisa protectora, siendo directamente la superficie interior del mismo la que soporta la carga. En todos los casos la superficie interior deberá ser nitrurada. En el caso de cilindros bimetálicos se fabrican mediante fundición centrífuga y el espesor de la capa con que se reviste el interior será de  $1.5 \text{ mm}$ . El material con que se realiza el revestimiento es un acero cuyo nombre comercial es *Xaloy*, el cual proporciona una resistencia al desgaste tres veces mayor que los cilindros nitrurados.(18,19)

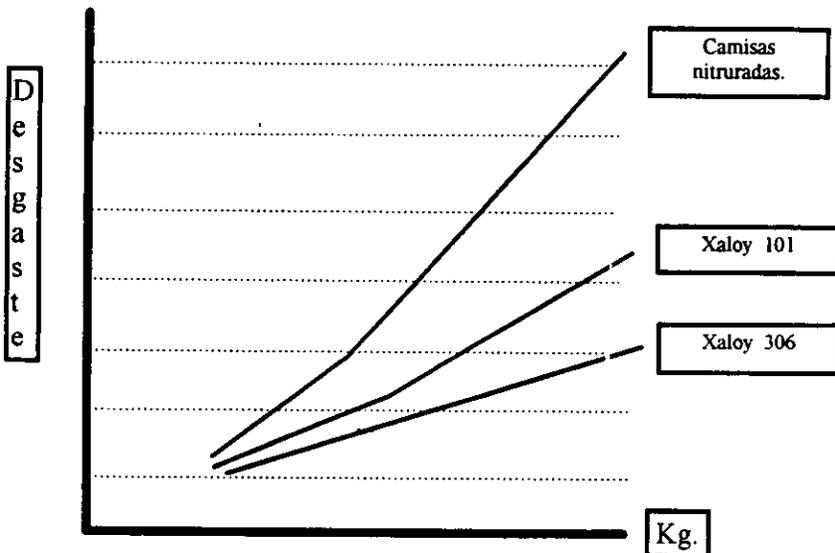


Gráfico 5; Resistencia al desgaste y corrosión de Xaloy y de camisas nitruradas.(19)

**Boquillas para la extrusión de tubos de plástico;** La ilustración 54 muestra un cabezal y dado típico para la extrusión de tubería de PVC (cloruro de polivinilo). El cabezal está maquinado de una sola pieza de acero y sirve para colocar las demás partes. Está colocado a la salida del cilindro, la resina fluye a través del cuerpo del dado, dividiéndose en tres partes por medio de la araña. Ésta araña tiene tres ranuras, pero las podría haber de dos, cuatro o más brazos. La resina llega al dado y mandril, donde se le dará la forma cilíndrica de la tubería.(22)

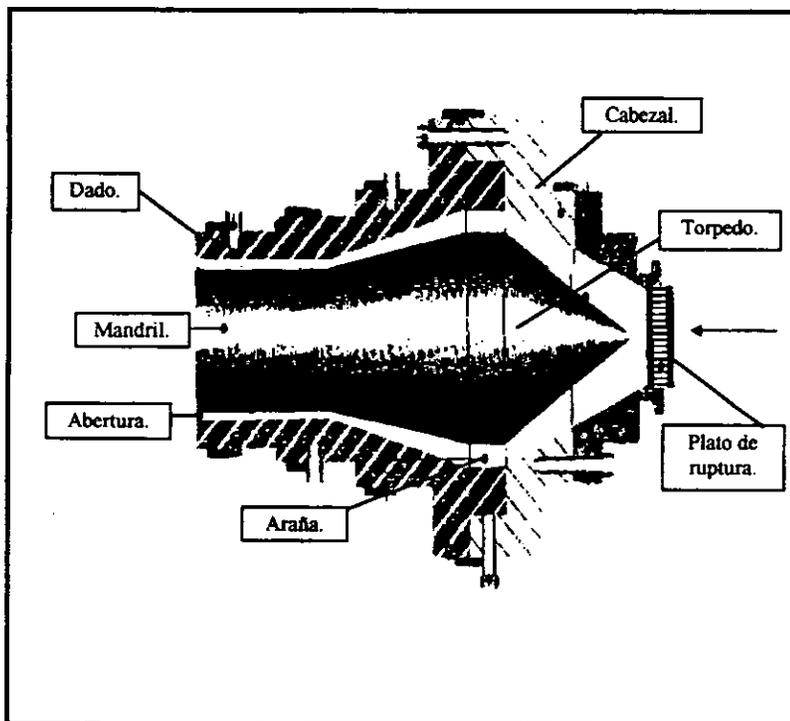


Fig. 54 Boquilla para la extrusión de PVC.(22)

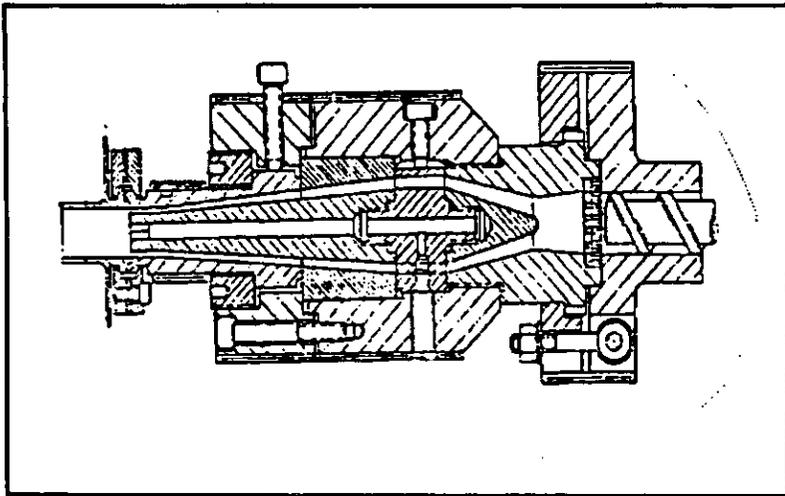


Fig. 55 Cabezal y boquilla para la extrusión de tubos con polietileno.(19,20)

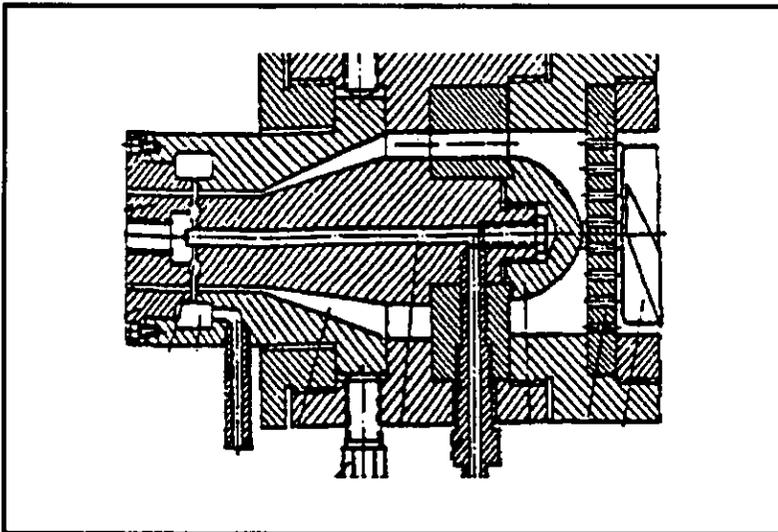


Fig. 56 Cabezal perfilador para extrusionar tubos de tres capas.(18)

**Los elementos calefactores;** La mayor parte de las extrusoras son calentadas por medio de resistencias eléctricas, dispuestas en bandas alrededor del cilindro y aisladas con mica o algún elemento aislante, son los más baratos y más corrientemente utilizados. La calefacción con resistencias eléctricas tiene decididas ventajas sobre los métodos de calefacción con algún fluido o con vapor. Es normal dividir el cilindro en varias zonas de calefacción, con elementos controlables independientes en cada zona.(19)

Los elementos eléctricos de calefacción en bandas presentan algunos inconvenientes; cuando se emplea una potencia calorífica con elevada densidad superficial, las temperaturas suben demasiado y esto da lugar a zonas demasiado calientes y a una mayor corrosión de los cilindros. Otra desventaja es que éste tipo de calefactores no puede estar aislado perfectamente en las terminales dando lugar a cierta inseguridad.(19)

Otra manera de calentar el cilindro es instalando elementos calefactores encastrados en bloques colados de aluminio, con los que se obtiene una mayor duración de los elementos calefactores, sin embargo éste método comparte con el anterior la desventaja de que actúan como aislantes térmicos al rodear el cilindro y no permiten una rápida disipación del calor cuando el cilindro aumente demasiado su temperatura.(19)

A pesar que los métodos de calefacción mencionados anteriormente son los más utilizados, *el calentamiento por inducción* resulta ser el más efectivo y económico. Por lo general éstos calentadores por inducción tienen mayor duración, desarrollan una potencia específica de calentamiento muy elevada, y evitan recalentamientos locales en el cilindro, debido a que su temperatura no supera nunca la temperatura del cilindro. Éste último es calentado por la inducción de las *corrientes parásitas de Foucault*

y las pérdidas por histéresis. Por otro lado no es preciso el contacto íntimo del calentador con el cilindro, lo que facilita considerablemente la distribución de los canales de refrigeración. La única desventaja de éste tipo de calefacción es su precio elevado y las dificultades para su reparación.(18)

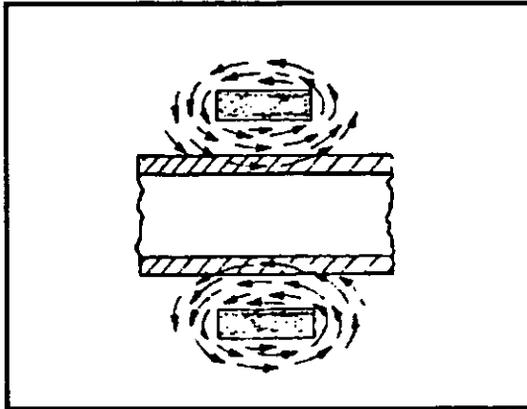


Fig. 57 Calentamiento del cilindro por inducción.(19)

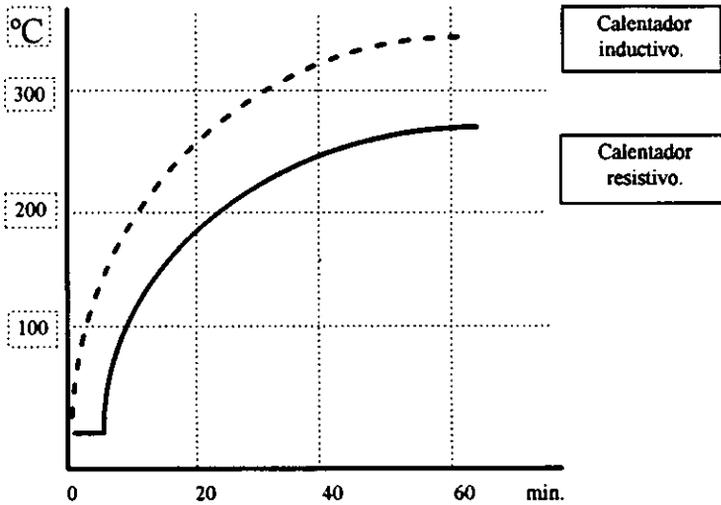


Gráfico 6; Características dinámicas de los calentadores.(18)

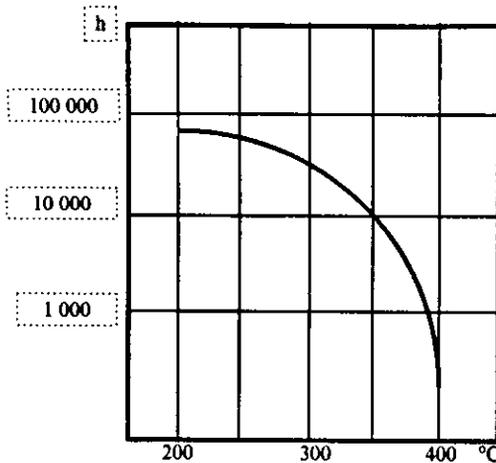


Gráfico 7; Relación existente entre la duración de los calentadores de inducción y la temperatura.(18)

Resumen de las características del calentamiento del cilindro por inducción:

- *Las bobinas de inducción calientan el cilindro desde el momento que son conectadas.*
- *No se consume tiempo ni energía en calentar inicialmente la masa del elemento de calefacción, a diferencia del calentamiento con resistencias.*
- *En el sistema prácticamente no hay fluctuaciones y las temperaturas medias son muy aproximadas a la temperatura del polímero.*
- *Se puede instalar mayor potencia por unidad de superficie, alcanzando mayores temperaturas en menos tiempo.*
- *Las bobinas trabajan a una temperatura mucho menor que la del cilindro.*(19)

### 5.3 Instalaciones para la extrusión de plástico.

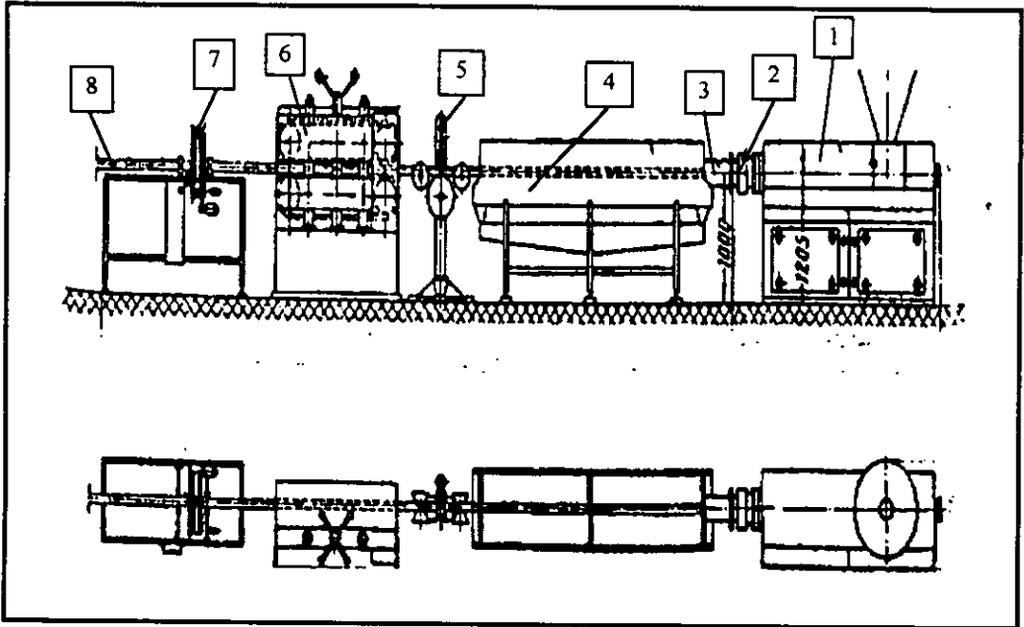


Fig. 58 Línea para tubería de plástico.(18)

1. Extrusor.
2. Cabezal.
3. Calibrador.
4. Dispositivo de enfriamiento.
5. Medición.
6. Oruga para estirado.
7. Corte a la medida.
8. Tubos a la medida.

## 5.4 Recubrimiento de plástico para tubos metálicos.

El recubrimiento de plástico para tubos metálicos en la producción de mangos para escobas tiene como objetivo principal proporcionar una superficie mas suave al tacto, así como una mejor apariencia, combinada con la resistencia del metal, proporciona una de las mejores opciones para los fabricantes.

El procedimiento que se utiliza es el mismo que se aplica para recubrimiento de cables conductores, en donde se acopla una boquilla especial a la salida de la extrusora, en nuestro caso haremos un acoplamiento de una extrusora a la salida de una formadora de tubo, con lo que se aplicará el recubrimiento de manera simultánea con la fabricación del tubo.

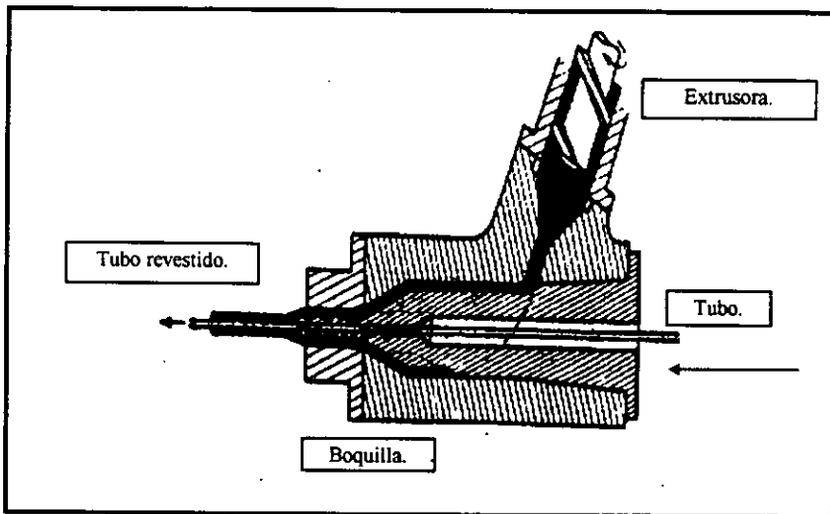


Fig. 59 Revestimiento de tubos y alambres.(19,20,21,22,23)

## 5.5 Selección de algunos materiales plásticos.<sup>(24)</sup>

### *Termoplásticos industriales:*

- Polietileno.(PE)
- Polipropileno.(PP)
- Poliestireno.(PS)
- Copolímero de estireno.(SAN)
- Poliestireno resistente al impacto.(ABS)
- Policloruro de vinilo.(PVC)
- Policloruro de vinilideno.
- Polimetacrilato.(PMMA)
- Polietilentereftalato.(PET)

### *Termoplásticos en ingeniería:*

- Poliésteres.(Termoplásticos)
- Poliamidas.
- Poliacetales.
- Sulfuro de polifenileno.
- Policarbonatos.
- Polisulfona.
- Éter polifenilénico modificado.
- Poliimidias

### *Termoplásticos fluorados:*

- Politetrafluoroetileno.(PTFE)
- Policlorotrifluoroetileno.(CTFE)
- Etilenpropileno fluorado.
- Polifluoruro de vinilideno.
- Polietilen-trifluoroetileno.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- Polietilen-clorotrifluoroetileno.
- Polifluoruro de vinilo.

***Termoestables:***

- Resinas fenólicas.
- Resinas epóxicas.
- Poliésteres no saturados.
- Resinas alquídicas.
- Dialilftalato.(DAP)
- Aminorresinas.

**Polietileno (PE):**

Entre los plásticos, los polietilenos son los que se usan en mayores volúmenes, existen: polietileno de *alta densidad y baja densidad* ; Los polietilenos de alta densidad se utilizan principalmente en artículos moldeados por soplado como botellas, tanques de gasolina, tambores y garrafas, artículos moldeados por inyección como recipientes, partes para automóviles y utensilios domésticos.(24)

Los polietilenos de baja densidad se usan principalmente en películas para empaquetado de alimentos, en aislamientos eléctricos, extrusionados para recubrimiento de cables, y juguetes.(24)

### **Polipropileno(PP):**

Es un termoplástico cristalino de baja densidad, rígido, de buena resistencia química, y es usado en botellas moldeadas por soplado, obturadores, partes de automóviles, artículos domésticos y juguetes, puede extrusionarse en fibras para alfombras y para escobas.(24)

### **Poliestireno(PS):**

Tiene excelentes propiedades de aislamiento eléctrico; sin embargo es quebradizo al impacto, presenta muy baja resistencia a los solventes, es utilizado en la manufactura de juguetes y enseres domésticos, la espuma de PS (unicel) es utilizada para empaques protectores y vasos de beber termoaislados.(24)

### **Copolímero de estireno y acrilonitrilo(SAN):**

Su resistencia al impacto es aun mas baja , se utiliza en las aplicaciones típicas del PS cuando se requiere mayor temperatura de deflexión por calor como es el caso de artículos domésticos o cuando se requiere mayor resistencia química.(24)

### **Poliestireno resistente al impacto (ABS):**

Comparado con el PS, el ABS tiene buena resistencia al impacto, mayor resistencia química y similar temperatura de deflexión por calor y rigidez, es adecuado para productos terminados durables, partes para automóviles, cubiertas de máquinas de oficina, teléfonos, maletas, tuberías y conexiones, el ABS también es opaco.(24)

### **Policloruro de vinilo (PVC):**

Según el volumen de utilización, solamente es superado por el polietileno. Por lo general, el PVC tiene bajo grado de cristalinidad y buena transparencia, el elevado contenido de cloro produce una buena resistencia a la llama, buena temperatura de deflexión por calor y resistencia eléctrica y química de alto grado. Sin embargo el PVC es difícil de procesar, además los átomos de cloro tienden a separarse por la influencia del calor durante el procesamiento, y de la luz y el calor durante el uso final de los productos terminados, lo que origina cambio de coloración y fragilización por lo que se deben usar estabilizadores para retardar la degradación. El PVC se divide en *PVC rígido* y *PVC flexible*.<sup>(24)</sup>

### **PVC rígido:**

El PVC por sí solo es difícil de procesar y de baja resistencia al impacto, estas propiedades mejoran con la adición de elastómeros o copolímeros como el ABS, esto mejora el escurrimiento del material fundido durante su procesamiento y aumenta la resistencia al impacto, se utiliza para marcos de puertas y ventanas, para tuberías y conexiones sanitarias, tableros, canaletas, tarjetas de crédito y recubrimientos para piso.<sup>(24)</sup>

### **PVC flexibilizado:**

El PVC se ablanda con la adición de líquidos no volátiles y compatibles, esto reduce la cristalinidad del PVC y actúan como lubricantes internos para originar un plástico traslúcido y flexible. Se utiliza en aislamientos eléctricos antifiama para cables, vestuario, equipo para lluvia e intemperie, recubrimientos para piso y paredes interiores, revestimiento para asientos de automóvil, mangueras para jardín, juguetes, zapatos, cortinas para baño, muñecas, pelotas, también puede ser extruido para fabricar monofilamento.<sup>(24)</sup>

### **Policloruro de vinilideno:**

Este polímero tiene resistencia a la abrasión, elevada resistencia mecánica, y alto punto de fusión, mayor resistencia a la ordinaria y sobresaliente impermeabilidad a la grasa, aceite, vapor de agua. Se emplea en películas de embalaje, principalmente en productos alimenticios, recubrimientos, y monofilamentos.(24)

### **Polimetilmetacrilato.(PMMA):**

Traslúcido, rígido, y fuerte se usa en vitrificados, difusores de luz, tragaluces, y luces traseras de automóviles.(24)

### **Polietilentereftalato.(PET):**

Es cristalino con elevado módulo elástico, gran resistencia y alto punto de fusión. Se usa para fabricar fibras para telas, películas para empaque de alimentos, capacitores, cintas magnéticas y botellas.(24)

### **Poliésteres (termoplásticos):**

Se fabrican engranes, cojinetes, rodillos, cubiertas para bombas, impulsores, poleas y dispositivos eléctricos.(24)

### **Poliamidas:**

Los dos principales tipos de poliamidas son el *nylon 6* y el *nylon 66*, la aplicación principal de estos es la manufactura de fibras, y productos moldeados como engranes, poleas, levas, rodillos, accesorios y aislamientos eléctricos.(24)

**Poliacetales:**

Son polímeros cristalinos que presentan rigidez, alta resistencia mecánica y a los solventes, tiene buena tenacidad y autolubricación. Sus aplicaciones son partes de automóviles, aparatos, maquinaria y artículos de plomería.(24)

**Sulfuro de polifenileno:**

Son difíciles de procesar debido a su muy elevado punto de fusión y características de flujo deficientes, la resina no reforzada se utiliza únicamente en recubrimientos, los materiales reforzados se utilizan en aplicaciones aeroespaciales, componentes de bombas, eléctricos y electrónicos y de automóviles.(24)

**Policarbonatos:**

Son polímeros transparentes y se encuentran entre los termoplásticos más fuertes, tenaces y rígidos. Entre las aplicaciones se encuentran pantallas de seguridad, ventanas irrompibles, luces traseras de automóviles y cubiertas de diversos artículos.(24)

**Polisulfona:**

Se utiliza en hornos de microondas, equipo médico, cafeteras eléctricas y componentes eléctricos y electrónicos.(24)

**Éter polifenilénico modificado:**

Se caracteriza por tener sobresaliente estabilidad dimensional a elevadas temperaturas, estabilidad hidrolítica, estabilidad bajo carga, y excelentes propiedades dieléctricas. Se usa en tableros y molduras de autos, gabinetes de televisor, conectores eléctricos, bombas, artículos de plomería y cubiertas.(24)

### **Poliimidas:**

En general tienen muy buenas propiedades eléctricas, aceptable resistencia al desgaste, sobresaliente resistencia a la llama y alta resistencia mecánica y rigidez. Se fabrican bujes, engranes, cojinetes, sellos, aisladores, componentes eléctricos y electrónicos, hornos de microondas y elementos estructurales.(24)

### ***Termoplásticos fluorados:***

En general presentan algunas propiedades notables como falta de reacción a la mayoría de los agentes químicos, resistencia a temperaturas elevadas, coeficiente de fricción extremadamente bajo, y excelentes propiedades dieléctricas, *las propiedades mecánicas no son buenas*, pero se pueden mejorar reforzando con fibra de vidrio, carbono o con disulfuro de molibdeno. El precio de estos polímeros es relativamente alto y *su uso es restringido para aplicaciones especializadas de servicio crítico*.(24)

### **Politetrafluoroetileno (PTFE):**

Este polímero no puede ser ablandado por las técnicas ordinarias, y debe procesarse a partir de la resina por sinterización. Se aplica en recubrimientos antiadhesivos para utensilios de cocina, partes eléctricas sometidas a altas temperaturas (hasta 260°C), juntas, sellos y empaques.(24)

### **Policlorotrifluoroetileno:**

Puede ser moldeado y extrusionado por las técnicas ordinarias. Se producen aislamientos eléctricos, camisas para cables, formas para bobinas eléctricas, diafragmas para bombas, recubrimientos para procesos industriales corrosivos.(24)

**Etilenpropileno fluorado:**

Usos: aislamiento y encamisado de cables, conectores de alta frecuencia, bobinas, empaquetaduras, etc.(24)

**Polifluoruro de vinilideno:**

Usos: aislamientos, juntas, diafragmas y tuberías.(24)

**Polietilen-trifluoroetileno:**

Usos: instrumental de laboratorio, revestimiento de válvulas, conectores eléctricos y bobinas.(24)

**Polietilen-clorotrifluoroetileno:**

Usos: los mismos que el anterior y empaque para productos médicos.(24)

**Polifluoruro de vinilo:**

Se emplea en piezas con vitrificado de imitación, aparatos de iluminación y paneles pretexturizados para exteriores.(24)

***Termoestables:***

Los polímeros termofijos o termoestables se emplean en artículos moldeados o laminados, por lo general se someten a catálisis o calentamiento o ambas para terminar el proceso de polimerización, con frecuencia este paso se denomina *curado*. Los artículos curados *no pueden ser reprocesados o remodelados*.(24)

**Resinas fenólicas:**

Estos materiales se combinan con rellenos fibrosos para producir elevada dureza, rigidez, resistencia mecánica, química, y buenas propiedades eléctricas.(24)

**Resinas epóxicas:**

Las resinas epóxicas curadas presentan buena dureza, resistencia mecánica, química y propiedades eléctricas aceptables. Se aplica en materiales compuestos reforzados con fibra de vidrio para la industria aeroespacial, y para tubos, recipientes a presión, encapsulado de componentes eléctricos, recubrimientos y selladores.(24)

**Poliésteres no saturados:**

Reforzados con fibra de vidrio se denominan compuestos para lámina moldeada o plástico reforzados, combinados de este modo se utilizan en carrocerías de autos y camiones, cascos de embarcaciones, equipo marino, tinas y regaderas.(24)

**Resinas alquídicas:**

Son dimensionalmente estables a altas temperaturas, excelente resistencia dieléctrica y resistencia al arco eléctrico. Se usa en aceites de secado para esmaltes, lacas y compuestos de moldeo con refuerzo para aplicaciones eléctricas.(24)

**Aminorresinas:**

De dureza extrema, presenta resistencia al rayado y eléctrica, se usa en cubiertas de muebles, vajillas y aplicaciones eléctricas. También se conocen como resinas de melamina.(24)

## ***CAPÍTULO VI***

### ***ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.***

## 6.0 Análisis de alternativas.

Tomando en cuenta la información presentada en los primeros cinco capítulos y las experiencias obtenidas en la manufactura de bastones para escoba, presentamos las siguientes tablas de evaluación con las que asignaremos una calificación a cada uno de los procesos señalados, respecto a los diferentes factores que intervienen en la productividad.

Costos por:	Fabricación de tubos.							
	Por resistencia eléctrica.	Por resistencia eléctrica de alta frecuencia.	Por inducción de alta frecuencia.	Engargolados.	Por barrenado y estirado.	Por extrusión de metales.	Por embutición.	Por extrusión de plásticos.
Instalaciones.	↑	↑	↑	↓↓	↑↑↑↑	↑	↑	↑
Equipo.	↑	↑	↑↑↑	↓↓	↑↑↑↑	↑↑	↑	↑
Operación.	↑	↑	↑	↑	↑↑	↑	↑	↑
Energía.	↑	↑	↓↓↓	↓↓↓	↑↑↑↑	↑↑↑	↓	↑
Mantenimiento.	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Insumos.	↑	↑	↑	↑	↑↑↑	↑	↑	↑

Tabla 5 ; Muestra como se ven afectados los costos por diferentes aspectos para cada proceso. (Criterio propio)

Aspecto:	Por resistencia eléctrica	Por resistencia eléctrica de alta frecuencia	Por inducción de alta frecuencia.	Engargolados.	Por barrenado y estirado.	Por extrusión de metales.	Por embutición.	Por extrusión de plásticos.
Económico.	7	7	7	9	6	7	7	7
Tecnológico	6	7	10	7	7	7	7	8
Comercial.	7	7	6	7	6	7	7	8
Calidad.	6	7	8	8	5	8	7	8
Producción.	6	7	9	8	6	7	6	8
Adaptabilidad del proceso.	6	7	9	9	3	8	0	9
Promedio.	6.3	7	8.16	8.0	5.5	7.3	5.6	8.0

Tabla 6 ; Calificación a cada uno de los procesos considerando los aspectos mas importantes. (Criterio propio)

Con los resultados de la tabla anterior podemos descartar los procedimientos que no sean factibles para la fabricación de mangos para escoba.

**Factibles.**

Por inducción de alta frecuencia ; Engargolados ; Por extrusión de plásticos ; Por extrusión de metales ; Por resistencia eléctrica de alta frecuencia.

**No factibles.**

Por barrenado y estirado ; Por embutición ; Por resistencia eléctrica de baja frecuencia.

## 6.1 Actividad económica de los fabricantes de escobas, cepillos y similares.

Características principales del subsector 39.  
Otras industrias manufactureras por rama y clase de actividad.

Rama y clase de actividad	Establecimientos	Personal ocupado promedio.	Remuneraciones totales al personal	Activos fijos netos al 31 de dic. 1993.	Formación bruta de capital fijo.	Producción bruta		Insumos.	Valor agregado censal bruto.
						Total.	Valor de los productos elaborados.		
Fabricación de escobas, cepillos y similares Clase 390008	258	2,986	33,546.5	37,396.1	2,162.4	miles de NS		Total.	Materia prima y auxiliares.
						Total.	Valor de los productos elaborados.		
						113,480.1	103,101.5	61,744.9	37,732.4
									51,735.2

Tabla 7; Fabricación de escobas, cepillos y similares (27)

## 6.2 Producción y ventas de bastones de madera para escoba.

Subsector 33. Industrias de la madera y productos de la madera.  
Clase 331206; Fabricación de otros productos de madera.

Denominación.	Unidad de medida.	Cantidad.	Valor miles de N\$.	Precio medio.	Cantidad	Ventas. miles de N\$
Bastones para escoba.	miles de piezas.	492	342.7	0.7	451	339.0

Tabla 8; Producción y ventas en 1993.(26)

Con referencia a la tabla 8 podemos agregar que el valor total de las ventas de bastones de madera en 1993 (339 mil N\$) se refiere únicamente a los productores que se dedican *exclusivamente* a la elaboración de los mangos citados sin tomar en cuenta que la mayoría de los establecimientos que se dedican a la producción de escobas, también procesa bastones dentro de sus instalaciones por lo que el valor total se incrementa considerablemente ya que se tienen que producir bastones para satisfacer una producción de escobas de aproximadamente 50 millones de N\$ (1993) ver tablas 7 y 9.

### 6.3 Producción y ventas de escobas, cepillos y similares.

Industrias manufactureras , productos y materias primas.

Subsector 39; Otras industrias manufactureras.

Clase 390007; Fabricación de escobas, cepillos y similares.(Producción y ventas.)

Denominación.	Unidad de medida.	Producción.			Ventas.		
		Cantidad.	Valor miles de N\$.	Precio medio.	Cantidad.	Valor miles de N\$.	
Escobas			48.880,9			48.136,2	
de fibra plástica	miles de piezas	6.465	16.333,5	2,5	6.405	16.033,7	
de paja, mijo, sorgo	miles de piezas	4.475	30.339,4	6,8	4.525	30.139,5	
otras.			2.208,0			1.963,0	
Escobones			1.335,4			1.183,0	
de fibra plástica	miles de piezas	75	913,2	12,2	65	760,8	
de paja, mijo, sorgo	miles de piezas	60	422,2	7,0	60	422,2	
Cepillos domésticos							
de fibra plástica.	miles de piezas	19.741	17.379,0	0,9	19.763	17.514,2	
Cepillos industriales							
de fibra plástica	miles de piezas	819	3.042,3	3,7	789	2.780,6	
de pelo	miles de piezas	864	4.154,6	4,8	820	4.363,9	
Otros productos para limpieza							
limpiadores y secadores de hule.	miles de piezas	524	3.951,6	7,5	504	3.900,7	
mchudos	miles de piezas	169	758,7	4,5	169	755,4	
trapeadores.	miles de piezas	1.135	3.992,1	3,5	1.296	4.318,1	

Tabla 9; Producción y ventas en 1993.(27)

## 6.4 Importación de mangos de madera para escobas, cepillos, brochas, herramientas y de otros utensilios.

Importación.  
Capítulo 44; Madera, carbón vegetal, y manufacturas de madera.

Frac- ción.	Sección,capí- tulo,partida y artículo.	Unidad de medida	Cantidad.			Valor en miles de NS.		
			Resto.	Maquila.	Total.	Resto.	Maquila.	Total.
44.17	Herramientas, monturas y mangos.					10,797	7,982	18,779
44.17.00	Herramientas, monturas y mangos de herramientas, mangos de cepillos, brochas, escobas, de madera, hornas, ensanchadora y tensores para calzado, de madera.	Kg.		239,909	239,909		6,225	6,225
44.17.00	E.U.			239,909	239,909		6,225	6,225
44.17.99	los demás		510,976	71,193	582,169	10,797	1,757	12,554
	Alemania.		383		383	25		25
	Brasil.		68,857		68,857	1,594		1,594
	Canadá.		22,136	770	22,906	351	14	365
	Corea del sur.		824		824	18		18
	Taiwan.		2,228		2,228	65		65
	España.		86		86	7		7
	E.U.		332,339	70,423	402,782	7,939	1,743	9,682
	Francia.		7		7	1		1
	Honduras.		20,185		20,185	145		145
	India.		6,131		6,131	49		49
	Indonesia.		52,139		52,139	441		441
	Irlanda.		79		79	2		2
	Italia.		90		90	22		22
	Japón.		588		588	21		21
	R.Unido-Irlanda		45		45	12		12
	Singapur.		10		10	1		1
	Suiza.		209		209	6		6
	Tailandia.		1,027		1,027	17		17
	China.		3,593		3,593	81		81

Tabla 10; Importaciones en 1996.(28)

Por lo que se refiere al comercio exterior también podemos notar una actividad importante en cuanto a importaciones como exportaciones (ver tablas 10 y 11) en las que podemos observar con detalle las acciones comerciales de los productores y consumidores de mangos para escoba. Hay que considerar que el principal socio comercial es Estados Unidos como en otros casos. Generandose importaciones de aproximadamente 19 millones de N\$ y exportaciones por 30 millones de N\$ aproximadamente (1996).

## 6.5 Exportación de mangos de madera para escobas, cepillos, brochas, herramientas y de otros utensilios.

### Exportación.

#### Capítulo 44; Madera, carbón vegetal, y manufacturas de madera.

Frac- ción	Sección, capí- tulo, partida y artículo.	Unidad de medida	Cantidad.			Valor en miles de NS.		
			Resto.	Maquila.	Total.	Resto.	Maquila.	Total.
44.17	Herramientas, monturas y mangos.							
44.17.00	Herramientas, monturas y mangos de herramientas, mangos de cepillos, brochas, escobas, de madera, hornos, ensanchadores y tensores para calzado, de madera.	Kg.	2,924,714	65,945	2,990,659	19,765	824	29,589
	Bélgica.		6,480		6,480	62		62
	Belice.		30		30	2		2
	Canadá.		3,720		3,720	46		46
	Colombia.		135,980		135,980	46		46
	Costa Rica.		24,063		24,063	222		222
	Taiwan.		800		800	44		44
	El Salvador.		543		543	2		2
	E. U.		2,397,902	65,945	2,463,847	15,934	824	16,758
	Guatemala.		2,580		2,580	8		8
	Haití.		1,000		1,000	4		4
	Honduras.		215,754		215,754	1,398		1,398
	Irlanda.		570		570	23		23
	Israel.		1,000		1,000	12		12
	Panamá.		20,132		20,132	157		157
	Puerto Rico.		79,326		79,326	617		617
	R. Unido-Irlanda		28,500		28,500	339		339
	Rep. Dominicana		2,700		2,700	29		29
	Uruguay.		2,000		2,000	8		8
	Venezuela.		1,634		1,634	27		27

Tabla 11; Exportaciones en 1996.(28)

## ***CONCLUSIONES.***

## CONCLUSIONES.

Las conclusiones para el primer capítulo son que existe una gran variedad de procesos que podemos utilizar para fabricar tubos, mostrándose como diferentes alternativas para no utilizar madera en la fabricación de mangos para escoba.

En el capítulo segundo llegamos a la siguiente conclusión; dentro de la categoría de procesos para producir tubos con unión soldada, sobresale el método de soldadura por inducción, siendo el más efectivo desde el punto de vista tecnológico, además es el de mayor productividad debido a que consume mucho menos energía y proporciona la más alta velocidad de producción comparado con los otros métodos de soldar aunque tenga la desventaja de ser el equipo más costoso.

Quedando en segundo lugar el proceso de soldadura por resistencia de alta frecuencia, y descartando el de soldadura por resistencia de baja frecuencia debido a las múltiples dificultades de operación y bajo rendimiento. Así como también se descartaron otros procesos de soldadura como el de arco sumergido y el de arco con gas y electrodo de tungsteno que no se adaptan a las condiciones y necesidades del producto.

También hemos conocido en este capítulo las técnicas de arrollamiento de lámina o chapa y la teoría para calcular el desarrollo de cualquier lámina doblada o enrollada.

En el tercer capítulo hemos logrado integrar las operaciones del método de engargolado en una formadora de banda continua con lo que se aumenta considerablemente la productividad de éste método que tradicionalmente se usaba para producción por lotes, engargolando pieza por pieza; con el método presentado se

transforma en un proceso continuo que además tiene la ventaja de ser un equipo mucho más barato que el de los procesos de soldar seleccionados, por lo que puede ser una buena opción para los empresarios de la pequeña o mediana industria.

**Al revisar el capítulo cuatro** llegamos a la conclusión que la fabricación de tubos por los métodos de barrenado y laminación de Mannesmann y de Stiefeld podrían resultar muy poco atractivos para un fabricante de escobas desde el punto de vista en el que se tienen que procesar los tubos a partir de una pieza en bruto, resultando un proceso largo al agregarle los hornos y trenes de estirado y de calibración y considerando que estos procedimientos son adecuados para producir tubos de pared gruesa y con diámetros mayores a los 60 mm. cuando lo que necesita el fabricante de escobas es producir tubo de pared delgada(0.3 mm) y con diámetro de 22 mm.

Ante esta situación descartamos los arriba mencionados, dejando solamente la extrusión de metales como el único aceptable de esta sección ya que como se mencionó en su oportunidad es un proceso más versátil con el que podemos fabricar tubos del diametro y calibre deseado en una sola operación, además se pueden incluir refuerzos a manera de acanaladura interior o exterior.

**El capítulo cinco** es una propuesta de lo que hasta hoy no se ha aplicado más que parcialmente, y es que los industriales han dejado a un lado la posibilidad de fabricar mangos de plástico para escoba, limitandose a la aplicación de recubrimientos de plástico sobre tubos metálicos, probablemente por que no han considerado la gran variedad de plásticos que existen en el mercado y que algunos pueden satisfacer las necesidades de resistencia y rigidez como el polietilentereftalato(PET) abundante y barato, con lo que ésta se perfilaría como una de las mejores opciones.

**Los resultados del capítulo sexto nos ha permitido seleccionar las mejores alternativas de las presentadas en este trabajo y descartar las menos factibles. También hemos podido visualizar la importancia de la actividad económica de este ramo con lo que podemos decir que hay suficiente campo de aplicación, afirmación que reiteramos al revisar los niveles de producción y ventas , así como de importaciones y exportaciones de bastones de madera para escoba.**

# BIBLIOGRAFÍA.

1. D.O. González.  
DISEÑO DE TROQUELES.  
CETMA 1985 115p.p. pág. 1-8
2. J.Flimm  
FABRICACIONES METÁLICAS SIN ARRANQUE  
DE VIRUTA.  
URMO S.A. 1973 324p.p. pág. 180-194
3. D.N.Zeferino.  
TECNOLOGÍA DE LA FABRICACIÓN METALMECÁNICA  
AGT EDITOR 1986 243p.p. pág. 188-193  
208,222
4. T&H Machine inc.  
CATÁLOGO DE MAQUINARIA PARA FABRICACIÓN DE  
TUBOS CON UNIÓN SOLDADA.  
T&H M. 1994 4p.p. pág. 1-4
5. De Garmo, Temple y Kohaner.  
MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACIÓN.  
REVERTÉ S.A. 1969 983p.p. pág. 960-963  
987,411  
433-442
6. P.T. Houldcroft.  
TECNOLOGÍA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.  
CEAC. 1986 357p.p. pág. 62-67  
106-122,164  
194-196
7. Amstead, Phillip y Begeman.  
PROCESOS DE MANUFACTURA.  
CONTINENTAL. 1981 820p.p. pág. 236-240  
390-397
8. M. L. Begeman.  
PROCESOS DE MANUFACTURAS.  
CONTINENTAL. 1964 696p.p. pág. 307-315
9. L. E. Doyle.  
MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA  
PARA INGENIEROS.  
CEAC. 1988 1016p.p. pág. 283-287
10. W. I. Patton.  
CIENCIA Y TÉCNICA DE LA SOLDADURA.  
URMO S.A. 1975 595p.p. pág. 212-226  
346-354
11. G. Goudet.  
ELECTRÓNICA INDUSTRIAL.  
URMO S.A. 1966 681p.p. pág. 541-556
12. López Navarro Tomás.  
TROQUELADO Y ESTAMPACIÓN.  
G. GILI S.A. 1964 337p.p. pág. 104,105  
263,264
13. R. W. Rhea.  
OSCILLATOR DESING AND COMPUTER SIMULATION.  
PRENTICE HALL. 1990 250p.p. pág. 140
14. M. T. Adams.  
CIRCUITOS DE OSCILADOR.  
DIANA. 1975 173p.p. pág. 30-38

- |     |  |      |          |   |
|-----|--|------|----------|---|
| 15. | B. Hall.<br>REVISTA BRUSHWORK.<br>BRIAN HALL.  | 1992 | 72p.p.   | pág. 53                                   |
| 16. | M.A. Vichido.<br>PROCESOS DE MANUFACTURA.<br>CONALEP.  | 1983 | 273p.p.  | pág. 163-173                              |
| 17. | G. W. Rowe.<br>CONFORMADO DE LOS METALES.<br>URMO S.A.   | 1972 | 376p.p.  | pág. 213,238                              |
| 18. | V. K. Savgorodny.<br>TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS.<br>G. GILI S.A.  | 1978 | 468p.p.  | pág. 1-4,16-32<br>41-43,54,61<br>62,92,93 |
| 19. | R. Anguita.<br>EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.<br>H. BLUME.  | 1977 | 246p.p.  | pág. 39,43-45,54<br>65,222,226<br>135-140 |
| 20. | V. Meyzenbug.<br>TECNOLOGÍA DE PLÁSTICOS PARA INGENIEROS.<br>URMO S.A.   | 1973 | 221p.p.  | pág. 77-85                                |
| 21. | J. Morton.<br>PROCESAMIENTO DE PLÁSTICOS.<br>LIMUSA.   | 1993 | 294p.p.  | pág. 137-143                              |
| 22. | A. Aguilar.<br>MANUAL DE EXTRUSIÓN.<br>POLICYD S.A.  | 1997 | 54p.p.   | pág. 27,30,39,40<br>45,46                 |
| 23. | R. L. Timings.<br>TECNOLOGÍA DE LA FABRICACIÓN.<br>ALFAOMEGA   | 1976 | 385p.p.  | pág. 79,83,88,<br>92,93                   |
| 24. | M. Kutz.<br>ENCICLOPEDIA DE LA MECÁNICA, INGENIERÍA<br>Y TÉCNICA.<br>OCEANO C.                                       | 1990 | 260p.p.  | pág. 210-220                              |
| 25. | W. Trinka.<br>FUNDAMENTOS DE LA LAMINACIÓN.<br>E. G. OSCA S.A.   | 1967 | 412p.p.  | pág. 441-451                              |
| 26. | XIV CENSO INDUSTRIAL. (Subsector 33)<br>Industrias de la madera y productos de madera.<br>INEGI                      | 1994 | 49p.p.   | pág. 29                                   |
| 27. | XIV CENSO INDUSTRIAL. (Subsector 39)<br>Otras industrias manufactureras.<br>INEGI                                    | 1994 | 47p.p.   | pág. 13,27                                |
| 28. | ANUARIO ESTADÍSTICO DEL COMERCIO EXTERIOR<br>DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.<br>Importación - Exportación.<br>INEGI | 1996 | 1543p.p. | pág. 230,456                              |