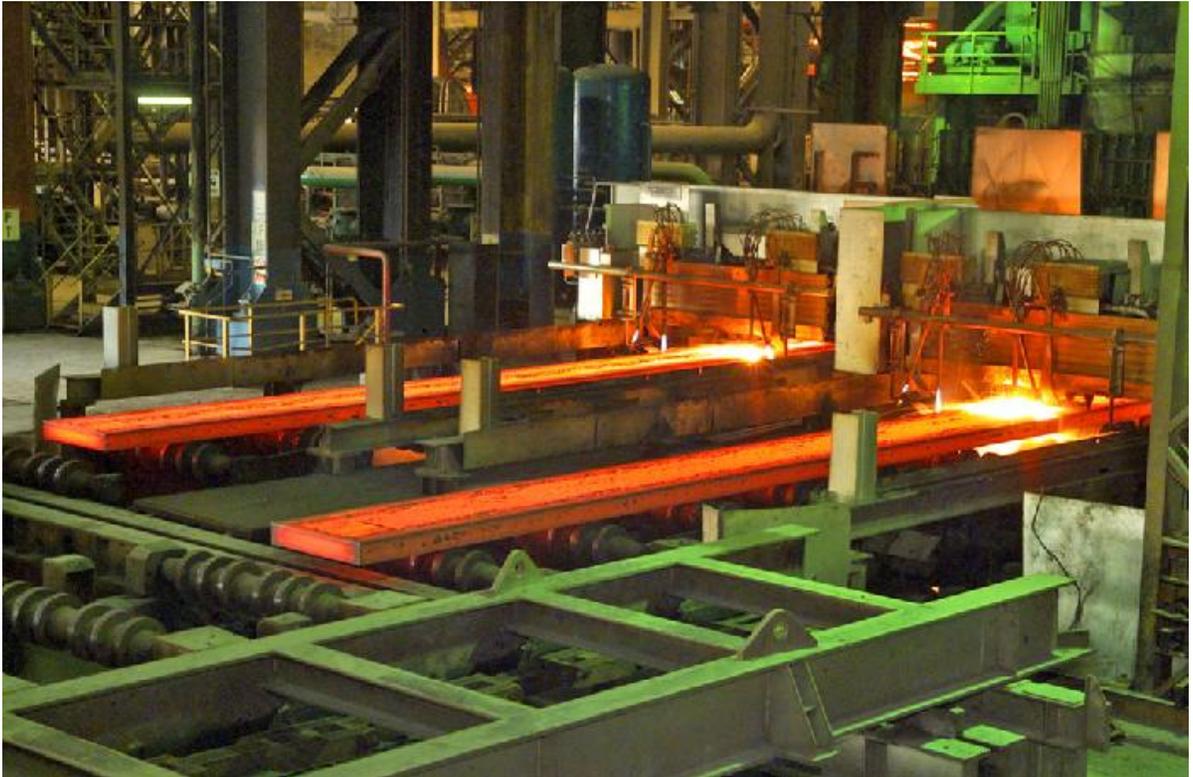


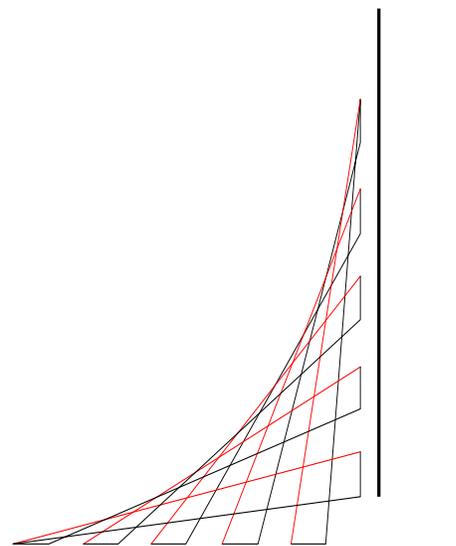
# LAMINACIÓN

## PROTOCOLO

Curso de Materiales



**EDICION 2008-2**  
**FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL**  
**LABORATORIO DE PRODUCCIÓN**



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS.....	3
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD .....	4
1 ASIGNACIÓN DE TIEMPOS .....	5
1.1 Extrusión.....	5
1.2 Troquelado .....	5
1.3 Doblado y Embutido .....	5
1.4 Laminado.....	5
1.5 Práctica.....	5
2 Tipos de laminado .....	6
2.1 Laminación en caliente .....	6
2.2 Laminado en frío.....	7
2.2.1 Esfuerzo a la fluencia .....	8
2.2.2 Porcentaje de trabajo en frío .....	8
3 Marco Teórico.....	9
3.1 Fuerza del rodillo .....	10
3.2 Potencia requerida .....	11
4 Descripción de la maquina.....	12
4.1 Tren de potencia.....	12
4.2 Eje escualizable.....	13
4.3 Ruedas dentadas .....	13
4.4 Rodillos de laminación.....	14
4.5 Tornillos de graduación .....	14
4.6 Galgas .....	14
4.7 Interruptor .....	15
4.8 Variador de frecuencia.....	15
4.9 Transductor de fuerza.....	16
5 BIBLIOGRAFÍA.....	17
6 PRÁCTICA LAMINADO .....	18
6.1.1 Objetivo .....	18
6.1.2 Procedimiento .....	18
7 EJEMPLO PRÁCTICA LAMINADO .....	20
8 FORMATOS PRACTICA .....	21

## INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de un ingeniero industrial, es muy importante tener claro el conocimiento sobre la ciencia de los materiales, debido a que esto nos proporcionara herramientas necesarias para comprender el comportamiento que presenta cualquier material ,lo cual es indispensable a la hora de desarrollar componentes, sistemas y procesos que sean confiables y económicos .

En el estudio de la laminación de metales, aparte de entender este proceso, se aprovecha esta herramienta para poder determinar los comportamientos que tienen los metales al ser trabajados en frío. Se ha incluido esta práctica con el fin de conocer y entender el proceso de laminación, los conceptos tales como el esfuerzo a la fluencia , porcentaje de trabajo en frío, fuerza del rodillo y requerimiento de potencia, para poderlos medir y analizar durante el conformado de los metales por este procedimiento.

## OBJETIVOS

Los objetivos que persigue la correcta realización de esta práctica son:

- Comprender y analizar el funcionamiento de la maquina y sus herramientas mediante el reconocimiento de sus partes.
- Identificar la importancia que tienen los elementos de seguridad a la hora de realizar la práctica, para la protección de accidentes.
- Conocer los efectos que tiene el trabajo en frío sobre los metales, en nuestro caso la respuesta al trabajo en frío del estaño.
- Estar en capacidad de entender, analizar e interpretar los resultados obtenidos en la práctica, para ver los efectos que se producen sobre el metal laminado en frío, tales como resistencia a la cedencia y las fuerzas de fricción.

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Para evitar lesiones y/o fallas en la maquinaria e implementos de apoyo, causados durante la realización de la práctica, es necesario que los estudiantes al momento de realizarla tengan en cuenta:

- Es importante portar los implementos de seguridad necesarios: guantes de cuero y gafas de seguridad.
- Al manejar herramientas y piezas de trabajo de bordes cortantes debe tener cuidado de evitar cortarse. Utilice un trozo de trapo para proteger su mano.
- Las piezas de trabajo deben soportarse rígidamente y sujetarse con firmeza para resistir las grandes fuerzas de corte que por lo general se encuentran en el maquinado.
- Conocer ampliamente todo lo relacionado con la práctica antes de realizarla. Esto incluye el manejo adecuado de la máquina, del material y demás implementos utilizados en la práctica.
- En el caso de tener cabello largo, mantenerlo muy bien recogido durante la práctica.
- Seguir atentamente las instrucciones del monitor a lo largo de la realización de la práctica.

## 1 ASIGNACIÓN DE TIEMPOS

### Sesión I

#### 1.1 Extrusión

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Explicación del proceso y conocimiento de las partes del dispositivo de extrusión.	20
Tiempo Total	20

#### 1.2 Troquelado

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Explicación del proceso y conocimiento de las partes del troquel.	15
Tiempo Total	15

### Sesión II

#### 1.3 Doblado y Embutido

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Explicación del proceso y conocimiento de las partes del dispositivo de doblado.	10
Práctica de doblado.	20
-Explicación del proceso y conocimiento de las partes del dispositivo de embutición.	10
Tiempo Total	40

#### 1.4 Laminado

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Conocimiento de generalidades del laminado.	5
Tiempo Total	20

#### 1.5 Práctica

PRÁCTICA	TIEMPO (min.)
-Práctica de extrusión.	35
-Práctica de troquelado.	20
-Práctica de laminado.	40
-Práctica de doblado.	15
Tiempo Total	105

## 2 TIPOS DE LAMINADO

Durante el desarrollo del proceso de laminación se deben tener en cuenta dos tipos de procesos:

- laminación en caliente
- laminación en frío

### 2.1 Laminación en caliente

El proceso de laminado en caliente se utiliza para estructuras de colada, o fundición comúnmente dendrítica, la cual incluye granos grandes y no uniformes, por lo cual la estructura es más frágil y contiene porosidades. De tal manera la laminación en caliente se debe realizar a una temperatura mayor a la temperatura de recristalización del metal; permitiendo transformar la estructura colada en una estructura laminada, la cual va a tener granos más finos y una mayor ductilidad, resultando ambas de los límites de los granos frágiles y el cierre de los defectos especialmente de la porosidad.

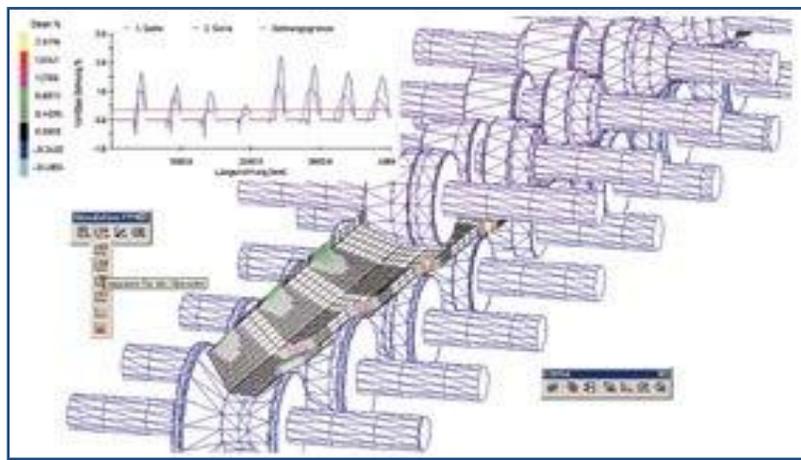
El proceso de laminado en caliente se lleva a cabo para aleaciones de aluminio y para aceros aleados. Se manejan temperaturas entre 0.3 y 0.5 veces la temperatura de fusión, lo que corresponde a la temperatura de recristalización.

Comúnmente los primeros productos de laminado en caliente, son la palanquilla y el planchon. El primer producto es muy utilizado para la formación de vigas en forma de I y rieles de ferrocarril, en el caso de utilizar tochos, en cambio para la formación de placas y laminas se utilizan los planchones.

En el proceso de laminado en caliente tanto para palanquillas como para planchones la superficie tiene que ser mejorada, por la presencia de calamina, la cual puede ser eliminada por ataque químico, esmerilado grueso para dar suavidad a la superficie, o chorro de arena y de tal manera pasar a ser laminada.

## 2.2 Laminado en frío

El proceso de laminado en frío se lleva a cabo a temperatura ambiente. A diferencia del proceso de laminación en caliente, produce laminas y tiras con un acabado superficial mejor debido a que no hay presencia de calamina. Además se tienen mejores tolerancias dimensionales y mejores propiedades mecánicas debidas al endurecimiento por deformación.



<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/Articulo.asp?A=8526>

**Figura 1.** Tren de laminación para laminado en frío de perfiles

En el desarrollo de la práctica vamos a realizar el proceso de laminación en frío, por lo cual debemos analizar los siguientes conceptos:



**Figura 2.** Laminado en frío de una lámina de estaño

### 2.2.1 Esfuerzo a la fluencia

Es el esfuerzo necesario para iniciar el flujo plástico en el material que se está deformando. En la Figura 3 se puede apreciar las grietas generadas en el proceso de laminación, consecuencia de exceder el esfuerzo de fluencia.

El esfuerzo a la fluencia promedio ( $\bar{Y}_F$ ) en un metal dúctil, a temperatura ambiente, es igual a:

$$\bar{Y}_F = \frac{K \varepsilon^n}{n + 1}, [lb/pulg^2]$$

En donde:

$\varepsilon$  = Deformación real máxima alcanzada durante la laminación

$K$  = Coeficiente de resistencia, constante propia de cada material (Ver Anexo No. 1)

$n$  = Exponente de endurecimiento por deformación, constante propia de cada material (Ver Anexo No. 1)



**Figura 3.** Láminas con presencia de grietas.

### 2.2.2 Porcentaje de trabajo en frío

El porcentaje de trabajo en frío permite tener un control sobre la deformación plástica, porque a la vez se mantiene un control sobre el endurecimiento por deformación. Esta la podemos medir por la siguiente fórmula:

$$\%TF = \left[ \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right] * 100$$

En donde:

$A_0$  = Área transversal original del metal.

$A_f$  = Área transversal después de la deformación.

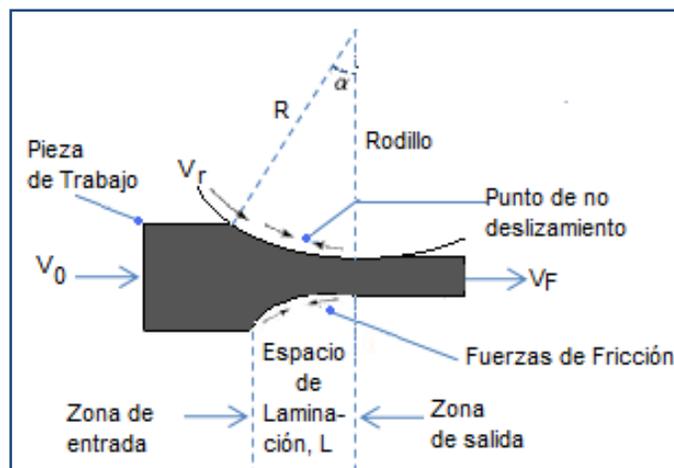
El aumento de trabajo en frío aumenta la resistencia a la cedencia, y la resistencia a la tensión. Sin embargo disminuye ductilidad a medida que aumenta el trabajo en frío, y el metal se vuelve más frágil.

### 3 MARCO TEÓRICO

La laminación es un proceso utilizado para reducir el espesor de una lamina, o en general, de la misma manera, alterar las medidas del área trasversal de una pieza larga mediante fuerzas de compresión, las cuales son generadas por el paso entre un juego de rodillos.

Esta disminución de espesor se da gracias a que los rodillos tiran el material hacia dentro del espacio de laminación a través de una fuerza de fricción neta sobre el material.

Esta fuerza de fricción neta debe actuar hacia la derecha como se muestra en la Figura No. 4, por lo cual la fuerza de fricción a la izquierda del punto de no deslizamiento debe ser mayor que la fuerza de fricción a la derecha del punto de no deslizamiento.



Tomado de *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Kalpakjian – Schmid, 4ta ed.

**Figura 4.** Muestra el efecto las fuerzas de rozamiento sobre el cambio de espesor de la lámina

La fricción es uno de los factores más importantes en el proceso de laminación, por lo que se tiene que disipar energía para poder vencer esta fuerza. Por lo tanto debemos analizar, que al aumentar la fricción, se va a aumentar de manera considerable la cantidad de fuerza y potencia necesarias para poder realizar este proceso.

A partir del proceso de laminación se pretende disminuir el espesor de una lámina de metal, por esto es necesario calcular la reducción máxima posible que es la diferencia entre el espesor de entrada ( $H_0$ ) y el espesor de salida ( $H_f$ ):

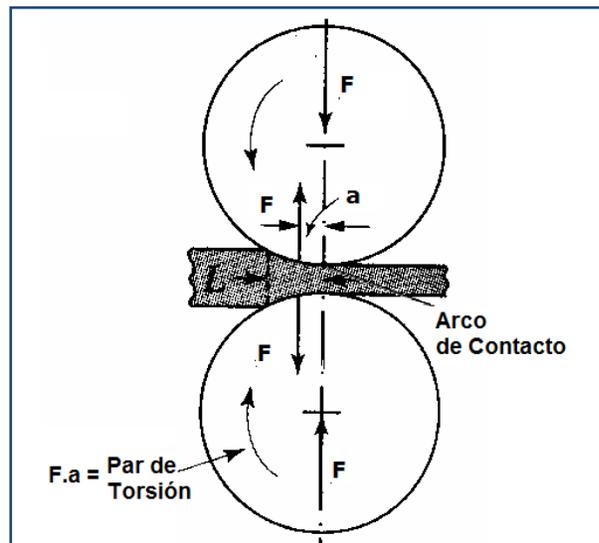
$$\mu^2 R = H_0 - H_f$$

En donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $R$  es el radio de los rodillos.

A partir de la anterior ecuación podemos ver que a mayor radio de los rodillos y mayor coeficiente de fricción, la diferencia de espesores puede ser mayor.

### 3.1 Fuerza del rodillo

Los rodillos aplican presión sobre el material para poder reducir el espesor, por lo cual se necesita una fuerza perpendicular al arco de contacto, o perpendicular al plano de la lámina, ya que el arco es muy pequeño en relación al tamaño del rodillo.



Tomado de *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Kalpakjian – (Schmid, 4ta ed)

**Figura 5.** Fuerza perpendicular del rodillo sobre el arco de contacto.

La fuerza que debe generar el rodillo laminador en el laminado plano es:

$$F = L * w * \overline{Y}_F$$

En donde:

**L** = Longitud de contacto entre el rodillo y la lamina, pulg. (mm), teniendo en cuenta que:

$$L = \sqrt{R(H_0 - H_F)}$$

siendo  $R$  = radio del rodillo, pulg. (mm);  $H_0$  = espesor inicial, pulg. (mm);  $H_F$  = espesor final, pulg. (mm).

**W** = Ancho de la lamina (pulg.).

$\overline{Y}_F$  = Esfuerzo de fluencia promedio de la lámina en el espacio de laminación (lb/pulg.).

Esta ecuación es válida para una situación donde no hay fricción, por lo tanto entre mayor fricción entre la lamina y los rodillos, mayor será la divergencia, o sea la longitud de contacto, por lo cual la fuerza real del rodillo será mayor a la fuerza teórica calculada.

### 3.2 Potencia requerida

Para calcular la potencia requerida en cada rodillo, nos remitimos a la Figura No. 5, en la cual se puede considerar  $a = L/2$ :

$$Potencia = Torque * velocidad angular$$

$$P = T * w$$

$$P = \frac{L}{2} * F * 2\pi N$$

Para los dos rodillos, o sea el tren de laminación completo, la potencia sera:

$$P = 2\pi NFL$$

En donde:

**P**= Potencia, pulg-lb/min (w)

**N**= Velocidad de giro del rodillo, RPM

**F**= Fuerza perpendicular del rodillo, lb (N)

**L**= Longitud de contacto, pulg (m)

## 4 DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA

A continuación se explicaran las diferentes partes que compone la maquina, cuyo aspecto general se muestra en la Figura No. 6.

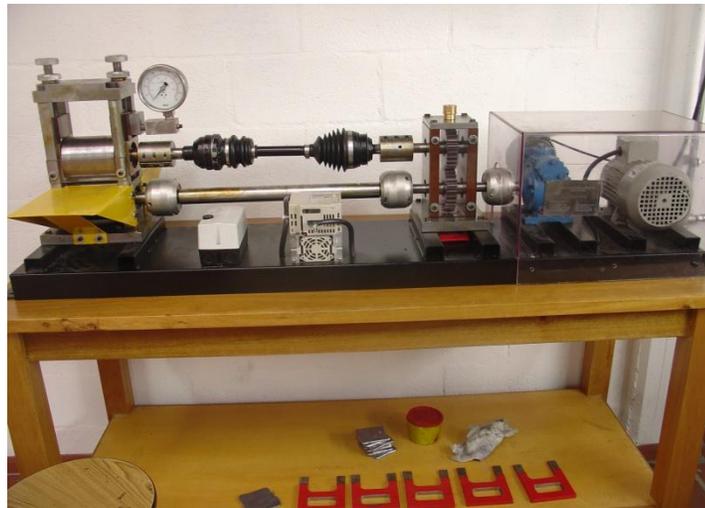


Figura 6. Máquina laminadora

### 4.1 Tren de potencia

Consta de un motor eléctrico (1.2 HP, 1800 RPM, trifásico) conectado mediante cadena y polea a un reductor (relación 29:1), con la cual a la entrada de la transmisión final, se cuenta con una velocidad angular fija de aproximadamente 62.1 RPM.

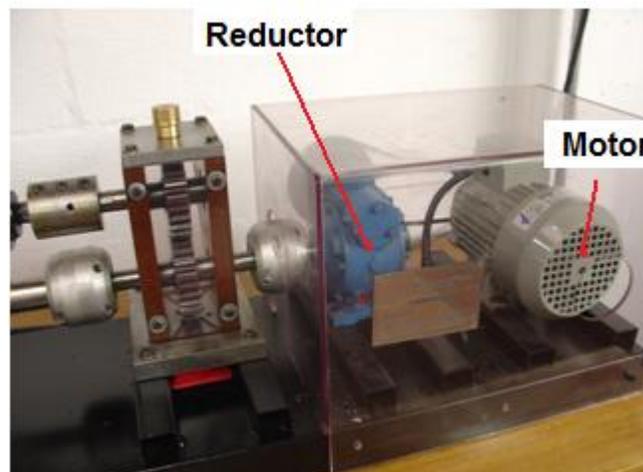


Figura 7. Motor y reductor

#### 4.2 Eje escualizable

Permite generar un movimiento vertical sobre el eje del rodillo superior, mientras este esta girando; de esta forma se puede graduar el espesor al que se quiere laminar.

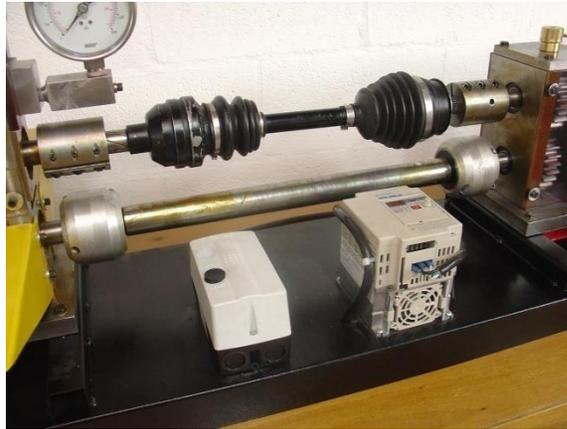


Figura 8. Eje escualizable

#### 4.3 Ruedas dentadas

Ruedas dentadas de tamaño constructivo igual para transmitir el torque que se genera por el motor al eje escualizable y al eje inferior para generar sentido de giro contrario entre los dos, garantizando igual velocidad angular; así también se obtiene igual torque sobre los dos rodillos de laminación.



Figura 9. Ruedas dentadas

#### 4.4 Rodillos de laminación

Rodillos fabricados en acero SAE 1045 por donde pasara la lámina de estaño y de tal manera reducirá el espesor. Su radio es de 100 mm. El coeficiente de fricción del estaño es de 0.2 para la lámina en estado fundido y de 0.12 para la lámina luego de la primera pasada entre los rodillos.

#### 4.5 Tornillos de graduación

Tornillos que permitirán subir o bajar el rodillo superior de laminación a la medida o espesor final que se quiera obtener sobre la lámina. El control de este espesor se hará con las galgas preparadas para tal fin.



Figura 10. Tornillos de graduación

#### 4.6 Galgas

Las galgas son instrumentos de medición indirecta, que están debidamente mecanizados en las puntas para lograr un espesor desde 7 mm hasta 3 mm, de milímetro en milímetro. Ubicándolas entre los dos rodillos de laminación, se podrá graduar con los tornillos, el espesor escogido para laminar. Las dos extremidades de la galga permiten tener una posición paralela entre los dos rodillos.



**Figura 11.** Galgas de medición

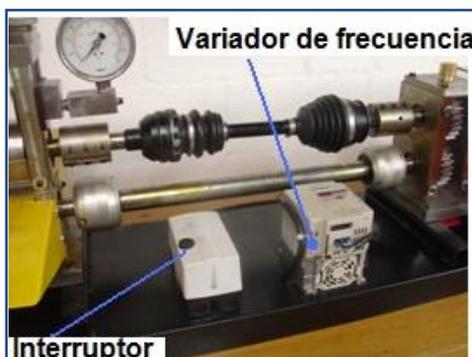
#### 4.7 Interruptor

Sistema que permite dar paso de energía al variador de frecuencia, permitiendo detener la maquina a voluntad o pararla en caso de emergencia.

#### 4.8 Variador de frecuencia

Es un sistema que tiene como función controlar la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna (AC), mediante el control de la frecuencia del voltaje de alimentación suministrado al motor.

También indica la tensión y corriente eléctrica instantáneas alimentadas al motor, con lo cual se puede calcular la potencia consumida en el proceso.



**Figura 12.** Variador de Frecuencia

#### 4.9 Transductor de fuerza

El transductor de fuerza es un sistema que esta compuesto de un manómetro y un pistón ubicado dentro de la caja transductora que al momento de trabajo de laminación empuja aceite hacia el manómetro permitiendo medir la cantidad de presión con la que se esta disminuyendo el espesor de la lamina. De esta manera, conocida la presión, se podrá calcular la fuerza ejercida por los rodillos sobre la lámina.



Figura 13. Transductor de Fuerza

Esta fuerza se puede representar como:

$$F_{\text{Laminación}} = 2 * P * A_e$$

$$A_e = \frac{\pi d_e^2}{4}$$

La fuerza de laminación esta multiplicada por dos para que la medida arrojada por el trasductor, tenga en cuenta ambos lados del rodillo.

Donde :

$F_{\text{Laminación}}$  = Fuerza que esta ejerciendo cada rodillo sobre la lamina, lb (N)

$P$  = Presión marcada por el manómetro de la laminadora,  $\left[ \frac{lb}{pulg^2} \right]$  (P)

$A_e$  = Área del embolo de empuje del transductor,  $pulg^2$  ( $m^2$ ).

$d_e$  = Diametro del émbolo de empuje, pulg (m).

Para esta máquina,  $d_e = 30$  mm.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.
- Anderson, J.C. y otros, “Ciencia de los Materiales”, Limusa Editores, México, 1998.
- Flim, R.A, y otro, “Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”, Mc Graw -Hill, México, 1979.
- Budinsky, K. y otro, “Engineering Materials”, Prentice

## 6 PRÁCTICA LAMINADO

### 6.1.1 Objetivo

Encontrar los coeficientes de K y n para el estaño.

### 6.1.2 Procedimiento

1. Con ayuda del pie de rey mida el espesor y el ancho, en mínimo cinco partes de la lámina.



**Figura 14.** Medición del ancho de una lámina de estaño

2. Determine el promedio del espesor de la lámina. Con este valor elija una galga de medición que se aproxime a dicho espesor.
3. Ubique la galga de medición entre los rodillos de laminación, para graduarlos podrá emplear los tornillos.



**Figura 15.** Ajuste de rodillos de laminación, utilizando los tornillos.

4. Prenda la máquina y realice una primera pasada empleando la lamina, con el fin de eliminar posibles rugosidades.
5. De acuerdo al valor que se desea disminuir en cada pasada, tome la galga de medición adecuada para cada caso y gradúe los rodillos de laminación con ayuda de los tornillos.
6. Dividase las actividades, como la toma de presión (mostrada en el manómetro) y la toma de corriente (mostrada en el transductor de fuerza), ya que usted necesitara de dichos datos para realizar el informe.



**Figura 17.** Transductor de fuerza



**Figura 16.** Manómetro

7. Luego de esto ubique la lámina según la Figura No 18.



**Figura 18.** Primera pasada de la lámina

8. Prenda la máquina, e inserte la lámina. Recuerde el paso 6.
9. Mida nuevamente el espesor en cinco partes de la lámina.
10. Repita este procedimiento siete veces para esta lámina, disminuyendo el espesor, para hacerlo vea desde el paso 5. No olvide que después de cada laminación debe medir tanto el espesor, como el ancho de la lámina.
11. Luego repita todo el proceso desde el punto uno hasta diez, para otra lámina.

## 7 EJEMPLO PRÁCTICA LAMINADO

Toma de datos de la Pasada 1					
t	w	N	i	p	
9.66	25.6	9.9667	1.2	500	
9.65	25.65		1.8	450	
9.73	25.48		1.7	500	
9.65	25.52		1.9		
9.65	25.79				
<b>Promedio</b>	<b>9.668</b>	<b>25.608</b>	<b>9.9667</b>	<b>1.65</b>	<b>483.33</b>

Promedio de datos, para todas las pasadas					
	T (mm)	w	N	I (A)	P
<b>Pasada 1</b>	9.668	25.608	9.966667	1.65	483.3
<b>Pasada 2</b>	9.138	25.744	9.966667	2.05	750
<b>Pasada 3</b>	8.568	25.904	9.966667	1.975	850
<b>Pasada 4</b>	8.146	25.924	9.966667	2.175	950
<b>Pasada 5</b>	7.632	25.89	9.966667	2.55	1000
<b>Pasada 6</b>	7.124	25.712	9.966667	2.2	1100

	t (mm)	Draft (mm)	P (psi)	L (m)	FUERZA (lb)	FUERZA (N)	I (A)	POTENCIA MECANICA	POTENCIA ELECTRICA
<b>1</b>	9.668		483.33	0	1059.111542	4722.674647	1.65	0	34.78174528
<b>2</b>	9.138	0.53	750	0.0051478	1643.448944	7328.288245	2.05	39.37350089	65.69885219
<b>3</b>	8.568	0.57	850	0.0053385	1862.57547	8305.393344	1.975	46.2765727	59.90189465
<b>4</b>	8.146	0.422	950	0.0045935	2081.701995	9282.498444	2.175	44.50252618	75.36044811
<b>5</b>	7.632	0.514	1000	0.0050695	2191.265258	9771.050993	2.55	51.69950596	104.3452358
<b>6</b>	7.124	0.508	1100	0.0050398	2410.391784	10748.15609	2.2	56.53655932	77.29276729

$$\text{Caso 3: } \varepsilon = \ln \left( \frac{9.138}{8.568} \right) = 0.06440$$

$$\text{Caso 6: } \varepsilon = \ln \left( \frac{7.632}{7.124} \right) = 0.06888$$

$$\bar{\varepsilon} = 0.0666$$

$$\bar{F} = 2000 \text{ lb.}$$

$$\bar{Y}_F = \frac{2000}{\frac{26}{25.4} \cdot \frac{5.15}{25.4}} = 9636 \text{ psi}$$

$$9636 (1 + n) = K (0.0666)^n$$

## 8 FORMATOS PRACTICA

Para el correcto desarrollo de la práctica y el informe, recuerde llenar los siguientes formatos.

Pasada	t1	w1	t2	w2	t3	w3	t4	w4	t5	w5	$\bar{t}$	$\bar{w}$
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

**Tabla 1.** Toma de datos de espesor y ancho, para cada pasada.

Donde:

**t** = Espesor de la lámina.

**w** = Ancho de la lámina.

$\bar{t}$  = Promedio del espesor de la lámina

$\bar{w}$  = Promedio del ancho de la lámina.

Pasada	Presión 1	Presión 2	Presión 3	Presión Promedio
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

**Tabla 2.** Toma de datos de la presión

Pasada	Corriente 1	Corriente 2	Corriente 3	Corriente Promedio
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

**Tabla 3.** Toma de datos de la corriente.

# ANEXO 1

Material	Coeficiente resistencia, $K$		Exponente de endurecimiento por deformación, $n$
	lb/pulg. <sup>2</sup>	(MPa)	
Aluminio puro cocido	25,000	(175)	0.20
Aluminio aleado recocido <sup>a</sup>	35,000	(240)	0.15
Aluminio aleado endurecido por tratamiento térmico <sup>a</sup>	60,000	(400)	0.10
Cobre puro recocido	45,000	(300)	0.50
Cobre aleado: bronce <sup>a</sup>	100,000	(700)	0.35
Acero bajo carbono recocido <sup>a</sup>	75,000	(500)	0.25
Acero alto carbono recocido <sup>a</sup>	125,000	(850)	0.15
Acero aleado recocido <sup>a</sup>	100,000	(700)	0.15
Acero inoxidable, austenítico, recocido <sup>a</sup>	175,000	(1200)	0.40

Tomado: Groover Mikell. *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Prentice Hall Edición 1°, Página 51.