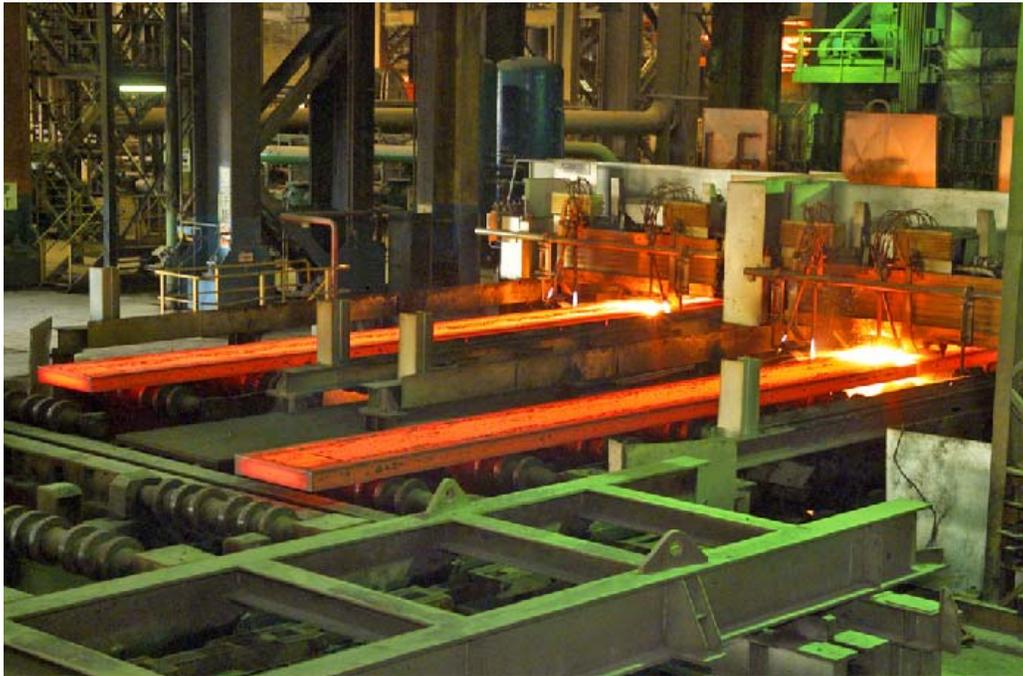


LAMINACIÓN PROTOCOLO

Curso de Materiales



**EDICION 2011-2
FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL
LABORATORIO DE PRODUCCIÓN**

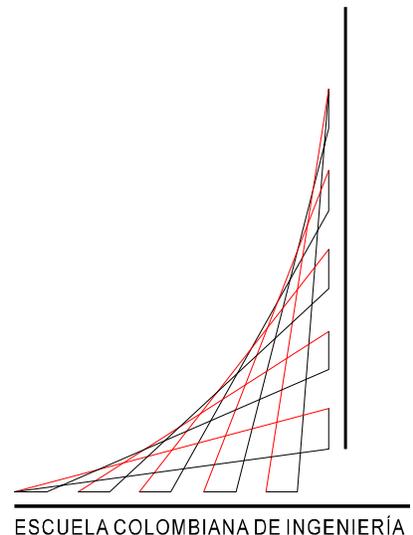


Tabla de contenido

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	3
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	3
ASIGNACIÓN DE TIEMPOS.....	4
1. Marco Teórico.....	4
1.1 Tipos de laminado.....	4
1.1.1 Laminación en caliente	4
1.1.2 Laminado en frío.....	5
1.2 PARÁMETROS DEL LAMINADO	5
1.2.1 Esfuerzo a la fluencia	6
1.2.2 Fuerza de fluencia	6
1.2.3 Espesor.....	6
1.2.4 Fuerza del rodillo	7
1.2.5 Potencia requerida.....	7
2. Descripción de la maquina	8
2.1 Tren de potencia	8
2.2 Eje escualizable	8
2.3 Ruedas dentadas.....	8
2.4 Rodillos de laminación	8
2.5 Tornillos de graduación.....	9
2.6 Galgas	9
2.7 Interruptor	9
2.8 Variador de frecuencia.....	9
2.9 Transductor de fuerza.....	10
3. PRÁCTICA LAMINADO.....	10
3.1.1 Objetivo.....	10
3.1.2 Procedimiento.....	10
4. BIBLIOGRAFÍA.....	12

INTRODUCCIÓN

El laminado o proceso de laminación es un proceso de deformación, en el cual se reduce el espesor de un material mediante fuerzas de compresión ejercidas por rodillos opuestos (1).

OBJETIVOS

- Identificar la importancia que tienen los elementos de seguridad a la hora de realizar la práctica, para la protección de accidentes.
- Comprender y analizar el funcionamiento de la laminadora y sus partes.
- Determinar las diferencias entre un proceso de trabajo en caliente y uno en frío en los metales.
- 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.

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 profesor a lo largo de la realización de la práctica.

ASIGNACIÓN DE TIEMPOS

TEORIA	TIEMPO (min.)
-Conocimiento sobre las generalidades del laminado.	15
-Conocimiento sobre análisis de laminado (esfuerzo de fluencia, fuerza potencia etc...)	15
-Conocimiento sobre la laminadora	20
-Práctica de laminado	30
Tiempo Total	80

1. 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 (1).

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.

1.1 TIPOS DE LAMINADO

Existen principalmente dos tipos de laminado a considerar:

- laminación en caliente
- laminación en frío

1.1.1 Laminación en caliente

El proceso de laminado en caliente es aquel que se realiza por encima de la temperatura de recristalización del material. La temperatura de recristalización es la temperatura a la cual los granos de la

microestructura comienzan a transformarse en nuevos granos sin dislocaciones (2). Por lo anterior cualquier dislocación generada durante el proceso de compresión bajo los rodillos es eliminada debido a la temperatura de los rodillos que transfieren suficiente calor a las láminas elevando su temperatura por encima de la T.recristalización. El resultado son granos dúctiles que pueden ser laminados idealmente cualquier número de veces. El proceso de laminado en caliente se utiliza para estructuras de colada, o fundición comúnmente dendrítica, la cual incluye granos grandes y no uniformes.

El proceso de laminado en caliente se lleva a cabo comúnmente 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.

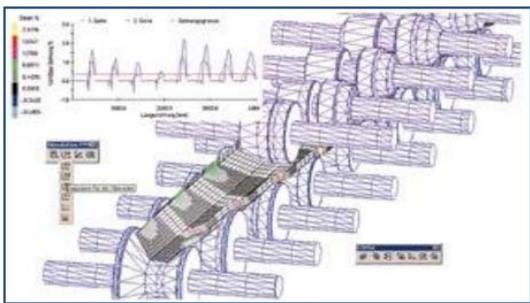
Generalmente el laminado en caliente se utiliza para deformar volúmenes grandes de material, y su intención es transformar dichos volúmenes en preformas que luego puedan ser procesadas de otro modo (por ejemplo laminado en frío). Los primeros productos de laminado en caliente, son la palanquilla y el planchon. El primer

producto es utilizado para la formación de vigas en forma de I y rieles de ferrocarril y tochos (los cuales tienen una sección cuadrada), en cambio para la formación de placas y laminas se utilizan los planchones (1).

Durante el proceso de laminado en caliente generalmente se encuentran desperfectos en la superficie y un acabado de mala calidad; en materiales cuya temperatura de recristalización corresponde a temperaturas elevadas como el acero, la superficie laminada reacciona con el medio (aire) y forma una capa llamada calamina, este óxido debe ser removido en la mayoría de los casos por medios mecánicos o por ataque químicos.

1.1.2 Laminado en frío

El proceso de laminado en frío se lleva a cabo por debajo de la temperatura de recristalización. A diferencia del proceso de laminación en caliente, produce laminas y tiras con un acabado superficial mejor debido a que generalmente no hay presencia de calamina. Además se tienen mejores tolerancias dimensionales y mejores propiedades mecánicas debidas al endurecimiento por deformación (generación de dislocaciones) (1).



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

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



Figura 2. Proceso de laminación.

La laminación en frío permite tener un control sobre la deformación plástica, pues es posible medir el endurecimiento por deformación teniendo en cuenta el concepto de trabajo en frío.

El endurecimiento por deformación es el fenómeno por el cual el metal ductil se endurece a medida que se somete a deformaciones plásticas, este proceso en general es realizado por debajo de la temperatura de recristalización y por ello también nos referimos a este tipo de trabajo como trabajo en frío. Calculado de la siguiente forma:

$$\%TF = \left[\frac{A_0 - A_f}{A_0} \right] * 100 \quad (3)$$

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 y el metal se vuelve más frágil (3).

1.2 PARÁMETROS DEL LAMINADO

A continuación se presentan las variables que parametrizan el proceso de laminado:

1.2.1 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:

$$\bar{Y}_F = \frac{K\varepsilon^n}{n+1}, \left[\text{lb/pulg}^2 \right] \quad (1)$$

En donde:

- ε = 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.

1.2.2 Fuerza de fluencia

La fuerza de fricción ejercida por los rodillos 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.

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.

1.2.3 Espesor

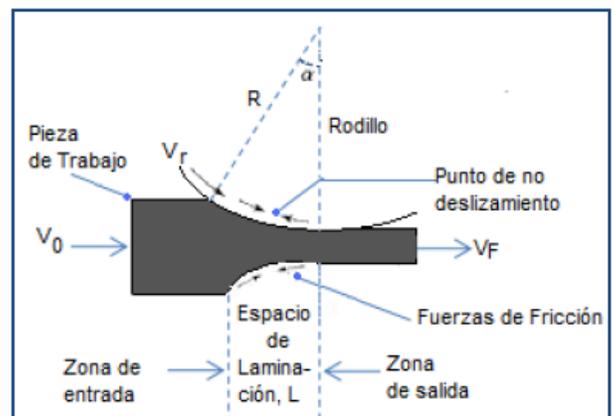
A partir del proceso de laminación se pretende disminuir el espesor de una lámina de metal, por esto es necesario calcular la reducción máxima posible que es la diferencia entre el espesor de entrada (H_0) y el espesor de salida (H_f):

$$\mu^2 R = H_0 - H_f \quad (1)$$

En donde:

- μ = Es el coeficiente de fricción entre los rodillos y el material
- R = Es el radio de los rodillos.

A partir de la anterior ecuación podemos



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

ver que; a mayor radio de los rodillos y mayor coeficiente de fricción, la diferencia de espesores puede ser mayor.

1.2.4 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.

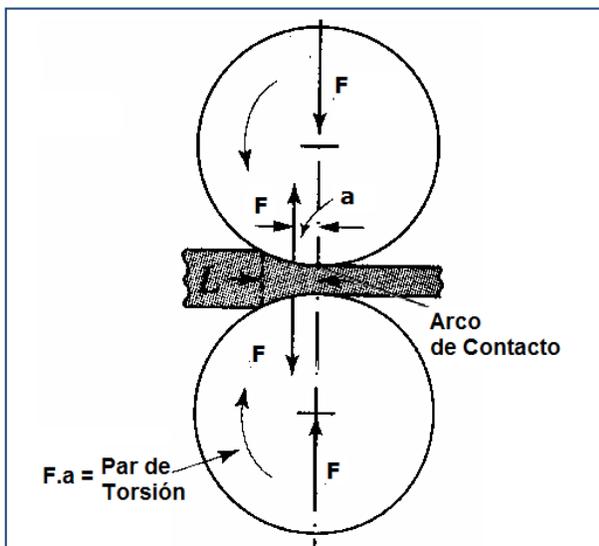


Figura 1. Fuerza perpendicular del rodillo sobre el arco de contacto. (Tomado de *Manufactura, ingeniería y tecnología, Kalpakjian – (Schmid, 4ta ed)*)

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

$$F = L * W * \bar{Y}_F$$

En donde:

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

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

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

W= Ancho de la lamina (pulg).

\bar{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.

1.2.5 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 * vel. 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)

2. DESCRIPCIÓN DE LA MAQUINA

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



Figura 6. Máquina laminadora

2.1 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.

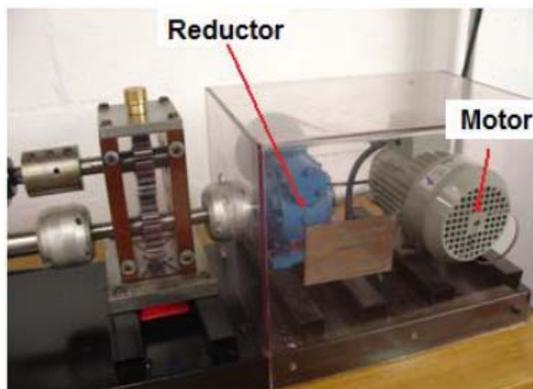


Figura 7. Motor y reductor

2.2 EJE ESCUALIZABLE

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



Figura 8. Eje escualizable

2.3 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

2.4 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.



2.5 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 2. Tornillos de graduación.

2.6 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

2.7 Interruptor

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

2.8 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.

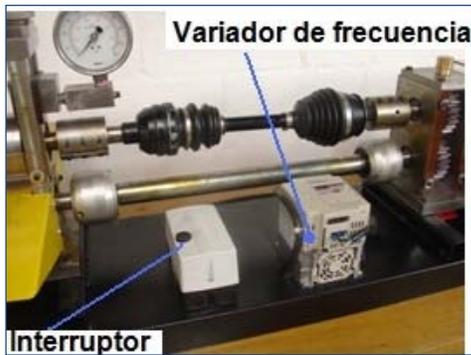


Figura 3. Variador de Frecuencia

2.9 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 4. 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 múltiplicada por dos para que la medida arrojada por el trasdutor, 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.

3. PRÁCTICA LAMINADO

3.1 OBJETIVO

Encontrar los coeficientes de K y n para el estaño.

3.2 PROCEDIMIENTO

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



Figura 5. 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 6. Ajuste de rodillos de laminación, utilizando los tornillos.

4. Prenda la máquina y realice una primera pasada empleando la lámina, 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 gradue 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 16. Manómetro



Figura 17. Transductor de fuerza

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



Figura 7. 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.

4. BIBLIOGRAFÍA

- (1) GROOVER, Mikell P., “Fundamentos de manufactura moderna”, McGraw Hill, 3ra edición, Mexico, 2007
- (2) ASKELAND, Donal R., “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, Thomson Editores. México, 1998.
- (3) CALLISTER, William. “Materials science and Engineering an introduction” John Wiley & Sons. Inc. México, 2007.
- (4) Anderson, J.C. y otros, “Ciencia de los Materiales”, Limusa Editores, México, 1998.
- (5) Flim, R.A, y otro, “Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones”, Mc Graw -Hill, México, 1979.
- (6) Budinsky, K. y otro, “Engineering Materials”, Prentice.

<i>Metal</i>	<i>Recrystallization Temperature</i>		<i>Melting Temperature</i>	
	<i>°C</i>	<i>°F</i>	<i>°C</i>	<i>°F</i>
Lead	-4	25	327	620
Tin	-4	25	232	450
Zinc	10	50	420	788
Aluminum (99.999 wt%)	80	176	660	1220
Copper (99.999 wt%)	120	250	1085	1985
Brass (60 Cu-40 Zn)	475	887	900	1652
Nickel (99.99 wt%)	370	700	1455	2651
Iron	450	840	1538	2800
Tungsten	1200	2200	3410	6170

Tabla anexa: Temperatura de recristalización y de fusión para varios metales comunes (3).