

Anexo-13

Ejemplos de materiales de los seminarios (Tecnología de producción)





**Proyecto de Mejoramiento de Tecnología  
de  
Estampado y Troquelado**

**Tema II  
Cálculo de dobléz L, U y V**

**Ing. José Ruiz Luna**

**Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial**

Seminario de Estampado y Troquelado Metálico



## Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Doble en V</b>	<b>5</b>
Fuerza requerida para la transformación	5
Energía requerida para la transformación	6
Características de la transformación	7
Ejemplo	8
<b>3. Doble en L (Estructura Básica)</b>	<b>9</b>
Fuerza requerida para la transformación	9
Fuerza del pisador	10
Fuerza total	10
Energía requerida para la transformación	10
Características de la transformación	11
<b>4. Doble en L (Alta Tecnología)</b>	<b>11</b>
Fuerza requerida para la transformación	12
Fuerza del pisador	13
Fuerza total	13
Energía requerida para la transformación	13
Características de la transformación	14
Ejemplo	14
<b>5. Doblado en U</b>	<b>17</b>
Fuerza requerida para la transformación	17
Fuerza necesaria para el cojín	18



<b>Fuerza total</b>	<b>18</b>
<b>Energía requerida para la transformación</b>	<b>18</b>
<b>Características de la transformación</b>	<b>18</b>
<b>Ejemplo</b>	<b>20</b>
<b>6. Interpretación real de los cálculos</b>	<b>22</b>
<b>7. Conclusión</b>	<b>26</b>



## 1. Introducción

El objetivo de este material es dar a conocer las fórmulas existentes para los procesos de estampado y troquelado, estas fórmulas nos ayudan a realizar los cálculos para los diferentes procesos.

Quando necesitamos diseñar un herramental que involucre cualquier transformación, es de vital importancia conocer qué características tendrá el proceso, de esta manera podemos saber la fuerza y la energía que se requiere y así poder seleccionar la prensa más adecuada para esta operación.

En esta ocasión únicamente se enfocan las fórmulas que se utilizan para los procesos de doblado en "V", "L" y "U".

## 2. Dobleces en "V"

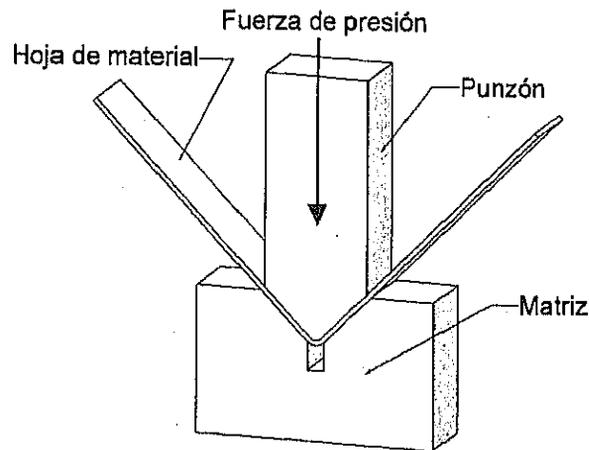


Figura 2.1 Estructura de herramental de doblado en "V".

Fuerza requerida para la transformación

$$P_V = \frac{k_1 \cdot \sigma_B \cdot w \cdot t}{1000 \cdot L} \quad [tf]$$

Donde:

$P_V$  = Fuerza de doblado en V [tf o kN].

$\sigma_B$  = Resistencia a la tensión [kgf/mm<sup>2</sup> o MPa].

w = Longitud del doblado [mm].

L = Ancho de hombros de V = 8 t [mm].

$K_1$  = 1.33 [-].

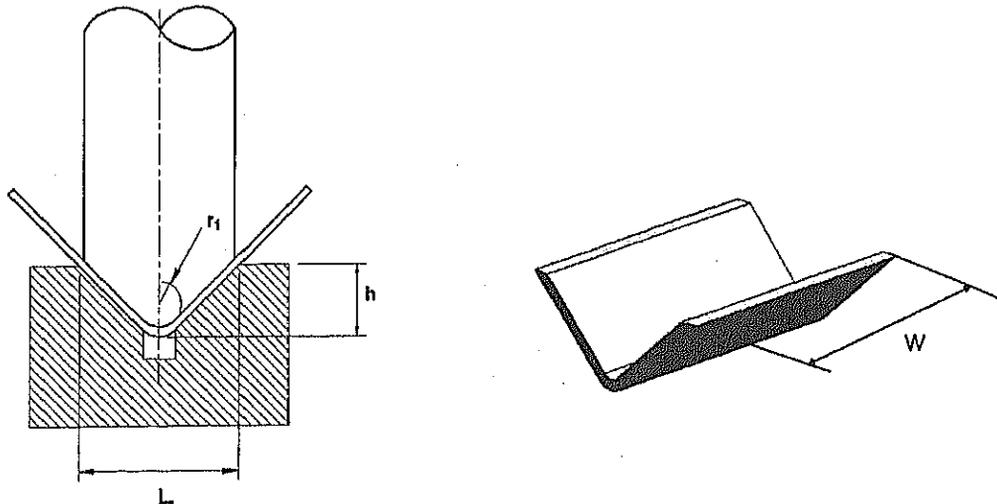


Figura 2.2 Referencias para doblado en "V".

Energía requerida para la transformación

$$E_v = P_v \cdot h \cdot k_2 \quad [kgf \cdot m]$$

Donde:

$E_v$  = Energía requerida para el doblado en V [kgf o J]

$h$  = Longitud de carrera para la transformación [mm]

$k_2 = 0.6$  [-]

$r_1$  = Radio de doblado [mm]

Una condición importante para la longitud de carrera se representa mediante la siguiente ecuación.

$$h = 0.5 \cdot L - 0.35 \cdot t - 0.4 \cdot r_1 \quad [mm]$$

**Características de la transformación**

Condiciones para la transformación.

$$\begin{cases} 5 > \frac{rp}{t} > 0.0085 \frac{\sigma_B}{\delta_r} + 0.5 \\ L = 8 \cdot t \quad [mm] \end{cases}$$

Donde:

$\delta_r$  = Tasa de elongación en el momento de la ruptura.

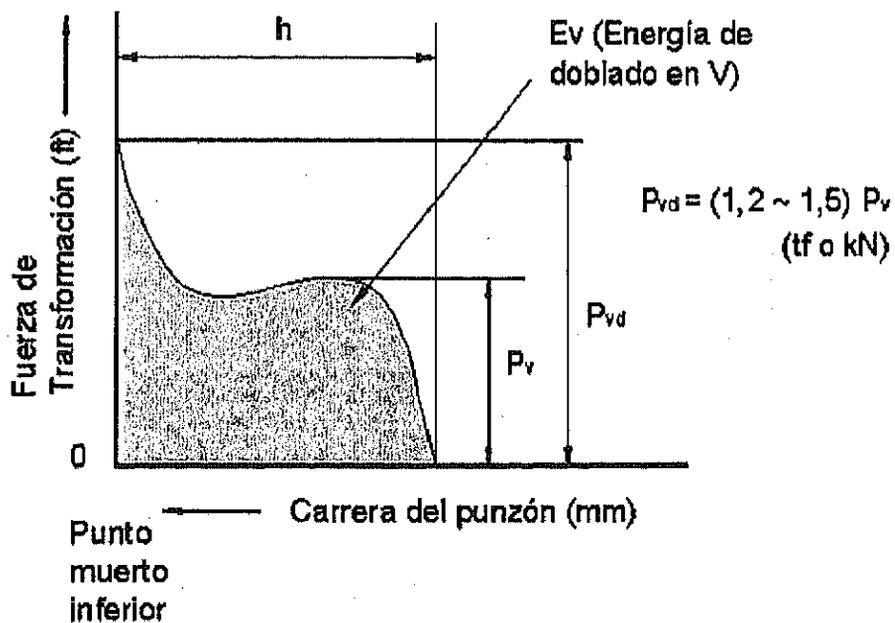
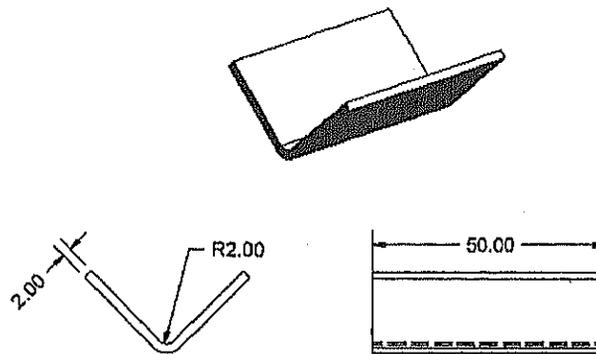


Figura 2.3 Gráfica de Fuerza – Carrera del doblado en "V".

**Ejemplo**

Se quiere fabricar el producto ilustrado en la figura 2.4. Calcular la fuerza de transformación, y la energía que se requiere.



**Figura 2.4 Ejemplo de doblez en "V".**

Datos:

Material = Acero 1010.

$t = 2 \text{ mm.}$

$w = 50 \text{ mm.}$

$\sigma_B = 30 \text{ kgf/mm}^2.$

$L = 8 t = 16 \text{ mm.}$

$r_1 = 2 \text{ mm.}$

Incógnitas:

$P_v =$  Fuerza de transformación

$E_u =$  Energía de transformación.

$h =$  Longitud de carrera de Transf.

### 3. Doblado en "L" (estructura básica)

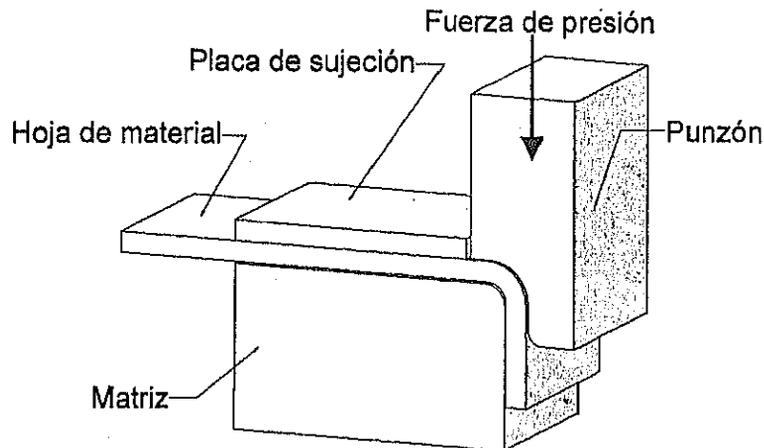


Figura 2.5 Estructura de herramienta del doblado en "L".

#### Fuerza requerida para la transformación

Donde:

$$P_L = 0.33 \cdot \frac{\sigma_B \cdot w \cdot t^2}{1000 \cdot L} \quad [tf]$$

$P_L$  = Fuerza requerida para la transformación.

$\sigma_B$  = Resistencia a la tensión [kgf/mm<sup>2</sup> o MPa]

$w$  = Longitud del doblado. [mm]

$t$  = Espesor del material. [mm]

$L$  = Distancia entre radio de matriz y punzón.

$$L = r_1 + r_2 + t \quad [mm]$$

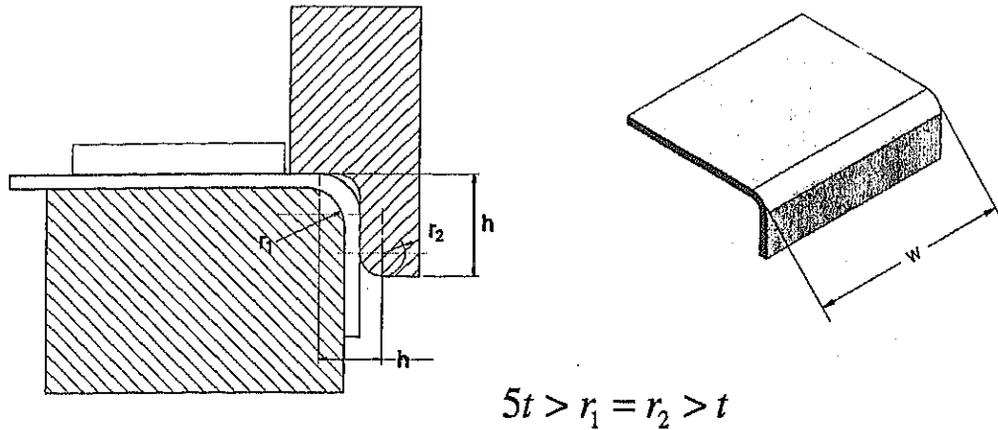


Figura 2.6 Condiciones para realizar el doblés en "L".

Fuerza del pisador

$$P_B \geq \frac{P_L}{6} \quad [tf]$$

Donde:

$P_L$  = Fuerza requerida para el doblés en L. [tf o KN]

$P_B$  = Fuerza del pisador. [tf o KN]

Fuerza Total.

$$P_{LT} = (P_L + P_B) \quad [tf]$$

Energía requerida para la transformación

$$E_L = P_{LT} \cdot h \cdot K_2 \quad [kgf \cdot m]$$

Donde:

$E_L$  = Energía requerida para el doblés en L

$P_{LT}$  = Fuerza total requerida para el doblés en L. [tf o KN]

$h$  = Carrera de transformación.

$K_2 = 0.6$  [-]

**Características de la transformación**

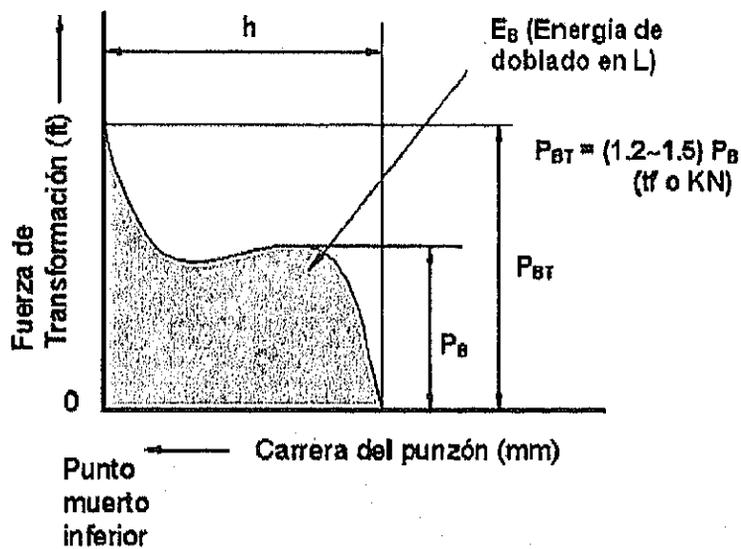


Figura 2.7 Gráfica de Fuerza - Carrera del doblado en "L".

**4. Doblado en "L" (Alta tecnología)**

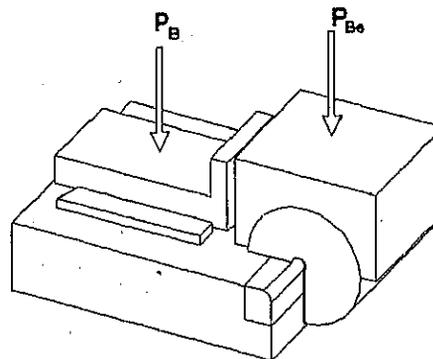


Figura 2.8 Estructura del herramental de doblado en "L". (Alta tecnología).





### Fuerza del pisador

$$P_p \geq \frac{P_B}{6} \quad [tf]$$

Donde:

$P_B$  = Fuerza requerida para el dobléz en L. [tf o KN]

$P_p$  = Fuerza del pisador. [tf o KN]

### Fuerza Total.

$$P_{BT} = (P_B + P_p) \quad [tf]$$

### Energía requerida para la transformación

$$E_B = P_{BT} \cdot h \cdot K_2 \quad [kgf \cdot m]$$

Donde:

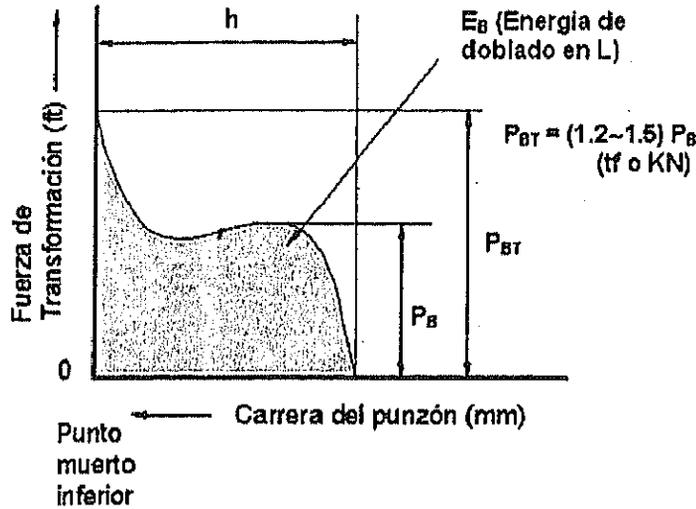
$E_B$  = Energía requerida para el dobléz en L

$P_{BT}$  = Fuerza total requerida para el dobléz en L. [tf o KN]

$h$  = Carrera de transformación.

$K_2 = 0.6 [-]$

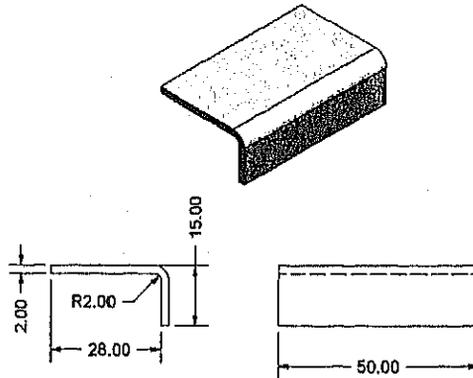
**Características de la transformación**



**Figura 2.10 Gráfica de fuerza – Carrera del doblado en "L".**

**Ejemplo**

Se requiere fabricar una pieza como la mostrada en la siguiente figura, ¿calcular la fuerza de transformación, la fuerza del pisador y la energía necesaria para realizar el proceso?



**Figura 2.11 Ejemplo de doblado en "L" por estructura básica.**



Datos:

Material = Acero 1010.

$t = 2 \text{ mm}$ .

$w = 50 \text{ mm}$ .

$\sigma_B = 30 \text{ kgf/mm}^2$ .

$r_1 = r_2 = 2 \text{ mm}$ .

$L = r_1 + r_2 + t = 6 \text{ mm}$ .

$h = 8 \text{ mm}$ .

Incógnitas:

$P_v$  = Fuerza de transformación

$P_p$  = Fuerza del pisador.

$E_u$  = Energía de transformación.

#### Fuerza requerida para la transformación

$$P_B = 0.33 \cdot \frac{\sigma_B \cdot w \cdot t^2}{1000 \cdot L} \quad [tf]$$

$$P_B = 0.33 \cdot \frac{(30 \text{ kgf/mm}^2) \cdot (50 \text{ mm}) \cdot (2 \text{ mm})^2}{1000 \cdot (6 \text{ mm})} \Rightarrow P_B = 0.3tf$$

#### Fuerza del Pisador

$$P_B \geq \frac{P_L}{6} \quad [tf]$$

$$P_B \geq \frac{0.3tf}{6} \Rightarrow P_B \geq 0.05tf$$

#### Fuerza total

$$P_{BT} = (P_B + P_p) \quad [tf]$$

$$P_{BT} = (0.3tf + 0.05tf) \Rightarrow P_{BT} = 0.35tf$$

Energía requerida para la transformación

$$E_B = P_{BT} \cdot h \cdot K_2 \quad [kgf \cdot m]$$

$$E_B = (0.35tf) \cdot (8mm) \cdot (0.6) \Rightarrow E_B = 1.68kgf \cdot m$$

Si queremos seleccionar una prensa para realizar esta operación, tenemos que considerar

lo siguiente:

$$P_{BD} = (1.2 \approx 1.5) \cdot P_{BT}$$

$$P_{BD} = (1.5) \cdot (0.35tf) \Rightarrow P_{BD} = 0.52tf$$

$$E_{BD} = (1.2 \approx 1.5) \cdot E_B$$

$$E_{BD} = (1.5) \cdot (1.68kgf \cdot m) \Rightarrow E_{BD} = 2.52kgf \cdot m$$

Por lo tanto:

$$P_M > P_{VD}$$

$$E_M > E_{VD}$$

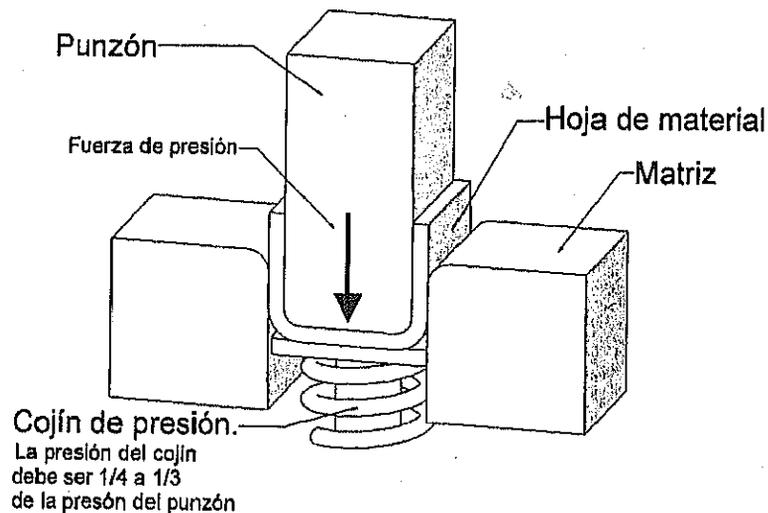


Figura 2.12 Estructura del herramental de doblado en "U".

## 5. Doblado en "U".

Fuerza requerida para la transformación

$$P_U = \frac{k_3 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot w}{1000} \quad [tf]$$

Donde:

$P_U$  = Fuerza para realizar el doblado en "U" [tf o KN]

$K_3 = 0.4$  [-]

$\sigma_B$  = Resistencia a la tensión [30 kg/mm<sup>2</sup>]

$t$  = Espesor del material [mm]

$w$  = Longitud del doblado [mm]

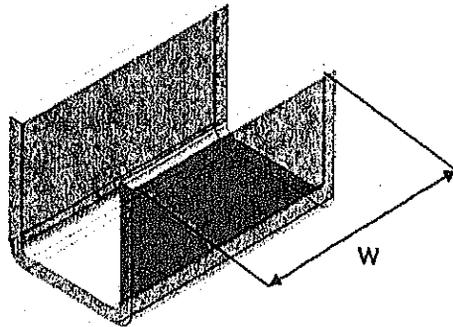


Figura 2.13 Longitud del doblado en "U".

### Fuerza necesaria para el cojín

$$P_{UP} = \left[ \frac{1}{4} \approx \frac{1}{3} \right] P_U \quad [tf]$$

Donde:

$P_U$  = Fuerza para la transformación [tf o kN]

### Fuerza total

$$P_{uT} = (P_u + P_{up}) \quad [tf]$$

Donde:

$P_{uT}$  = Fuerza total [kf o kN]

### Energía requerida para la transformación

$$E_u = P_{uT} \cdot h_u \cdot k_4 \quad [kgf \cdot m]$$

Donde:

$E_u$  = Energía requerida para el doblado en U [kgf\*m o J]

$h_u$  = Longitud de carrera para la transformación [mm]

$k_4 = 0.6 [-]$

### Características de la transformación

Condiciones para la transformación

$$5 > \frac{rp}{t} > 0.0085 \frac{\sigma_B}{\delta r} + 0.5$$

Donde:

P= Punzón

$r_p$ = Radio del punzón

$r_d$ = Radio de la matriz

$$r_d = (2.5 \sim 3)t$$

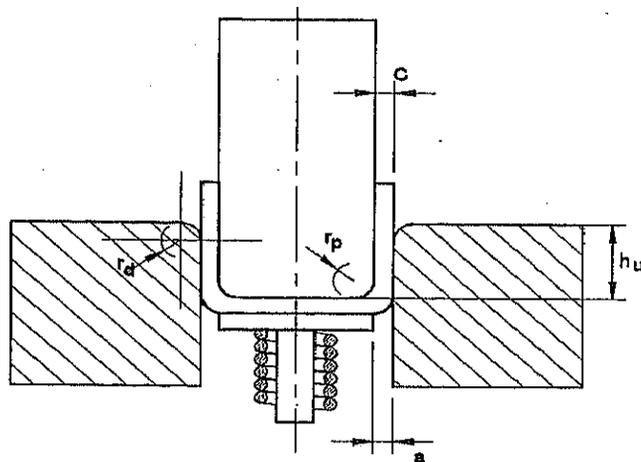
$$a = 0.5t$$

$$b = r_p + t$$

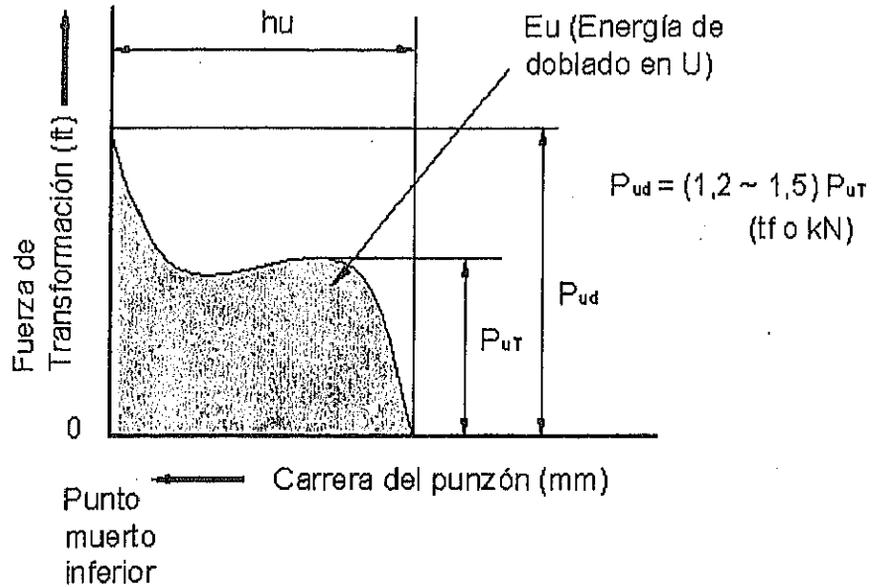
c= Claro (c=t)

$$h_u = (6 \sim 8)t$$

$\delta_r$ = Tasa de elongación del material



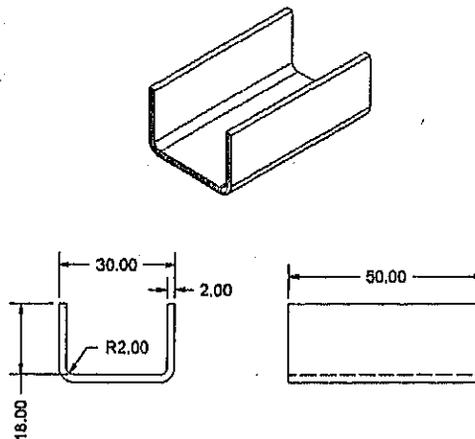
**Figura 2.14 Condiciones de la estructura del herramental para el doblado en "U".**



**Figura 2.15 Gráfica Fuerza – Carrera del doblado en "U".**

**Ejemplo.**

Se pretende fabricar el siguiente producto, ¿calcular la fuerza necesaria para realizar la transformación, la fuerza del botador y la energía que requiere el proceso?



**Figura 2.16 Ejemplo de doblado en "U".**



Datos:

Material = Acero 1010.

$t = 2 \text{ mm}$ .

$w = 50 \text{ mm}$ .

$h_u = 18 \text{ mm}$ .

$\sigma_B = 30 \text{ kgf/mm}^2$ .

Incógnitas:

$P_u$  = Fuerza de transformación

$P_{up}$  = Fuerza del botador.

$P_{uT}$  = Fuerza total.

$E_u$  = Energía de transformación.

#### Fuerza requerida para transformación

$$P_u = \frac{k_3 \cdot \sigma_B \cdot t \cdot w}{1000} \quad [tf]$$
$$P_u = \frac{(0.4) \cdot (30 \text{ kgf/mm}^2) \cdot (2 \text{ mm}) \cdot (50 \text{ mm})}{1000} \Rightarrow P_u = 1.2tf$$

#### Fuerza del botador

$$P_{up} = \left[ \frac{1}{4} \approx \frac{1}{3} \right] P_u \quad [tf]$$
$$P_{up} = \frac{1}{3} \cdot P_u \Rightarrow P_{up} = \frac{1}{3} \cdot (1.2) = 0.4tf$$

#### Fuerza total

$$P_{uT} = (P_u + P_{up}) \quad [tf]$$
$$P_{uT} = (1.2tf + 0.4tf) \Rightarrow P_{uT} = 1.6tf$$

**Energía requerida para la transformación**

$$E_u = P_{uT} \cdot h_u \cdot k_4 \quad [kgf \cdot m]$$

$$E_u = (1.6tf) \cdot (18mm) \cdot (0.6) \Rightarrow E_u = 17.28kgf \cdot m$$

Si queremos seleccionar una prensa para realizar esta operación, tenemos que considerar

lo siguiente:

$$P_{UD} = (1.2 \approx 1.5) \cdot P_{uT}$$

$$P_{UD} = (1.5) \cdot (1.6tf) \Rightarrow P_{UD} = 2.4tf$$

$$E_{UD} = (1.2 \approx 1.5) \cdot E_u$$

$$E_{UD} = (1.5) \cdot (17.28kgf \cdot m) \Rightarrow E_{UD} = 25.92kgf \cdot m$$

Por lo tanto.

$$P_M > P_{UD}$$

$$E_M > E_{UD}$$

**6. Interpretación real de los cálculos**

En los ejemplos que presentamos anteriormente se calculó la fuerza que se requiere para realizar los procesos.

	<b>Doblez en "V"</b>	<b>Doblez en "L"</b>	<b>Doblez en "U"</b>
Fuerza	$P_v = 0.25 \text{ tf}$	$P_v = 0.35 \text{ tf}$	$P_{uT} = 1.6 \text{ tf}$
Energía	$E_v = 1 \text{ kgf} - m$	$E_v = 1.7 \text{ kgf} - m$	$E_v = 18 \text{ kgf} - m$

**Tabla 2.1 Resultados de los procesos de dobléz.**



Esta fuerza resultó relativamente baja, lo que podríamos pensar es que no requerimos una prensa muy grande, es más, las fuerzas resultan tan pequeñas que con una prensa muy chica alcanzamos la capacidad que nos pide, pero aquí viene otro punto muy importante que se llama "energía de transformación".

La prensa además de tener el tonelaje suficiente para realizar la transformación, también debe contar con la energía suficiente, aquí es la verdadera interpretación de los cálculos hechos anteriormente.

Recordando la fórmula básica de energía tenemos que:

$$E = P \cdot H \quad [\text{kgf} \cdot \text{m}] \quad \Rightarrow \quad P = \frac{E}{H} \quad [\text{tf}]$$

Donde:

E = Energía de la prensa [kgf - m]

P = Capacidad de la prensa [tf]

H = Posición de la capacidad máxima de la prensa [mm]

Por lo tanto:

Si la prensa que vamos a utilizar tiene H = 1 mm, tenemos que considerar:

Para el doblado en "V" :

$$P_v = 0.25 \text{ tf}$$

$$E_v = 1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$P = \frac{E}{H} \quad [tf]$$

$$P = \frac{1 \text{ kgf} \cdot \text{m}}{1} \Rightarrow P = 1 \text{ tf}$$

Para el doblado en "L":

$$P_B = 0.35 \text{ tf}$$

$$E_v = 1.7 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$P = \frac{E}{H} \quad [tf]$$

$$P = \frac{1.7 \text{ kgf} \cdot \text{m}}{1 \text{ mm}} \Rightarrow P = 1.7 \text{ tf}$$

Para el doblado en "V":

$$P_v = 1.6 \text{ tf}$$

$$E_v = 18 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$P = \frac{E}{H} \quad [tf]$$

$$P = \frac{18 \text{ kgf} \cdot \text{m}}{1 \text{ mm}} \Rightarrow P = 18 \text{ tf}$$

Aquí se observa cómo se incrementa considerablemente la capacidad que debe tener la prensa, cuando la energía es alta y el valor de H es bajo.



	Fuerza para proceso	Energía para proceso	Energía de prensa (H=1)	Fuerza de prensa (H=1)
Doble en V	$P_V = 0.25 \text{ tf}$	$E_V = 1 \text{ kgf} - \text{m}$	$E_M = 1 \text{ kgf} - \text{m}$	$P_M = 1 \text{ tf}$
Doble en L	$P_B = 0.35 \text{ tf}$	$E_B = 1.7 \text{ kgf} - \text{m}$	$E_B = 1.7 \text{ kgf} - \text{m}$	$P_M = 1.7$
Doble en U	$P_U = 1.2 \text{ tf}$	$E_U = 18 \text{ kgf} - \text{m}$	$E_U = 18 \text{ kgf} - \text{m}$	$P_M = 18 \text{ tf}$

**Tabla 2.2 Comparación de fuerzas y energías de proceso – prensas.**

La tabla 2.2 muestra la diferencia que existe entre la fuerza calculada para el proceso y la capacidad mínima que debe tener la prensa, para el caso del doblado en U, se incrementó de 1.2 tf a 18 tf, 150 % más de capacidad, si no se tienen las especificaciones de las prensas, se corre el riesgo de que la prensa no pueda realizar el proceso, e incluso podría dañarse.

A continuación se compara la gráfica fuerza – carrera de la prensa contra la gráfica correspondiente del proceso en U.

La gráfica A es la condición adecuada para realizar el proceso, mientras que la gráfica B una condición donde tendremos problemas.

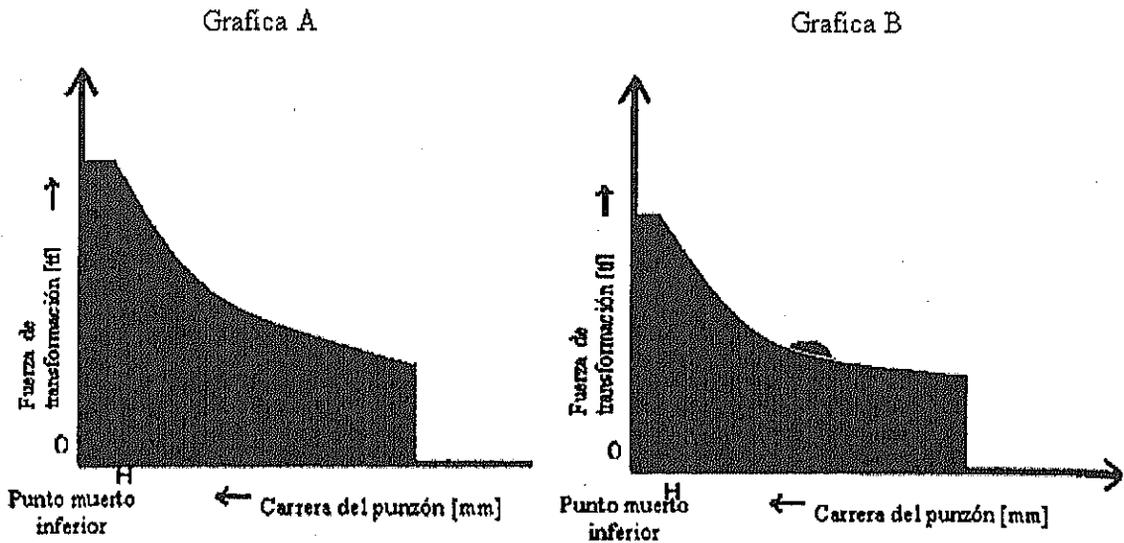


Figura 2.17 Comparación de gráficas de fuerza – carrera.

De aquí parte la importancia de conocer la capacidad real de nuestras prensas, saber qué tonelaje nos pueden entregar y también que energía pueden desarrollar y si comparamos estos datos con los calculados para la transformación, deben ser mayores, es decir:

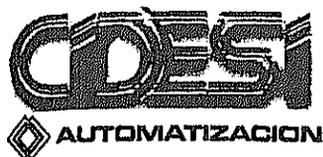
$$P_M > P_{UD} \text{ ó } P_V \text{ ó } P_{BD}$$

$$E_M > E_{UD} \text{ ó } E_{UD} \text{ ó } E_{UD}$$

La capacidad y la energía de la prensa deben ser mayor a la fuerza y energía requerida para la transformación.

## 6. Conclusión.

La adecuada realización de los cálculos en los procesos de estampado y troquelado, nos ayuda a conocer las características que tienen las transformaciones, permite seleccionar



de manera adecuada los componentes que llevara nuestro troquel en la etapa de diseño y posteriormente seleccionar la prensa más adecuada para dichos procesos.

De esta manera podemos estar seguros que la prensa no está trabajando fuera de sus límites, así evitamos accidentes o daños a la prensa y al mismo tiempo elevamos la calidad de nuestros productos.



**Proyecto de Mejoramiento de Tecnología  
de  
Estampado y Troquelado**

**Tema III**

**Estructura básica del herramental de doblado**

**Ing. Saúl Rubio Rodríguez**

**Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial**

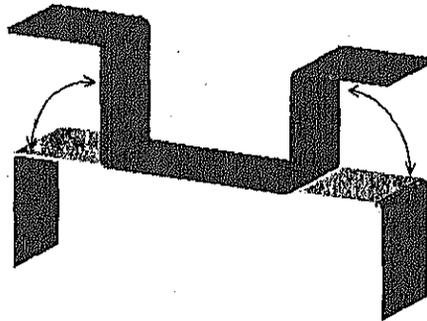
## Contenido

1. Recomendaciones para el doblado	3
2. Efectos del spring back	4
3. Herramental de doblado en V	5
Forma y dimensión del radio de la matriz para herramientas de doblado en V	5
4. Herramental para doblado en L	6
Herramental para doblado en L con leva	7
5. Herramental de doblado en U	8
Forma y dimensión del radio de la matriz para herramientas de doblado en U	8
Herramental de doblado en U	9
6. Efectos causados por la variación de	10
7. Características del material para procesar en estampado y troquelado	10
Características de las probetas	11
Valor n (Strain Hardening-exponent)	13
Radio mínimo para el doblado	14
8. Altura mínima del doblado	14
9. Dirección del doblado	16
10. Rectificación del spring back en el doblado en V	17
11. Rectificación del spring back en el doblado en U	18

## 1. Recomendaciones para el doblado

Para controlar el proceso de doblado es necesario seguir las recomendaciones siguientes:

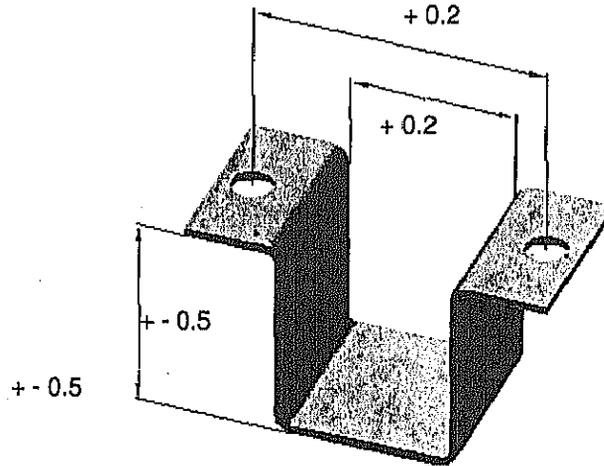
- Planear con cuidado el primer y último proceso.
- Considerar la dimensión crítica del producto como una referencia y lograr el doblado sin forzarla.
- Montaje y desmontaje fácil del herramental.
- Si es posible omitir una de las operaciones que sea cargar o descargar el producto.
- Para el doblado de sombrero se recomienda hacer el doblado en 2 pasos como se indica en la figura 3.1.



**Figura 3.1 Doblado de sombrero.**

**Considerar la dimensión crítica del diseño del producto como una referencia**

Las guías para la pieza a producir deben de controlar los puntos críticos que se indican en las especificaciones de tolerancia del producto.



**Figura 3.2 Dimensiones críticas**

## **2. Efectos del Spring Back**

Debido a las fuerzas de compresión y de expansión que se presentan en el material al momento de ser doblado este tiende a recuperar su forma original dando como resultado un rebote del material, conocido como spring back.

Existen varias contramedidas para el spring back.

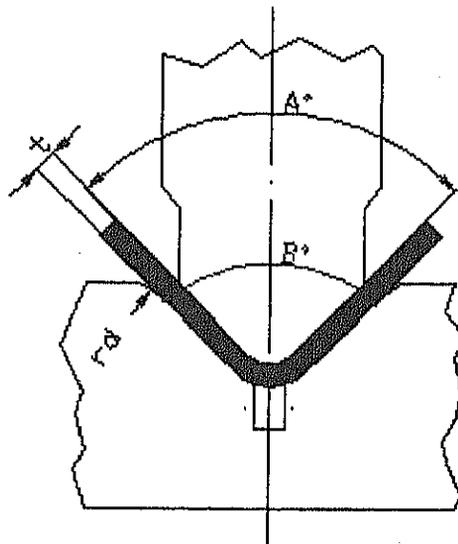
De las medidas comunes generalmente utilizadas, entre otras, existe el estilo striking y el estilo diente en V: en el primero se instala una parte saliente en el extremo del punzón y en el segundo se agrega un diente en forma de V en el proceso (estación) anterior del doblado.

Cabe señalar que en la mayoría de los casos, las medidas para el spring back sirven también para controlar la tensión causada por el doblado.

### 3. Herramental para doblado en V

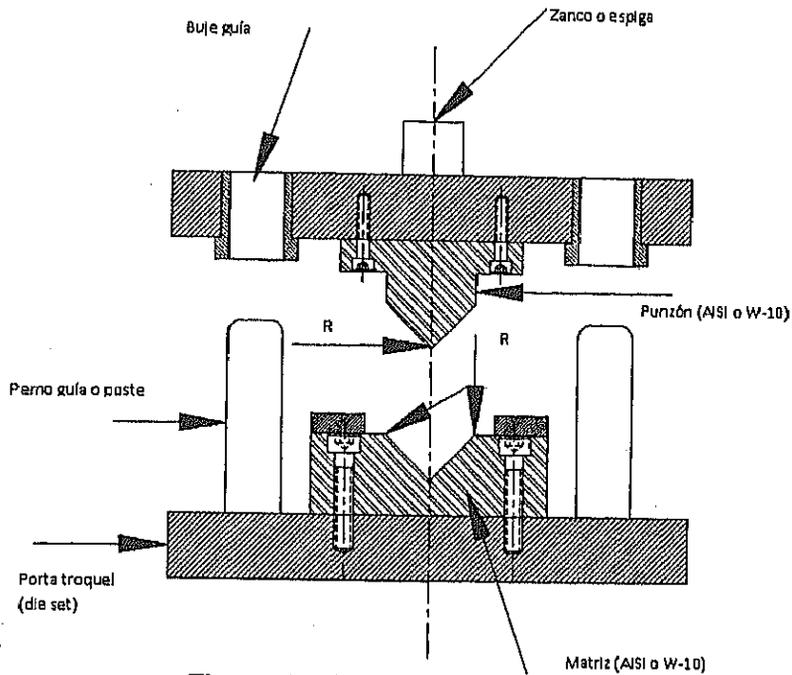
- Se utiliza con frecuencia para el doblado sencillo.
- No es estable la precisión del doblado y se presenta fácilmente pandeo por el doblado.
- Es relativamente fácil formar un ángulo recto en el doblado.
- Si el material a procesar no está colocado en ambos hombros de la matriz, no se puede realizar el doblado debido a que se produce un deslizamiento.

#### Forma y dimensión del radio de la matriz para herramientas de doblado en V



**Figura 3.3 Forma y dimensión del doblado**

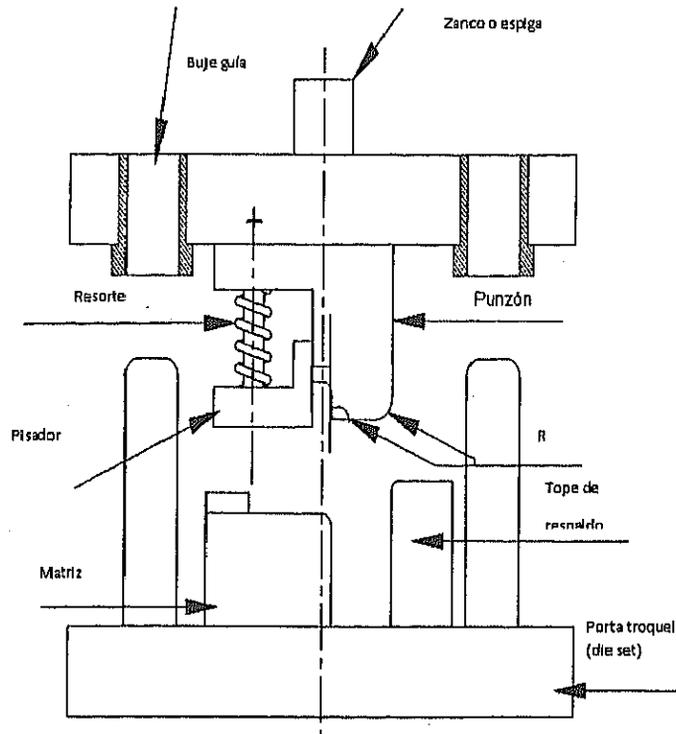
Para los herramientas de doblado en V, la forma más común es la que se muestra en la figura 3.3, es muy importante poner atención en el ancho del hombro, ya que podemos tener algunas variaciones en el formado si no se toman en cuenta estas medidas.



**Figura 3.4 Herramental doblado en V.**

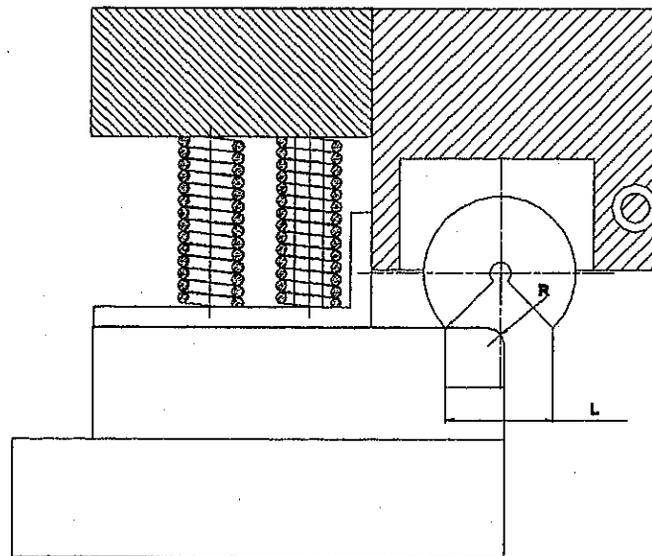
#### 4. Herramental para doblado en L

- Fácil de configuración.
- No se puede controlar fácilmente el spring back.
- Es necesario poner respaldo al punzón de doblado.
- La longitud del doblado no se puede controlar fácilmente.



**Figura 3.5 Herramental para doblaz en L**

**Herramental para doblado en L con leva**



**Figura 3.6 Doblez con leva**

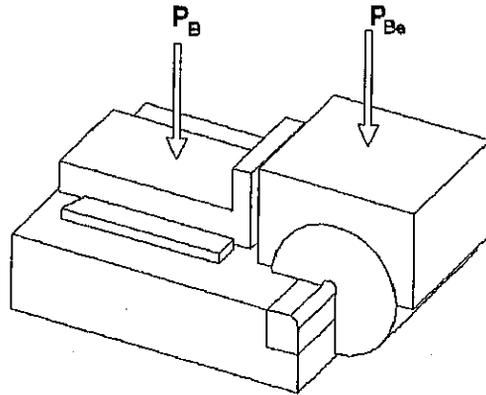


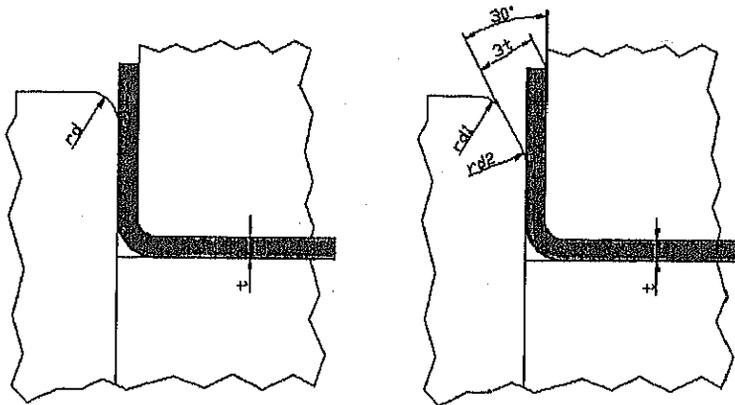
Figura 3.7 Diagrama de fuerzas con doblez de leva.

### 5. Herramental para doblez en U

-Se obtienen establemente las dimensiones precisas tanto en la posición de doblado como en otras zonas, y se pueden realizar distintos procesos de doblado al mismo tiempo, sin embargo, se genera una tensión grande por el doblado.

-Si es débil la fuerza del cojín suele ser inestable la planicidad de los productos, y si esta es fuerte, se abre con facilidad el ángulo recto del doblado.

#### Forma y dimensión del radio de la matriz para herramientas de doblez en U



$$rd = (2 \text{ a } 4)t$$

$$rd1 = (0.5 \text{ a } 2)t$$

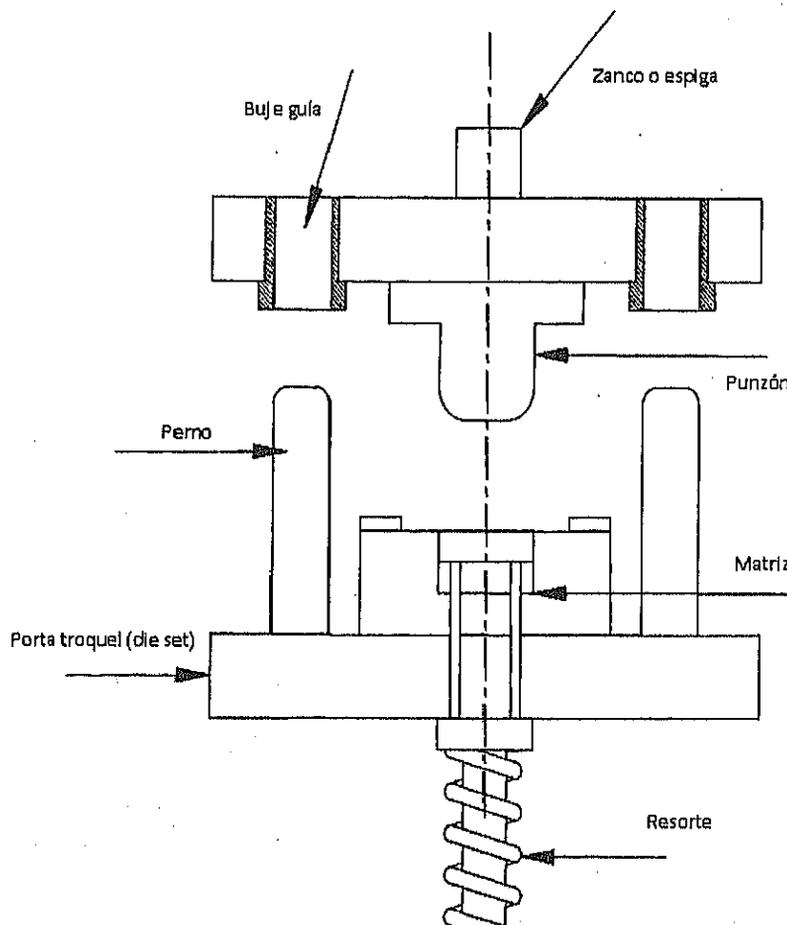
$$rd2 = (2 \text{ a } 4)t$$

Figura 3.8 Dimensiones del radio de la matriz.

**Herramental de doblez en U**

Las medidas mostradas en la figura 3.8, son las que se aplican comúnmente en los herramentales para doblado en U.

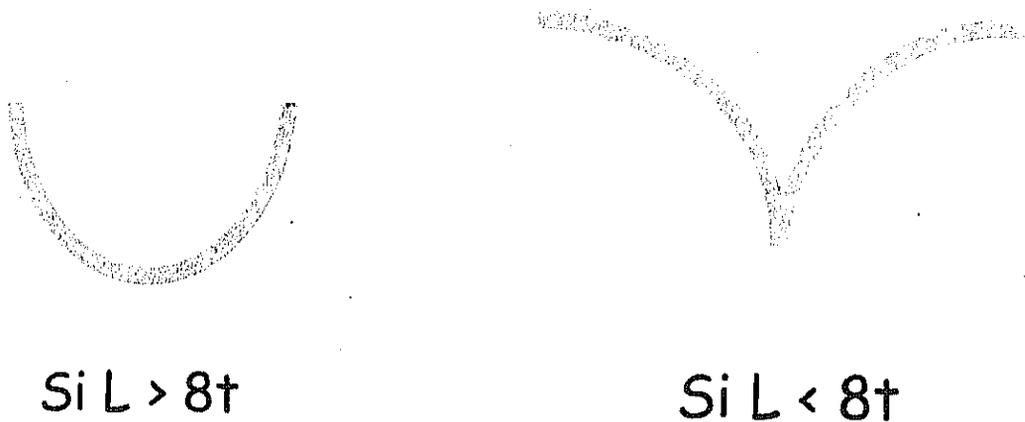
la forma estándar es la que representa la Imagen de la izquierda y la forma oblicua, es la que representa la imagen de la derecha que tiene algunas variaciones en cuanto a la forma de los radios de la entrada del material que hace que el material deslice más suavemente y tenga menos marcas.



**Figura 3.9 Herramental doblez en U**

Los defectos que se pueden presentar por no tomar en consideración los valores mencionados anteriormente son los que se muestran en la figura 3.10.

## 6. Efectos causados por la variación de L



Si  $L > 8t$  se provoca Spring Go.

Si  $L < 8t$  se provoca Spring Back.

**Figura 3.10 Variación del dobléz**

## 7. Características del material para procesar en estampado y troquelado

La mayoría de los materiales para procesar en estampado y troquelado son metálicos.

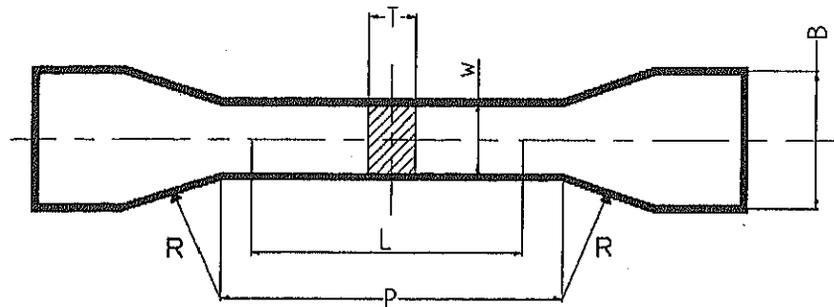
Por tanto existe la prueba de tensión como un método de verificación para evaluar la propiedad dinámica del material metálico.

En general existen la prueba Erichsen (Erichsen test), la prueba de copa cónica (Conical cup test. CCV), entre otras para estudiar la formabilidad del material para procesar; sin embargo recientemente la prueba de tensión ha logrado ser un método eficiente para examinar la formabilidad del material para procesar.

**Características de las probetas.**

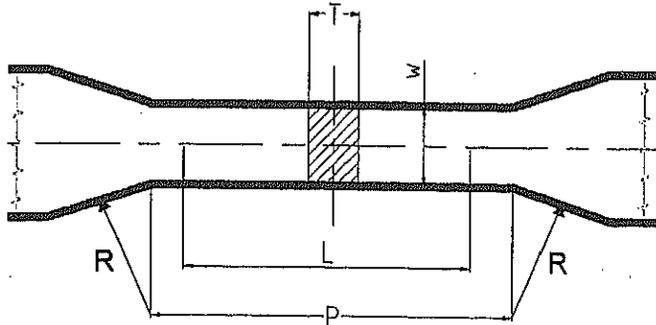
Como norma principal para el método de prueba, se usa una probeta para la prueba, y se utilizan como se señalan, la probeta No.13 A, B de la figura 3.11, o la probeta No.5 de la figura 3.12. La velocidad de prueba es generalmente 0-5mm/s aproximadamente y la temperatura es la del medio ambiente.

En la figura 3.13 se señala la curva de F(carga)-e(elongación).



Identificación de muestra	Ancho W	Distancia entre las referencias L	Longitud de la parte paralela P	Radio de la parte de hombro R	Espesor del material T	Ancho de la parte para asir B
13 A	20	80	Aprox. 120	20 - 30	Igual que el original	-
13 B	12.5	50	Aprox. 60	20 - 30	Igual que el original	Igual o más que 20

**Figura 3.11 Especificaciones de las probetas para la prueba de materiales.**



Ancho W	Longitud calibrada de extensómetro L	Longitud de la porción paralela P	Radio de filete R	Espesor T
25	50	Aprox. 60	Igual o más de 15	Mismo espesor que el original

Figura 3.12 Especificaciones de la probeta No. 5 para la prueba de materiales.

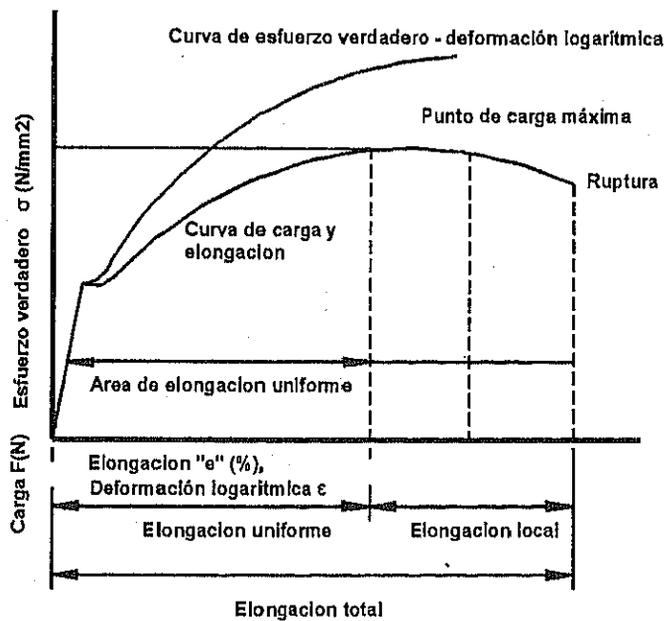


Figura 3.13 Gráfica Fuerza- elongación.

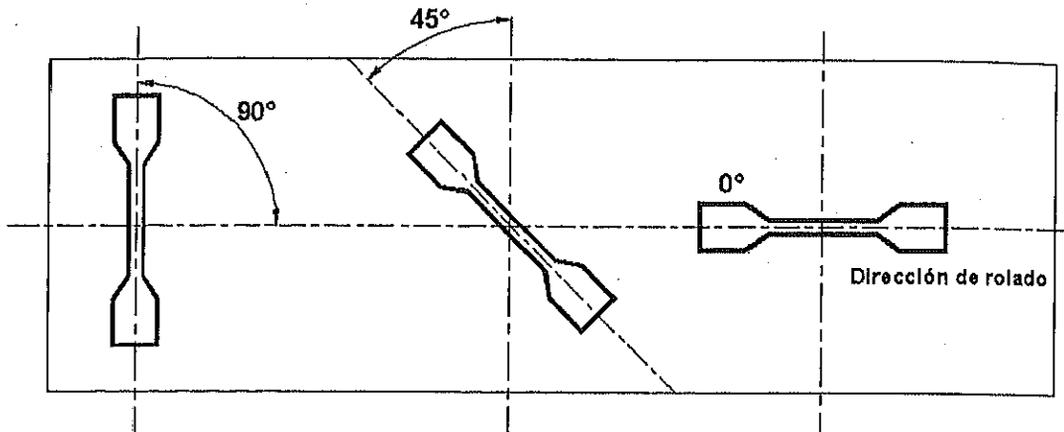


Figura 3.14 Tira y orientación de probeta.

**Valor "n" (Strain hardening-exponent)**

El valor "n" expresa el grado de endurecimiento del material por deformación. En el estampado y troquelado este valor determina el límite de formación. Se calcula a través del método de los cinco puntos.

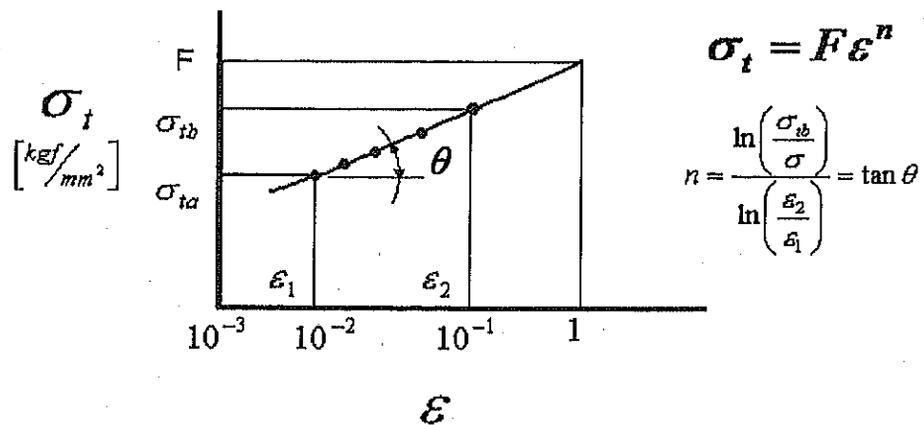


Figura 3.15 Diagrama esfuerzo

**Radio mínimo para el doblado**

Determinación del valor de  $r_{min}$

$$r_{min} = \left( 0.0085 \frac{\sigma_B}{\delta_r} + 0.5 \right) t$$

Donde:  $\delta_r$  se determina de la siguiente forma:

$$\delta_r = \left( \frac{l - l_0}{l_0} \right)$$

**8. Altura mínima de doblado**

-Cuando la silueta tiene contacto con el radio de la matriz, no permite el doblado ya que la silueta se desliza de manera horizontal a lo largo del mismo radio.

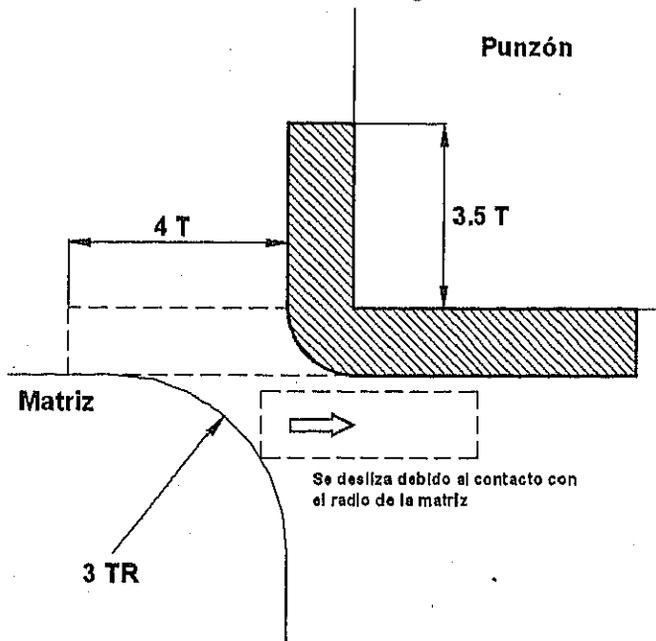


Figura 3.16 Altura mínima de doblado

En caso de ser menor la altura mínima de doblado, se pueden ocasionar fácilmente deformaciones, esto se debe a que el esfuerzo de compresión generado en el lado interno del eje neutro del material se libera en la dirección de la altura del doblado, al mismo tiempo se estira el lado interior en la dirección de la altura del doblado y tiende a abrirse en el lado interior.

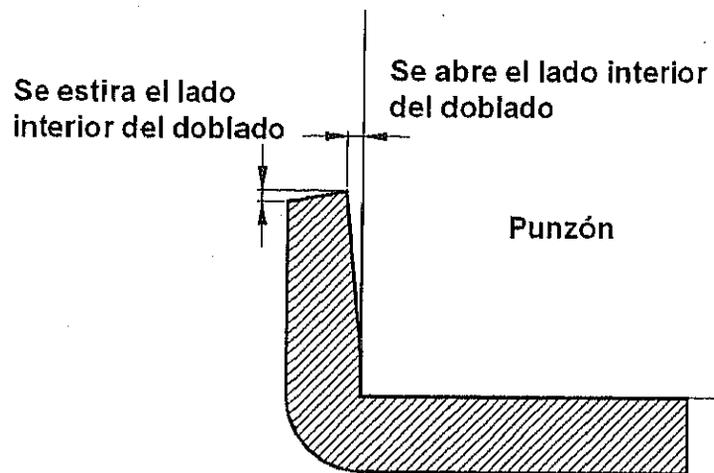
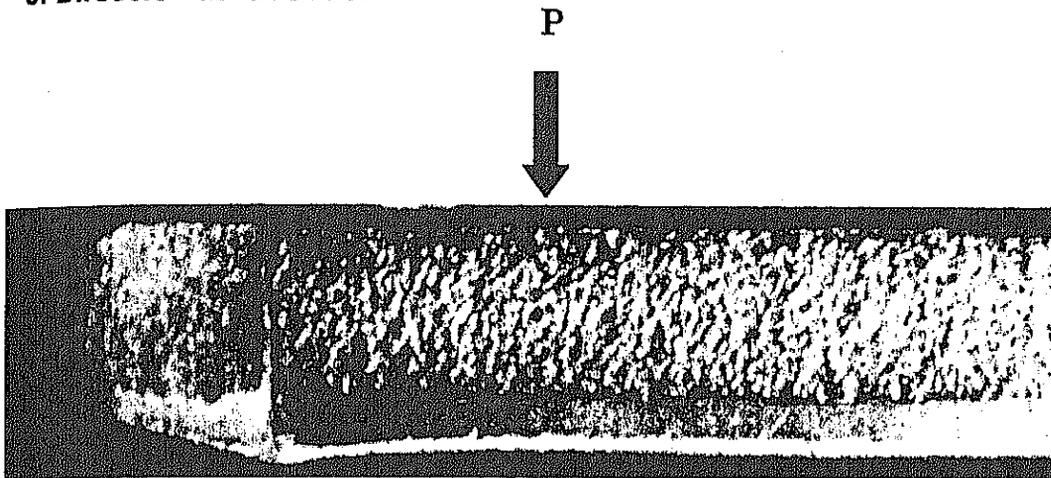


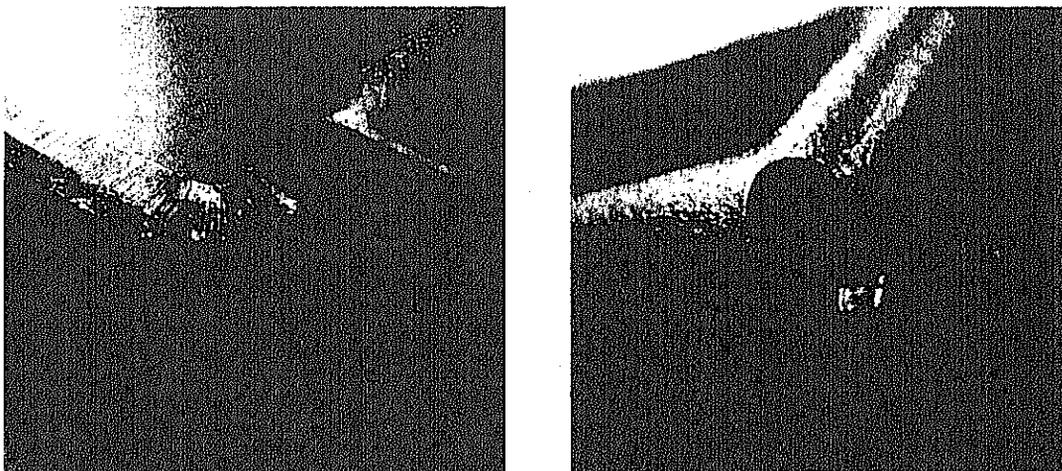
Figura 3.17 Deformación por la altura de doblado.

9. Dirección del doblado.



**Figura 3.17 Rebabas hacia el Interior**

Como regla general, lo ideal es dejar las rebabas generadas en el troquelado hacia el interior. Cuando estas rebabas vienen en el exterior de la zona doblada, ocasionalmente se presentan grietas en la zona de las rebabas.



**Figura 3.18 Rebabas al exterior**

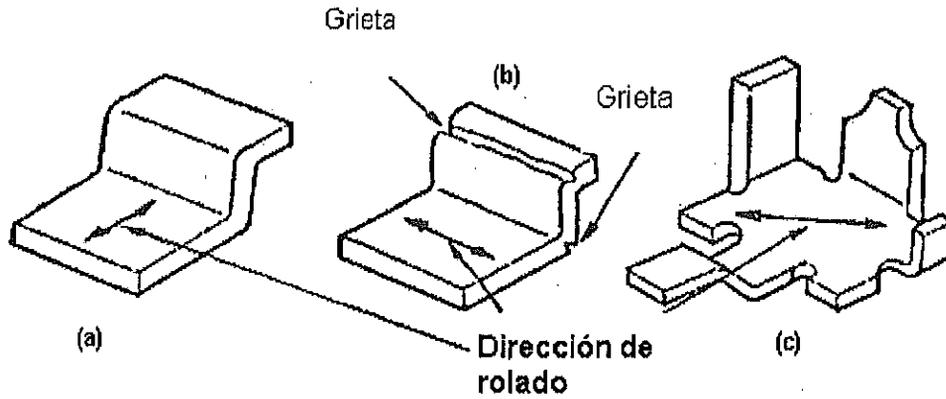


Figura 3.19 Dirección de rolado

### 10. Rectificación del spring back en el doblés en V

Estilo de presión en la punta 1

$$B^\circ = 90^\circ$$

$$\alpha^\circ = 2 \text{ a } 5^\circ$$

$$R2 = R1 + t$$

$$Rd = (2 \text{ a } 4)t$$

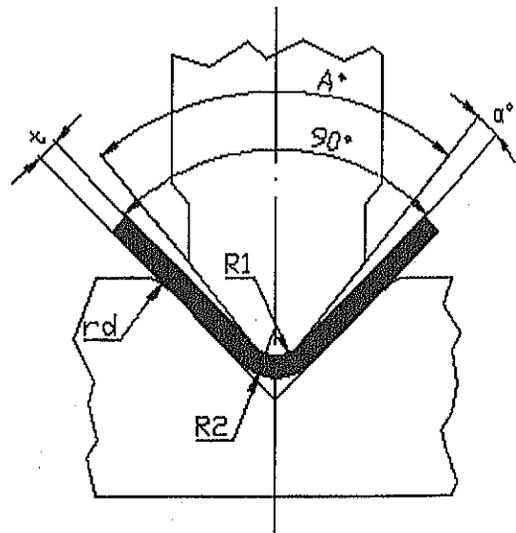
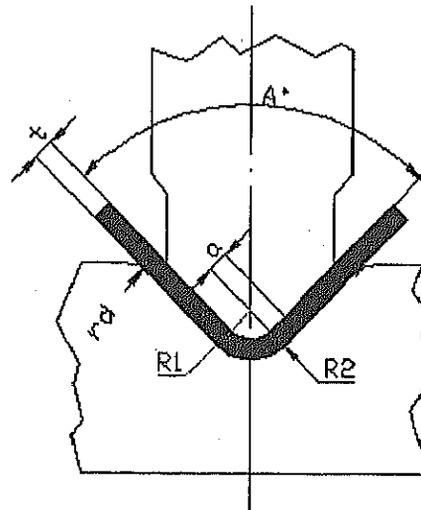


Figura 3.20 Rectificación de spring back

Es una de las técnicas para rectificar el spring back.

**Estilo de presión en la punta 2**

$A^\circ = 90^\circ$   
 $R2 = R1 + t + a$   
 $a = (2 \text{ a } 5\%)t$   
 $rd = (2 \text{ a } 4)t$

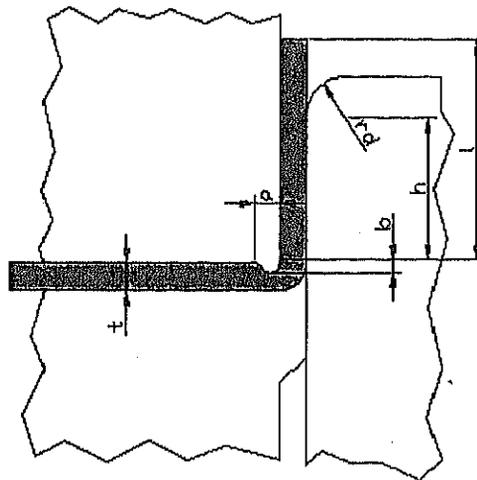


**Figura 3.21 Rectificación de spring back**

**11. Rectificación del spring back en el doblé en U**

Para ajustar el doblé que por efectos del spring back quede fuera de la medida nominal que se nos pide, se puede hacer un proceso llamado Striking que consiste en hacer un pequeño planchado en el fondo de el doblé que va desde: 0.05 hasta 0.1mm y el ancho será de (2-3) t.

$a \geq 2/3t$   
 $b = 0.1\text{mm}$



**Figura 3.22 Rectificación de spring back**



**Proyecto de Mejoramiento de Tecnología  
de  
Estampado y Troquelado**

**Tema V  
Proceso de expansión & burring**

**M.C. Ariel Dorantes Campuzano**

**Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial**



## Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Expansión circular</b>	<b>6</b>
<b>Consideraciones importantes para el proceso de expansión</b>	<b>8</b>
<b>Factores de influencia en el proceso de expansión</b>	<b>9</b>
<b>Cálculos de transformación por expansión</b>	<b>13</b>
<b>Límite de formación de la expansión circular</b>	<b>13</b>
<b>Fuerza y energía requerida para la expansión circular</b>	<b>14</b>
<b>3. Expansión rectangular</b>	<b>16</b>
<b>Límite de formación de la expansión rectangular</b>	<b>17</b>
<b>Fuerza y energía requeridas para la expansión rectangular</b>	<b>17</b>
<b>4. Burring</b>	<b>18</b>
<b>Cálculos para el burring</b>	<b>20</b>
<b>Cálculo del diámetro de orificio piloto</b>	<b>21</b>
<b>Cálculo de la altura de burring</b>	<b>22</b>
<b>Disminución del grosor de la pared</b>	<b>24</b>



<b>Cálculo de claro para el burring</b>	<b>25</b>
<b>Límite de formación</b>	<b>26</b>
<b>Cálculo de fuerza de formación</b>	<b>27</b>
<b>Cálculo de la energía de formación</b>	<b>28</b>
<b>Cálculo de la fuerza del pisador</b>	<b>29</b>
<b>Variantes de la transformación de burring</b>	<b>29</b>
<b>Embutido-Burring</b>	<b>30</b>
<b>Punzonado-Burring</b>	<b>33</b>
<b>Burring-Planchado</b>	<b>34</b>
<b>Burring-Expansión</b>	<b>36</b>
<b>Burring sin orificio preliminar</b>	<b>37</b>
<b>Rosca en burring</b>	<b>38</b>



## 1. Introducción

**Estampado y troquelado.** Este trabajo consiste en 3 elementos que son la prensa, el herramental y el material para procesar, se instala el herramental en la prensa y se inserta el material entre el herramental superior y el inferior, luego se le aplica una fuerza de presión al material para formarlo. Este método de transformación se llama estampado y troquelado, y se realiza en frío.

Existen muchos tipos de estampado y troquelado; además el método y contenido de la transformación son muy complicados. Aquí únicamente, consideraremos cuando el material para procesar sea delgado y se agruparán los métodos parecidos de transformación, por lo cual se clasificarán en 3 grupos abajo señalados. Cabe mencionar que está excluida la compresión por sus características de transformación.

Estampado y troquelado {  
(1) Corte y troquelado  
(2) Doblado y formación  
(3) Embutido y expansión (bulging)

El formado de hoja metálica por prensa se puede clasificar en los siguientes elementos básicos de acuerdo con el tipo de deformación (estado de distorsión) y el modo de fractura.

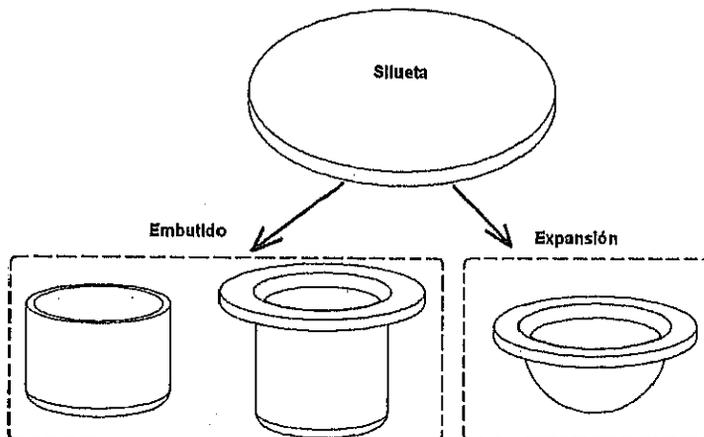
- (a) Embutido profundo (deep drawing).
- (b) Formado de expansión (bulge drawing).
- (c) Formado de pestaña estirada (stretch flanging).
- (d) Dobleza (bending).

El trabajo de prensa que realiza formas complicadas también consiste en la combinación de los diferentes elementos arriba mencionados. La formabilidad en el trabajo de prensa se puede apreciar por la fractura, los defectos de formas y de precisión de dimensión. Actualmente, se evalúa por las características de resistencia del material identificado mediante la prueba mecánica de tracción del mismo.

En este documento sólo analizaremos el proceso de expansión, sus principales factores de influencia y los cálculos para esta transformación; también analizaremos el burring, proceso que es parte del formado de pestaña estirada y que es también considerado una expansión, estableceremos los cálculos y las recomendaciones para este tipo de transformación.

## 2. Expansión Circular

La expansión y el embutido son métodos para formar un recipiente o contenedor con fondo y sin costura, a partir de una silueta plana (el material troquelado) Figura 5.1. Aunque la expansión es muy similar al embutido, las condiciones de la transformación son muy diferentes, la figura 1.1 ilustra las dos formas de obtener un recipiente con fondo sin costura, por proceso de embutido y proceso de expansión.

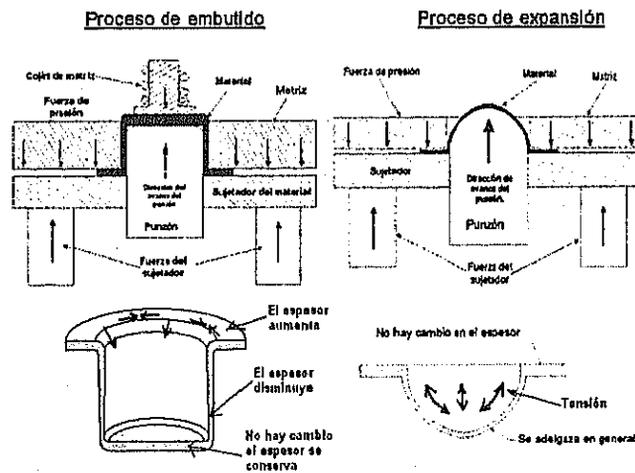


**Figura 5.1 Formas de obtener un recipiente sin costura en el fondo.**

En la figura 5.2 muestran algunas diferencias en la estructura básica del herramental y en el producto para los procesos de embutido y expansión; el proceso de embutido forma el producto obligando al material a fluir por el espacio que hay entre el punzón y la matriz.

En cambio en el proceso de expansión, el material está sujeto fuertemente por la matriz y el sujetador sin permitir su deslizamiento, mientras que el punzón hace la expansión del material.

Por tanto, como se observa en la figura 5.2, el embutido provoca compresión a lo largo de la circunferencia de la pestaña y tensión en la dirección del radio al generar la transformación del material.



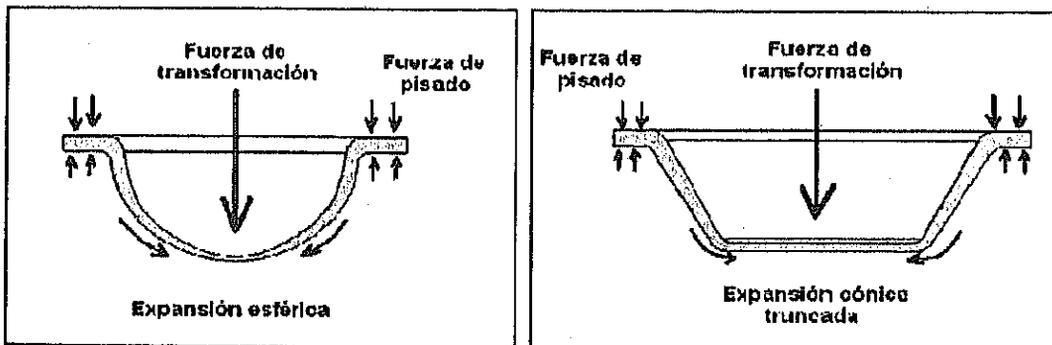
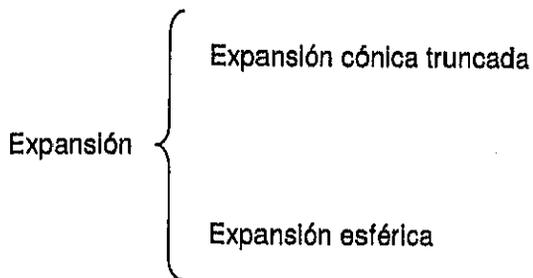
**Figura 5.2 Estructura del herramental para los procesos de embutido y expansión y las diferencias en el producto.**

Por otro lado como se observa en la expansión, la tensión se induce en la parte expandida

a lo largo de la dirección del avance del punzón. Como consecuencia, el espesor del material en la parte expandida se hace más delgado.

**Consideraciones Importantes para el proceso de expansión**

La expansión, como una de las transformaciones de estampado, se clasifica generalmente en dos tipos los cuales se señalan a continuación.



**Figura 5.3 Tipos de expansión cónica truncada y esférica.**

La expansión, distinta al embutido, es una transformación en la que se aplica fuerza de presión intensamente sobre la pestaña provocando una deformación por elongación

en la parte expandida. Esta transformación se realiza por la deformación extensible como se señala en la figura 5.3, por tanto el límite de formación está condicionado por la tasa de elongación y el valor "n" del material utilizado para la transformación; otro factor de suma importancia en la expansión es la velocidad de transformación, que varía de acuerdo al material utilizado.

#### **Factores de influencia en el proceso de expansión**

Las propiedades mecánicas del material, son factores importantes en la selección del material a procesar por expansión ya que las propiedades mecánicas tienen estrecha relación con la formabilidad por estampado, el método más común para conocer los valores de dichas propiedades es la prueba de tensión del material figura 5.4.

Como ya se mencionó anteriormente dentro de los valores de las propiedades mecánicas del material, para el proceso de expansión los más influyentes son:

**La elongación.** Es la característica importante para suponer la formabilidad de un material; cuanto más larga sea la elongación total o la elongación uniforme, se podrá obtener mejor expansionabilidad, doblabilidad y formabilidad de pestaña estirada figura 5.4

*(Cuando se eleva la resistencia, disminuye la elongación y se deteriora la formabilidad, figura 5.5)*

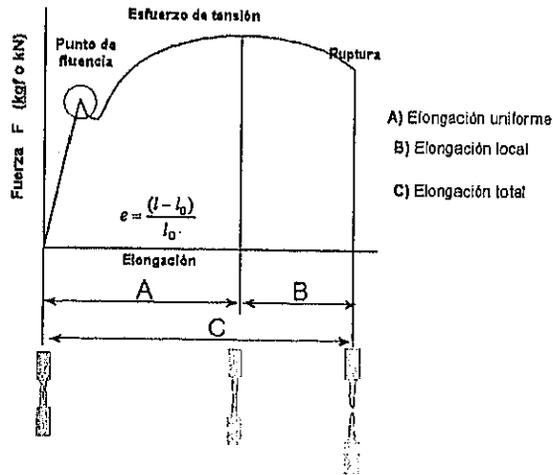


Figura 5.4 Gráfica Fuerza- elongación de una prueba de tensión.

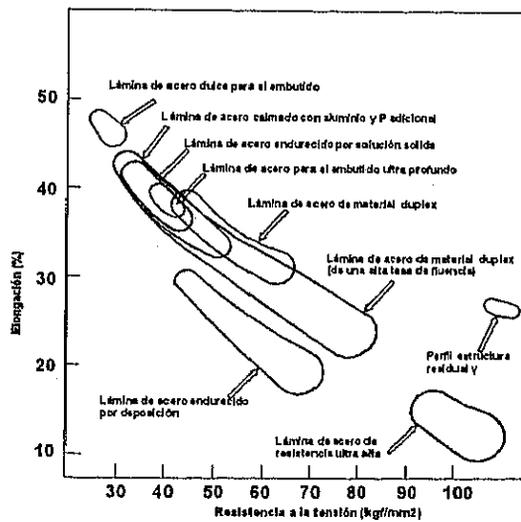


Figura 5.5 Relación entre la resistencia a la tensión y la elongación total del acero laminado en frío.

El valor "n". Expresa el grado de endurecimiento del material por deformación. En el estampado y troquelado este valor determina el límite de formación. Se calcula a través del método de los cinco puntos. Figura 5.6 (En ISO10275 se establece el método de los cinco puntos). Por lo tanto el valor "n" es un indicador de la ductilidad y/o conformabilidad de los metales y aleaciones, experimentalmente, el valor "n" se determina graficando los valores de los logaritmos naturales del esfuerzo y las deformaciones obtenidas en una prueba de tensión, calculando por el método de ajuste por mínimos cuadrados, la pendiente de la recta resultante; cuando se aumenta el valor "n", la deformación observada durante la transformación se hace más homogénea, además, tiene el efecto de elevar el límite de deformación, esto contribuye a mejorar la formabilidad por expansión.

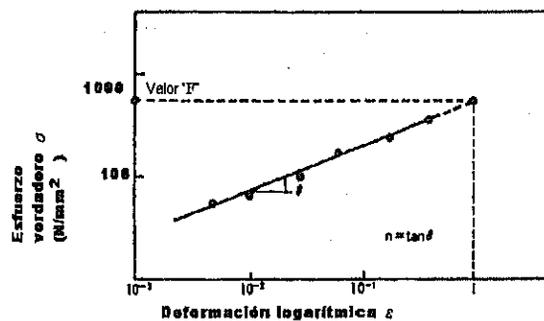
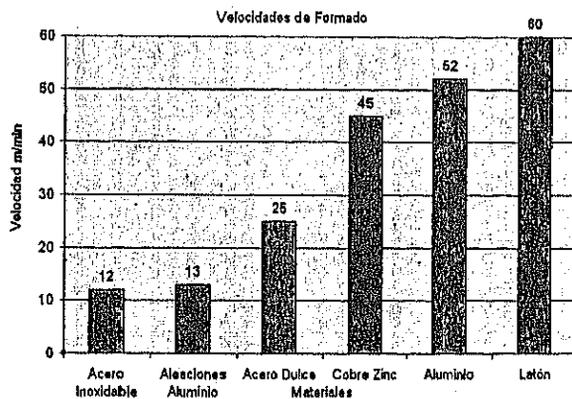


Figura 5.6 Método para obtener el valor "n" en la ecuación  $\sigma = F \cdot \epsilon^n$ .

Velocidad de transformación. Cada material tiene propiedades mecánicas diferentes, incluso dentro de una familia de materiales como el acero existen diferencias sustanciales. Ya sea la dureza, la resistencia a la tensión, la resistencia a la corrosión; de la misma manera cada material tiene una velocidad recomendada de transformación. Esta especificación está dada por el material en sí. La figura 5.7 muestra las velocidades de transformación recomendadas para los materiales más comúnmente utilizados en estampado (en *m/min*).

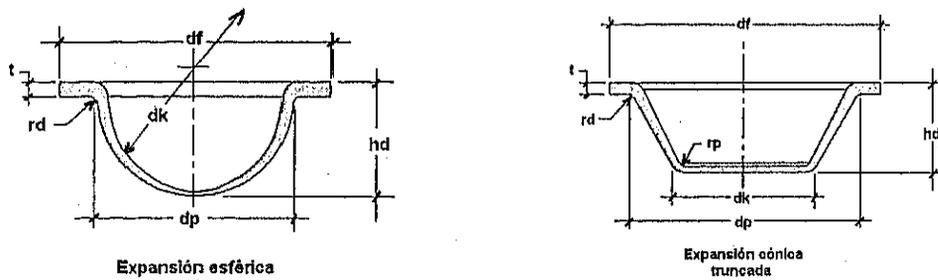


**Figura 5.7 Velocidades de transformación recomendadas.**

**Cálculos de transformación por expansión.**

**Límite de formación de la expansión circular**

En la figura 5.8 se observan las dimensiones de la expansión circular. Expresándose la altura de expansión como "hd" y se obtiene el límite de formación mediante las fórmulas (1.1) y (1.2).



**Figura 5.8 Dimensiones principales del producto por expansión circular.**

**Expansión cónica truncada**

$$hd_{max} = (0.057rd - 0.0035)dp + 0.171dk + 0.58rp + 36.6t - 12.1 \quad (1.1)$$

Expansión esférica

$$hd_{\max} = (0.057rd - 0.0035)dp + 0.15dk + 36.6t - 12.1 \quad (1.2)$$

Donde;  $d_r = (1.3-1.5) d_p$ , en las dos fórmulas.

### Fuerza y energía requerida para la expansión circular

La fuerza de transformación se obtiene con las mismas fórmulas para ambas figuras, la cónica truncada y la esférica.

$$P_{B1} = \pi \cdot dp \cdot t \cdot \sigma_b \cdot K_f \frac{1}{1000} \longrightarrow [tf] \quad (1.3)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P_{BD} = \frac{A \cdot P_b}{1000} \longrightarrow [tf] \\ P_b = \alpha \sigma_b \left\{ \left( \frac{D_B}{dp} - 1 \right)^2 + 0.005 \frac{dp}{t} \right\} \longrightarrow [kg / mm^2] \quad \alpha = 0.0025 \end{array} \right.$$

$$E_{B1} = (P_{B1} + P_{BD}) \cdot hd \cdot C_{d1} \longrightarrow [kgf \cdot m] \quad (1.4)$$

Donde:

$P_{B1}$ : Fuerza para expansión (tf)

$P_{BD}$ : Fuerza de pisado (tf)

A: Área para pisar ( $mm^2$ )

$E_{B1}$ : Energía para expansión (kgf.m)

$\sigma_b$ : Tensión del material a procesar (kgf/mm<sup>2</sup>)

$P_b$ : Fuerza de pisado por área unitaria (kgf/mm<sup>2</sup>)

$D_B$ : Diámetro de la silueta (mm)

$D_f/d_p$	$d_p/D_B$							
	0.40	0.45	0.50	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75
3.00	0.83	0.68	0.56	0.45	0.37	0.30	0.23	0.18
2.80	0.90	0.75	0.62	0.50	0.42	0.34	0.26	0.20
2.50	1.00	0.82	0.70	0.56	0.46	0.37	0.30	0.22
2.00	1.20	0.44	0.85	0.70	0.55	0.42	0.35	0.26
1.80		1.10	0.95	0.80	0.65	0.50	0.41	0.33
1.50			1.10	0.90	0.75	0.62	0.50	0.40
1.30			1.15	1.00	0.85	0.70	0.56	0.45
1.20			1.20	1.10	0.90	0.75	0.60	0.50

Tabla 5.1 Valores de  $K_r$

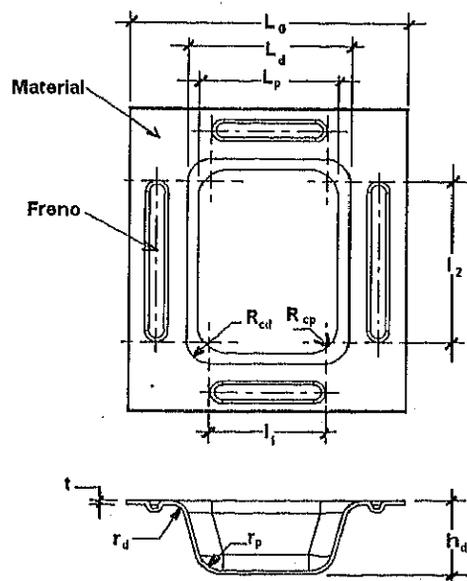
$d_p/D_B$	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
$C_{d1}$	0.80	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64

Tabla 5.2 Valores de  $C_{d1}$

### 3. Expansión rectangular

La expansión rectangular, siendo una transformación diferente que la circular, requiere frenos. Por tanto la función de su transformación es más compleja. Es por eso imposible la simulación completa de su transformación; aquí se señalan los datos obtenidos de los experimentos del modelo a la fecha.

El límite de expansión se calcula empleando la misma fórmula para la cónica truncada que se mencionó anteriormente. Asimismo se despeja el cálculo de la fórmula (2.1) con base en la figura 5.9.



**Figura 5.9 Expansión rectangular pirámide truncada.**



### Límite de formación de la expansión rectangular

$$h_{d\max} = (0.114r_d - 0.007)R_{cd} + 0.342R_{cp} + 0.58r_p + 36.6t - 12.1 \quad (2.1)$$

Donde:

$$L_p \geq 2.5R_{cp}$$

$$L_d \geq 2.5R_{cd}$$

Si "hd" es:

$$h_d \leq \frac{R_{cp} + R_{cd}}{2}$$

Esta condición permite realizar la expansión sin utilizar frenos.

### Fuerza y energía requeridas para la expansión rectangular

$$P_{B2} = t \cdot \sigma_B \{C_1 \cdot \pi(R_{cp} + R_{cd}) + l_B \cdot C_2\} \frac{1}{1000} \longrightarrow [tf] \quad (2.2)$$

$$E_{B2} = (P_{B2} + P_{rB}) \cdot h_d \cdot C_{d2} \longrightarrow [kgf \cdot m] \quad (2.3)$$

Donde;

$P_{B2}$ : Fuerza para la expansión (tf)

$C_1$ : Coeficiente (-) 1.3

$l_B$ : Longitud total de las partes rectas,  $2(l_1 + l_2) \longrightarrow (mm)$

$C_2$ : Coeficiente (-)



Con el uso de frenos, 1.0

Sin el uso de frenos, 0.3

$E_{B2}$ : Energía para la expansión (kgf.m)

$P_{rB}$ : Fuerza de pisado  $\frac{P_{B2}}{3} \rightarrow [tf]$

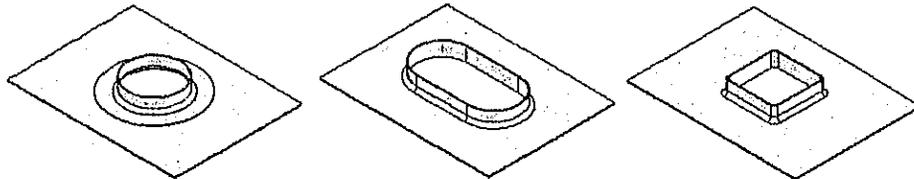
$\frac{0.5(L_p + L_d)}{L_0}$	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
$C_{d2}$	0.80	0.77	0.74	0.70	0.67	0.64

Tabla 5.3 Valores de  $C_{d2}$

#### 4. Burring

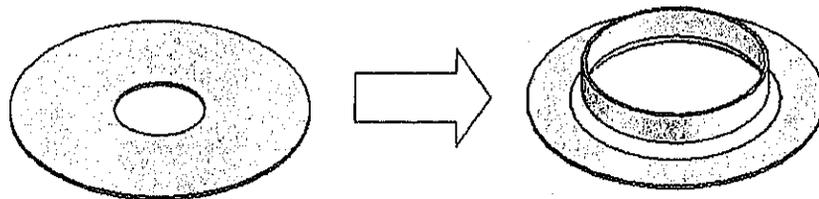
El burring es un tipo de transformación en el cual se levanta el borde del orificio punzonado en la lámina, formando una pestaña como se muestra en la figura 5.10. Existen varios tipos de burring, entre los que se encuentran el de forma redonda, en forma de slot y en forma cuadrada.

El burring redondo, además de ser utilizado para el fortalecimiento del borde del orificio, se usa para la rosca de tornillos o para la localización. El burring con forma no redonda se usa comúnmente para aumentar la resistencia de la superficie.



**Figura 5.10 Tipos de burring.**

Como ya se mencionó el burring se realiza a partir de un orificio punzonado en un proceso anterior sobre la lámina de acero, ésto se ilustra en la figura 5.11.



**Figura 5.11 Proceso de burring redondo.**

El burring es un formado de pestaña por elongación y cuando se realiza un formado forzado, aumenta la deformación por elongación del borde y finalmente se provoca la ruptura.

El límite de la transformación sin ruptura está determinado por las características del material y además recibe una gran influencia por el grado de acabado en el borde de la



matriz, por lo que se debe realizar un buen acabado en esa parte.

De igual manera la ductilidad del material influye significativamente en el límite de transformación sin ruptura, por tanto es ventajoso utilizar el metal más maleable posible para dar una altura elevada de planchado. Por consiguiente no es favorable realizar el burring en lámina endurecida por la transformación y cuya resistencia a la deformación sea grande, se recomienda utilizar un material que se encuentre en estado de recocido. Otro punto importante es el radio de la matriz, ya que influye mucho en la altura del planchado, por lo tanto es recomendable utilizar un radio de matriz lo más grande posible.

### **Cálculos para el burring**

Para realizar la operación del burring, como ya lo mencionamos se deben hacer varias consideraciones, pero además se deben tener en cuenta las siguientes fórmulas que ayudaran calcular los parámetros adecuados y sobre todo a lograr una transformación adecuada.

Las características principales del burring son las siguientes:

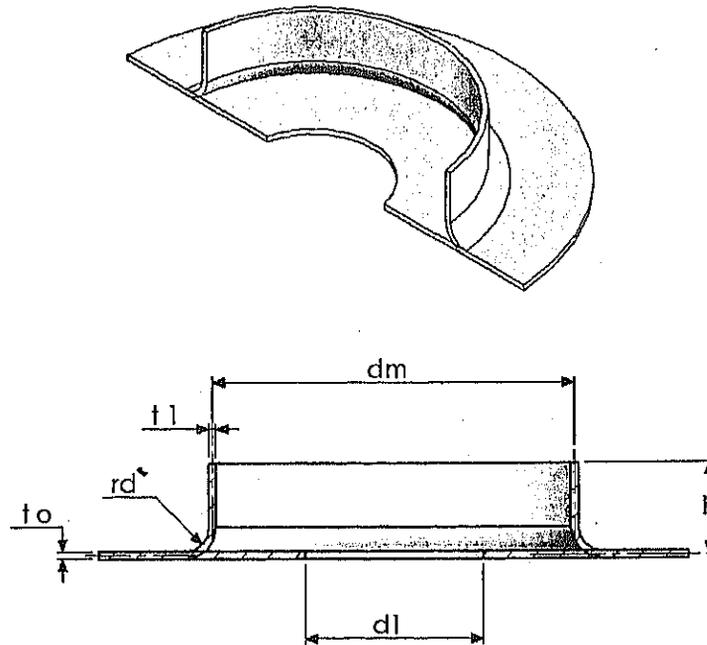


Figura 5.12 Características principales del proceso de burring.

#### Cálculo del diámetro de orificio piloto

El orificio piloto que debe tener el producto antes de aplicar el proceso de burring se calcula con la siguiente fórmula:

Cuando el radio del producto  $r_d$  es menor que el espesor del material utilizamos:

Teniendo  $r_d < t_o$

$$d_1 = \sqrt{d_m^2 - 4 \cdot d_m \cdot h} \quad [mm] \quad (1)$$



Donde:

$d_1$  = Diámetro del orificio piloto [mm]

$d_m$  = Diámetro promedio del burring [mm]

$h$  = Altura del burring [mm]

Cuando el radio del producto  $r_d$  es mayor que el espesor del material utilizamos:

Teniendo  $r_d > t_0$

$$d_1 = d_m - \left\{ \pi \left( r_d + \frac{t_0}{2} \right) + 2(h - r_d) \right\} \quad [mm] \quad (2)$$

Donde:

$d_1$  = Diámetro del orificio piloto [mm]

$d_m$  = Diámetro promedio del burring [mm]

$h$  = Altura del burring [mm]

$r_d$  = Radio del producto [mm]

$t_0$  = Espesor del material [mm]

### Cálculo de la altura de burring

Para calcular la altura que podemos alcanzar en este proceso, utilizamos las siguientes

fórmulas:

Cuando el radio del producto  $r_d$  es menor que el espesor del material utilizamos:

Teniendo  $r_d$  pequeño.

$$h = \frac{1}{2}(k \cdot d_p - d_1) \quad [mm] \quad (3)$$

Donde:

$h$  = Altura del burring [mm]

$d_p$  = Diámetro del punzón [mm]

$k$  = Coeficiente [-]

$d_1$  = Diámetro del orificio piloto [mm]

Para el coeficiente  $k$  se utiliza la tabla 5.4.

$d_p/t_0$	K
Igual o mayor que 60	1.0
40 a 60	1.0 a 1.03
20 a 40	1.03 a 1.08
Menor que 20	1.08 a 1.24

**Tabla 5.4 Valores del coeficiente k.**

Cuando el radio del producto  $r_d$  es mayor que el espesor del material utilizamos:

Teniendo  $r_d$  grande.

$$h = \frac{d_m - d_1}{2} + 0.43r_d - 0.28t_0 \quad [mm] \quad (4)$$



Donde:

$h$  = Altura del burring [mm]

$d_1$  = Diámetro del orificio piloto [mm]

$d_m$  = Diámetro promedio del burring [mm]

$r_d$  = Radio del producto [mm]

$t_o$  = Espesor del material [mm]

#### Disminución del grosor de la pared

Cuando se realiza el burring, se presenta un efecto de disminución o adelgazamiento del espesor del material en la boca del producto, como se ilustra en la figura 5.13.

Para calcular la cantidad de adelgazamiento del espesor del material utilizamos la siguiente fórmula:

$$t_1 = t_o \cdot \sqrt{\frac{d_1}{d_m}} = t_o \cdot \sqrt{K_o} \quad [mm] \quad (5)$$

Donde:

$t_1$  = Espesor de la pared aumentado [mm]

$d_1$  = Diámetro del orificio piloto [mm]

$d_m$  = Diámetro promedio del burring [mm]

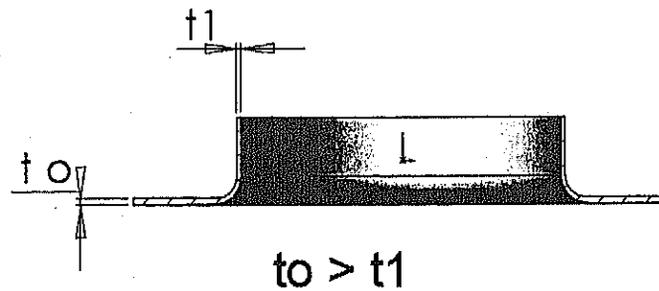
$t_o$  = Espesor del material [mm]

$K_o$  = Coeficiente [-]

Para determinar el valor del coeficiente  $K_o$ , utilizamos la tabla 5.5.

Material	$K_o$
Lámina de acero dulce	0.6 a 0.45
Lámina de latón	0.45
Aleación de aluminio	0.29

**Tabla 5.5 Coeficiente  $K_o$**



**Figura 5.13 El producto sufre un adelgazamiento del material.**

**Cálculo de claro para el burring**

El claro que se debe aplicar entre el punzón y la matriz tiene mucha relación con la calidad



del producto que se esté fabricando, ya que un claro relativamente grande nos arrojará un producto con poca precisión en las paredes del burring, e inclusive podrían aparecer algunas arrugas. De lo contrario si nosotros requerimos fabricar un producto con alta precisión se debe aplicar un claro pequeño, con ésto obtendremos un producto con las paredes del burring planchadas, lo cual le dará buena apariencia, ya que se evita la aparición de arrugas y además se puede controlar mejor la tolerancia de la pieza.

A continuación se presenta la tabla 5.6 con los valores del claro en general para los procesos de burring:

<b>Claro</b>	Sin Planchado	(1.4 ~ 2.0) $t_b$
	Poco planchado, se desvanecen arrugas	(1.1 ~ 1.3) $t_b$
	Planchado	(0.9 ~ 1.0) $t_b$

**Tabla 5.6 Valores de claro para burring.**

### **Límite de formación**

El límite de formación del burring lo determinamos mediante la relación entre el diámetro del punzón y el diámetro del orificio piloto, en la tabla 5.7 se muestran rangos de valores en los que esta relación debe estar dependiendo el material a utilizar para transformación

Material	Límite de $d_p/d_i$	
	Aparecen grietas	Límite de adelgazamiento
Lámina de acero para embutido profundo	Igual o mayor que 4.0	3.9 a 2.6
Lámina de acero	Igual o mayor que 3.8	3.7 a 2.4
Lámina de latón (suave)	Igual o mayor que 4.0	3.9 a 2.4
Aluminio (suave)	Igual o mayor que 6.0	5.9 a 3.5

**Tabla 5.7 Límite de relación diámetro del punzón vs diámetro de piloto.**

#### Cálculo de fuerza de formación

Para determinar la fuerza que se requiere para realizar la transformación, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{RB} = \frac{\pi \cdot d_m \cdot t^2 \cdot \sigma_B}{K_B \cdot 1000} \quad [tf] \quad (6)$$

Donde:

$P_{BR}$  = Fuerza requerida para el burring [tf]

$d_m$  = Diámetro promedio del burring [mm]

$t$  = Espesor del material [mm]

$\sigma_B$  = Resistencia a la tensión del material [kgf/mm<sup>2</sup>]

$K_B$  = Coeficiente [-]

El valor que debe de tomar el coeficiente  $K_B$  de la fórmula anterior es:

$$K_B = 0.5 \sim 0.8$$

### Cálculo de la energía de formación

El cálculo de la energía para este tipo de procesos es muy importante, ya que entre más altura logremos alcanzar la demanda de energía es mayor, para saber cuanta energía se requiere para el proceso utilizamos la siguiente fórmula:

$$E_{BR} = (P_{BR} + P_h) \cdot h_{BR} \cdot C_{BR} \quad [kgf \cdot m] \quad (8)$$

Donde:

$E_{BR}$  = Energía requerida para el Burring [kgf·m]

$P_{BR}$  = Fuerza requerida para el Burring [tf]

$P_h$  = Fuerza del Pisador [tf]

$h_{BR}$  = Carrera de transformación.

$C_{BR}$  = Coeficiente [-]

El valor para el coeficiente se determina de acuerdo al radio  $r_d$  que se tenga en el producto,

considerando que:

$$\begin{array}{ll} C_{BR} = 0.6 & \text{Si } r_d < t_o \\ C_{BR} = 0.8 & \text{Si } r_d > t_o \end{array}$$

### **Cálculo de la fuerza del pisador**

La fuerza que se requiere para el pisador es muy importante, ya que influye en la obtención de un buen producto, para realizar el cálculo utilizamos la siguiente fórmula:

$$P_h = \left( \frac{1}{3} \sim \frac{1}{4} \right) \cdot P_{BR} \quad [tf] \quad (7)$$

Donde:

$P_h$  = Fuerza del Pisador [tf]

$P_{BR}$  = Fuerza requerida para el burring [tf]

### **Variantes de la transformación de burring**

Existen algunas técnicas adicionales que tienen como función principal realizar el proceso de burring; para ello se auxilian en un proceso alterno, como lo puede ser: el punzonado, embutido o la expansión, realizando una combinación de estos procesos se puede obtener un burring con mayor altura que realizándolo en forma normal, estos métodos ofrecen la ventaja de poder realizar el burring en un sólo paso, partiendo de una lámina plana.

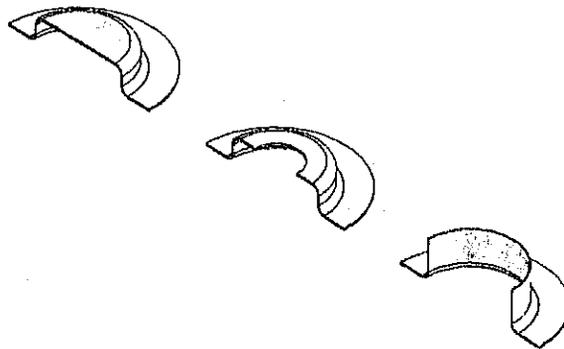
Aunque no hay que olvidar que la regla general para realizar un burring es primero realizar el punzonado y posteriormente hacer el doblado de los bordes.

Los siguientes métodos se suelen utilizar cuando las características del burring no se logran cumplir con el método normal:

### **Embutido – Burring**

Este método se emplea para aumentar la altura del burring, consiste en formar un producto embutido normal en la primera etapa, luego se hace un orificio preliminar en el fondo del producto en la segunda etapa y finalmente se realiza el burring en la tercera etapa.

Se emplea este método en caso de realizar el burring directamente en lámina plana, siendo difícil lograr la altura requerida.

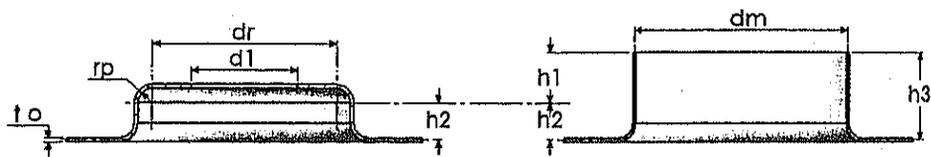


**Figura 5.14 Embutido-burring.**



**Figura 5.15 Pasos del proceso embutido-burring.**

También se emplea este método para los productos que ya están punzonados en el fondo de su zona embutida, con el fin de facilitar la transformación por embutir previamente con una altura menor, considerando la altura que se incrementará por el burring, así como para mejorar la apariencia de la cara de corte.



**Figura 5.16 Características del proceso de embutido-burring.**

A continuación se presentan las fórmulas relacionadas con la altura del embutido, en caso de punzonar y realizar el burring en dicho producto.

La altura del proceso de burring, que sería el 3er paso se determina con la siguiente

fórmula:

$$h_1 = \frac{1}{d_m} \left( \frac{\pi \cdot r_p \cdot d_r}{2} + 2 \cdot r_p^2 + \frac{d_r^2 - d_1^2}{4} \right) \quad [mm] \quad (9)$$



Donde:

$h_1$  = Altura de Burring [kgf·m]

$d_m$  = Diámetro promedio del Burring [mm]

$r_p$  = Radio interno del producto embutido [mm]

$d_r$  = Diámetro de la parte plana del embutido [mm]

$d_i$  = Diámetro del orificio piloto [mm]

La altura total del producto transformado con la operación embutido-burring se calcula con

la siguiente fórmula:

$$h_3 = h_1 + h_2 \quad [mm] \quad (10)$$

Donde:

$h_3$  = Altura total del Burring [mm]

$h_1$  = Altura del Burring [mm]

$h_2$  = Altura plana del embutido [mm]

### Punzonado – Burring

Este método consiste en realizar el punzonado y el Burring durante una sólo carrera, el cual se emplea para la transformación de orificios relativamente pequeños. En este caso el scrap del punzonado cae hacia la parte inferior, aunque en algunas ocasiones se pega en el extremo de la parte con Burring o en el punzón, por lo que se requiere cuidado para utilizar esta técnica y no es adecuada para los herramientas de proceso automático.

Existen diversos tipos de estructura del herramental para el Burring, pero el concepto básico es primeramente sujetar el material y realizar el Burring, debido a que la lámina se deforma si se realiza el Burring sin sujeción y además en el caso de una lámina delgada hay veces que se presentan defectos.

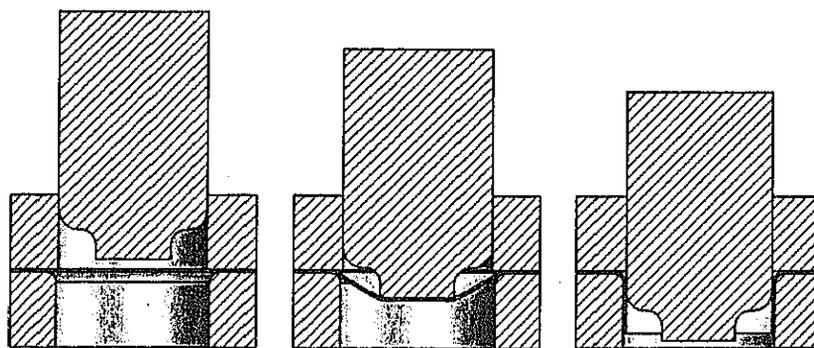


Figura 5.17 Proceso de punzonado-burring.



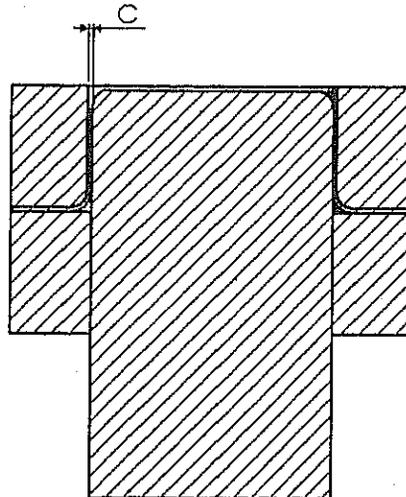
### **Burring - Planchado**

El método de planchado-burring es efectivo para incrementar la altura del burring, tanto para mejorar la precisión de la dimensión del diámetro interior, o para corregir la forma de la pared lateral.

Existe una relación favorable entre la altura del burring y el límite de la expansión del orificio, por tanto el mejoramiento en el límite de la expansión del orificio conduce directamente al mejoramiento del límite del burring.

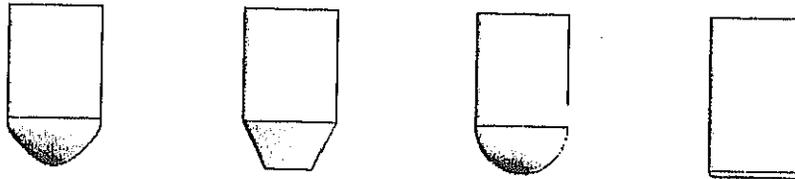
Se reduce aproximadamente un 30% del espesor en el borde de la pestaña levantada por el burring normal. Cuando se establece el claro del burring en un rango de 60 a 70 % del espesor del material, se puede realizar una buena forma del burring tanto en el diámetro interior como en el diámetro exterior.

El claro es pequeño para lograr el planchado



**Figura 5.18 Procesos de de burring-planchado.**

Por medio de planchado se puede obtener una mayor altura de la pestaña que en el burring normal. Varía la altura de la pestaña por cambio de forma del extremo del punzón. La forma del extremo del punzón varía desde la de bala de cañón, hasta la plana. En caso de formar el material con el tipo bala, suele aparecer un anillo agudo en el lado interior a causa de la elongación del material.



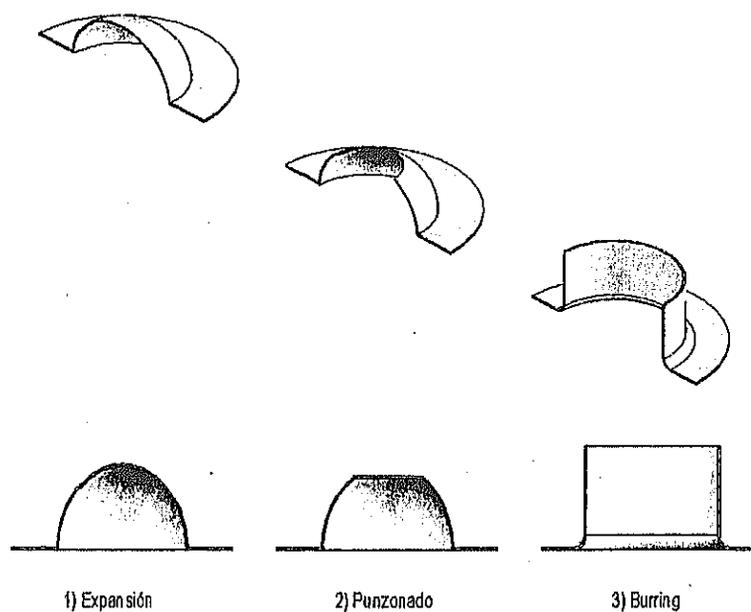
a) Tipo bala de cañon    b) Tipo cono truncado    c) Tipo esferico    d) Tipo plano

**Figura 5.19 Forma del punzón para burring.**

En el planchado-burring el producto se adhiere a la matriz con mayor fuerza, por lo que se deben utilizar resortes con mayor capacidad.

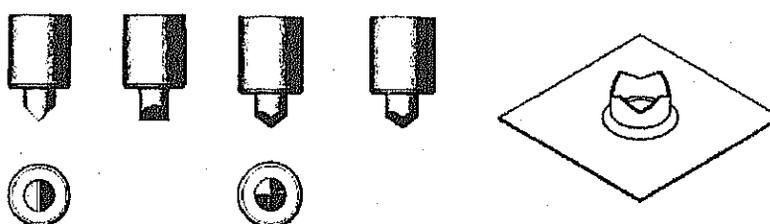
#### **Burring - Expansión**

El método de burring-expansión consiste en realizar el formado de expansión primeramente, en un segundo paso realizar el punzonado y en un tercer paso realizar el burring. Este método tiene la desventaja de disminuir la transformación por elongación en el borde del corte, sin embargo es sumamente efectivo para el material que tiene alta capacidad de expansión.



**Figura 5.20 Proceso de burring-expansión.**

**Burring sin orificio preliminar**



**Figura 5.21 Burring son orificio preliminar**

Es una transformación que se muestra en la figura 5.21. Se usa comúnmente para el orificio de tornillo autorroscante. Se da una forma aguda al extremo del punzón de perforación del burring de monoproceto, para que éste atraviere el material.



Dependiendo de la división que produce el extremo del punzón, varía el número de aristas desde una hasta cuatro, lo cual influye en la forma del borde del orificio atravesado. Aunque se quedan aristas en el borde del burring, no se genera ningún scrap por lo que facilita la transformación.

### **Rosca en burring**

Es muy común que se utilice hoy en día, el proceso consiste en un proceso normal de burring en la pieza y posteriormente se realiza un proceso de roscado en la parte interior del burring, por lo que el diámetro del burring debe ser el adecuado para que se logre formar la rosca de manera adecuada.

El burring para la rosca de tornillos está normalizado, en la tabla 5.8 señala: diámetro del orificio preliminar, diámetro de la matriz y diámetro del punzón de la transformación del burring normal.

Diámetro Nominal del Tornillo	Paso	Espesor t	Punzón d1	Orificio para la matriz D1	Orificio preliminar r d
2.3	0.4	0.8	1.93	2.7	1.3
		1.0		3.0	1.5
		1.2		3.4	1.7
2.6	0.45	0.8	2.19	2.9	1.4
		1.0		3.2	1.6
		1.2		3.5	1.7
3.0	0.6	1.2	2.44	3.4	1.7
		1.4		3.7	1.8
		1.6		4.0	2.0
3.5	0.6	1.2	2.94	4.1	2.0
		1.4		4.4	2.2
		1.6		4.8	2.4
4.0	0.75	1.4	3.33	4.6	2.3
		1.6		4.8	2.4
		2.0		5.5	2.7
4.5	0.75	1.4	3.83	5.2	2.6
		1.6		5.5	2.7
		2.0		6.2	3.1
5.0	0.9	2.0	4.17	6.2	3.1
6.0	1.0	2.0	5.08	7.1	3.5

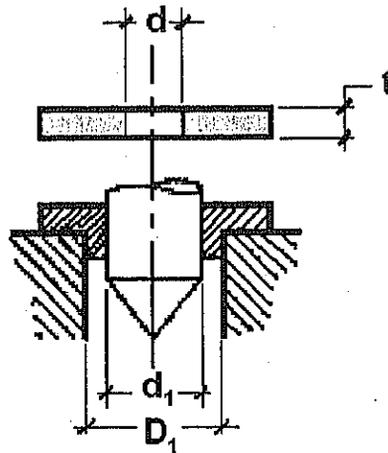


Tabla 5.8 Dimensiones normalizadas para burring.



**Proyecto de Mejoramiento de Tecnología  
de  
Estampado y Troquelado**

**Tema V**

**Uso y ventajas de la prensa de eslabón**

**Ing. Shohachi Kurihara**

**Agencia de Cooperación Internacional de Japón**



## Contenido

1. Introducción	3
2. Mecanismo y características de la prensa de eslabón	4
3. Efecto de la prensa de eslabón en la transformación	11
4. Conclusión	13



## 1. Introducción

La prensa de eslabón fue desarrollada con el objetivo inicial de mejorar la productividad de la transformación por embutido. Durante una carrera de la corredera, su velocidad aumenta cuando no se realiza la transformación (subida y bajada) y disminuye cuando se realiza la transformación, debido al mecanismo de eslabón.

Se ha descubierto que la prensa de eslabón brinda mejores efectos en: 1) transformación de alta precisión, 2) formabilidad, 3) vida útil de los herramientales y 4) medidas contra el ruido, entre otras. Por tanto, se espera mucho de esta prensa porque su potencial permitirá responder a las exigencias de estampado y troquelado de última época que son: minimización del tamaño, mejor precisión en la configuración y alta precisión en las dimensiones.

Actualmente se cuenta con prensas cigüeñal y sin cigüeñal, sin embargo la cantidad de prensas de eslabón en uso está lejos de los dos tipos mencionados anteriormente, aún así se prevé que la prensa de eslabón ocupará el primer lugar entre las prensas mecánicas en el futuro.

## 2. Mecanismo y características de la prensa de eslabón

Se señala el mecanismo de la prensa de eslabón en la Figura 5.1, en donde se observa que el eje cigüeñal es movido y girado por el eslabón.

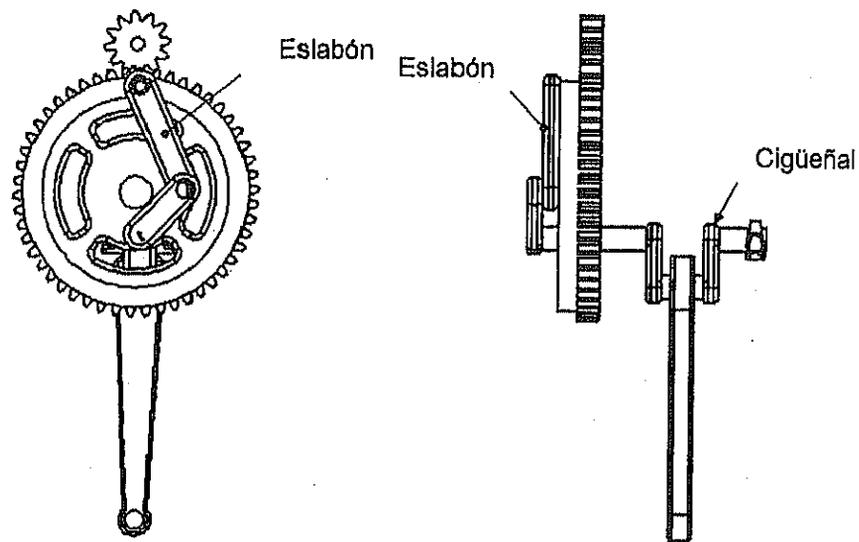
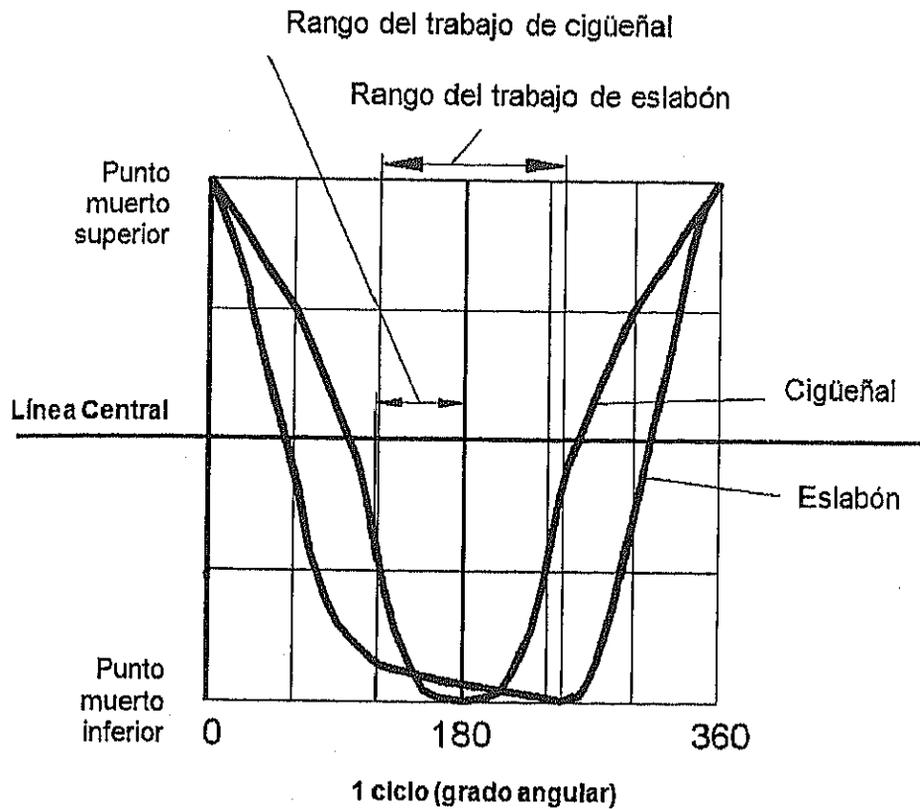


Figura 5.1 Mecanismo motriz del eslabón.

(1) Característica cinemática de la corredera.

La característica cinemática de la corredera es como se muestra en la figura 5.2. En esta figura, dicha característica es comparada con la de la prensa cigüeñal.



**Figura 5.2 Características cinemáticas de la corredera.**

En la figura 5.2 se hace una comparación entre prensa cigüeñal y de eslabón, en función de la característica cinemática de sus correderas. Según dicha gráfica el alcance de la transformación (*working range*) de la prensa de eslabón, es mucho más amplio que el de la prensa cigüeñal.

Al observar detenidamente la característica de velocidad dentro de ese alcance, la prensa cigüeñal genera una velocidad descendente mientras que la prensa de eslabón genera un movimiento cercano al de la velocidad homogénea (uniform motion). A raíz de esto, se puede decir que la prensa cigüeñal es apta para el troquelado en general, sin embargo su característica para la formación es inferior a la de la prensa de eslabón. Cabe mencionar que la prensa de eslabón tiene características que permiten realizar la transformación de alta precisión, tanto para el troquelado como para la formación.

(2) Característica de la fuerza de la prensa y su torque de rotación.

Veamos este tema nuevamente a partir de la comparación con la prensa cigüeñal.

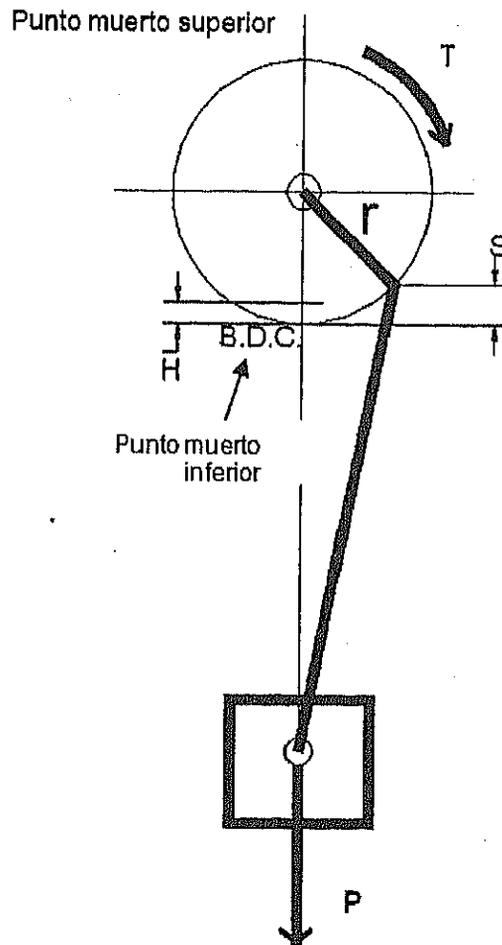
La generación de fuerza de la prensa cigüeñal

Como se señala en la figura 5.3, la fuerza **P<sub>st</sub>** se genera en cada punto de la carrera, bajo el torque de rotación **T** del eje cigüeñal constante.

$$T = P \cdot H \cdot \sqrt{\frac{2r}{H} - 1} \quad \text{-----} \quad (1)$$

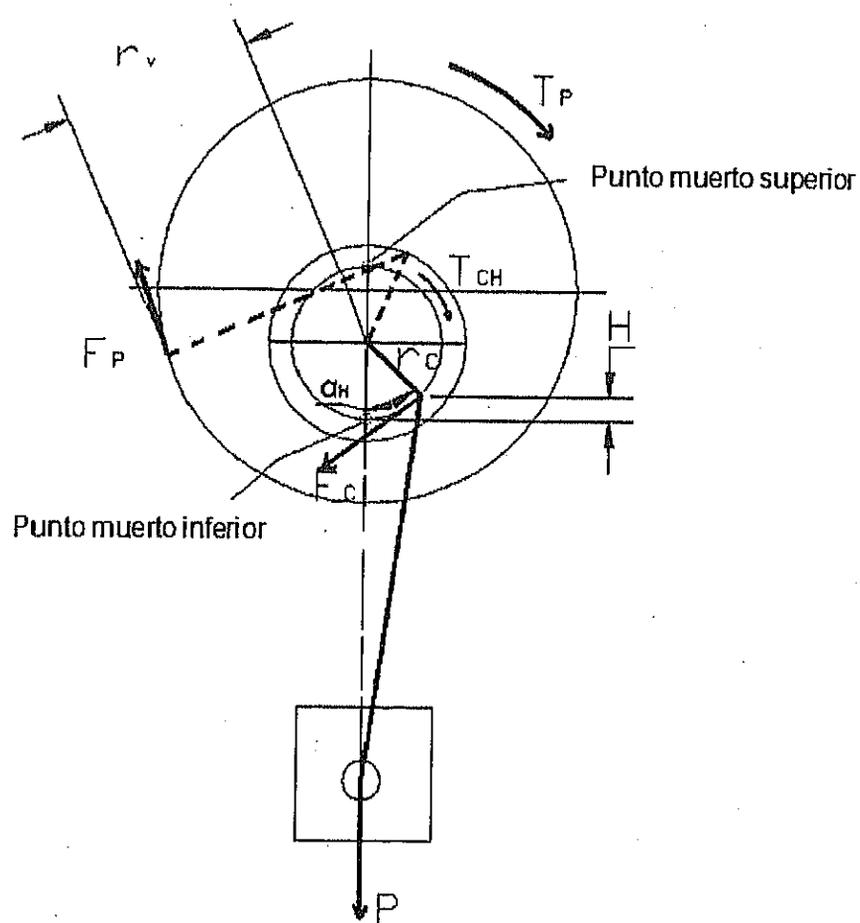
$$P_{st} = \frac{T}{S \cdot \sqrt{\frac{2r}{S} - 1}} \quad \text{-----} \quad (2)$$

Donde:  $r$  es el radio del cigüeñal,  $H$  es la posición de la capacidad máxima y  $S$  es la posición de carrera.



**Figura 5.3 Mecanismo de la prensa cigüeñal.**

Ahora, en el caso de la prensa de eslabón la distancia  $r_v$  entre el eje cigüeñal y el perno rotatorio cambia como se señala en la figura 5.4.



**Figura 5.4 Mecanismo de la prensa de eslabón.**

Por lo anterior el torque de rotación  $T_c$  del eje cigüeñal cambia e incrementa el torque, conforme la corredera se acerca al punto muerto inferior. Esta característica es la más destacada de la generación de fuerza de la prensa de eslabón, lo cual es la causa de la mejor precisión en la formación, así como el mejor resultado de copiado de la configuración



del herramental sobre el material, lo anterior se expresa en las siguientes fórmulas determinando que el torque de rotación es  $T_{CH}$ , la posición de la máxima capacidad es  $H$  y el radio del eje cigüeñal es  $r_c$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} H = r_c (1 - \cos \alpha_H) \text{ ----- (3)} \\ T_{CH} = P \cdot r_c \cdot \sin \alpha_H \text{ ----- (4)} \end{array} \right.$$

Por otro lado el torque de rotación del eje cigüeñal  $T_{cn}$  varía de acuerdo con el cambio de la distancia  $r_v$  por la posición en la rotación del perno rotatorio, como se muestra abajo.

$$T_{cn} = F_p \cdot r_{vn} \text{ ----- (5)}$$

Por lo anterior, la fuerza generada  $P_{ST}$  es;

$$P_{ST} = \frac{T_{cn}}{r_c \cdot \sin \alpha_n} \text{ ----- (6)}$$

Todo lo que se menciona arriba se expresa en la siguiente tabla.

$P_H$	$r_{vn}$	$\alpha_H$	$T_{CH}$	$F_p ; r_c$
$P_1$	$r_{v1}$	$\alpha_1$	$T_{C1}$	Constante
$P_2$	$r_{v2}$	$\alpha_2$	$T_{C2}$	
-	-	-	-	
-	-	-	-	
$P_n$	$r_{vn}$	$\alpha_n$	$T_{Cn}$	
(Pst)				

Con base en lo que se observó arriba, se comparan las curvas de fuerza y carrera de la prensa cigüeñal y la de eslabón respectivamente, tal como se señala en la figura 5. 5.

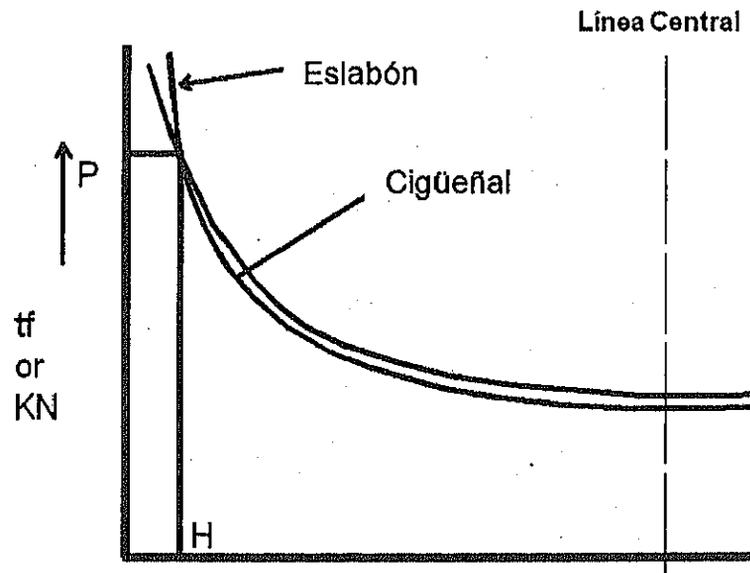


Figura 5.5 Curva de fuerza y carrera.



### 3. Efecto de la prensa de eslabón en la transformación

En el inciso anterior ya se mencionó el efecto benéfico de la prensa de eslabón. No obstante, vale la pena repetir el tema en este inciso a manera de resumen.

El movimiento de la prensa de eslabón consiste en que la bajada y subida en la carrera se efectúan sin carga y son rápidas, además la fuerza se genera lentamente durante la transformación del material, generando un movimiento cercano al de la velocidad homogénea (*uniform motion*). Por tanto, comparada con la tradicional prensa cigüeñal, la prensa de eslabón dota a la transformación de estampado y troquelado con condiciones ventajosas.

Al emplear la prensa de eslabón, se mejora considerablemente la calidad de los productos estampados y troquelados, ya que se logra fabricar productos minimizados y la mayor precisión en la configuración y dimensiones. Actualmente, uno de los requerimientos relacionados con la precisión de la configuración es la planicidad de las piezas estampadas que componen las partes de diversos productos y aparatos. La prensa de eslabón es la que satisface cabalmente dicho requerimiento.



Aunado a esto, tratándose de sus funciones, el impacto que se genera en el momento del contacto del herramental superior con el inferior es menor y propicia una mayor vida útil de herramientas. Esto a la vez, disminuye considerablemente la frecuencia del mantenimiento y reparaciones para los herramientas, lo cual contribuye en gran medida al mejoramiento de la productividad. Gracias a esta característica se reduce en gran medida la generación de ruido y vibración durante la operación de la prensa.

Esto frena los daños a la salud de la gente, empezando con los operadores de la prensa, otros empleados así como personas que viven alrededor. Es decir, la prensa de eslabón cumple con condiciones importantes para observar las medidas contra la contaminación ambiental.



## Conclusión

Se han mencionado las características y efectos favorables que tiene la prensa de eslabón sobre la transformación. En este momento, en CIDESI estamos desarrollando una prensa de eslabón, relativamente económica y fácil de adquirir para las empresas en general. A continuación se muestran unas figuras que ilustran la apariencia, mecanismo y característica cinemática de la corredera de la prensa de eslabón. Una vez que finalice este desarrollo iniciaremos las actividades para difundir dicha prensa. Se espera que esta prensa y su difusión lleguen a ser una ayuda para que las empresas mejoren el nivel de su tecnología.

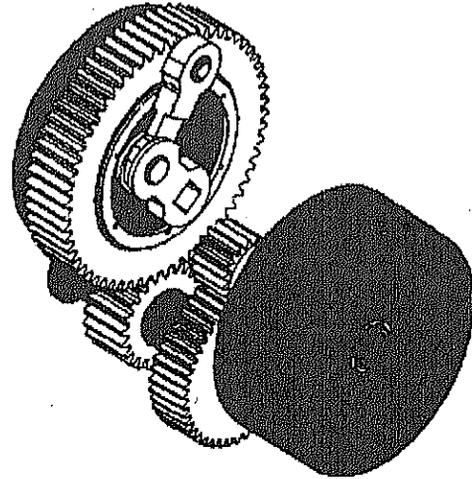
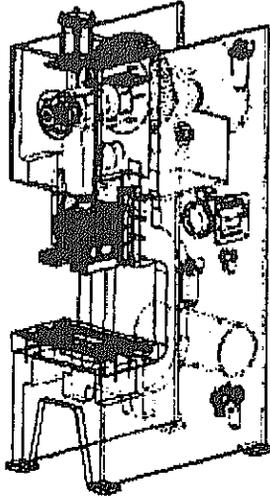


Figura 5.6 Apariencia de la prensa de eslabón.

Figura 5.7 Mecanismo de la prensa de eslabón.

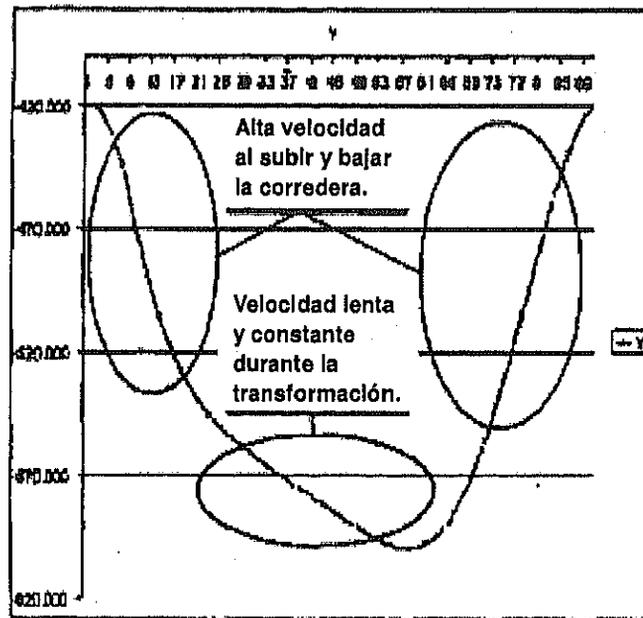


Figura 5.8 Característica cinemática de la corredera.