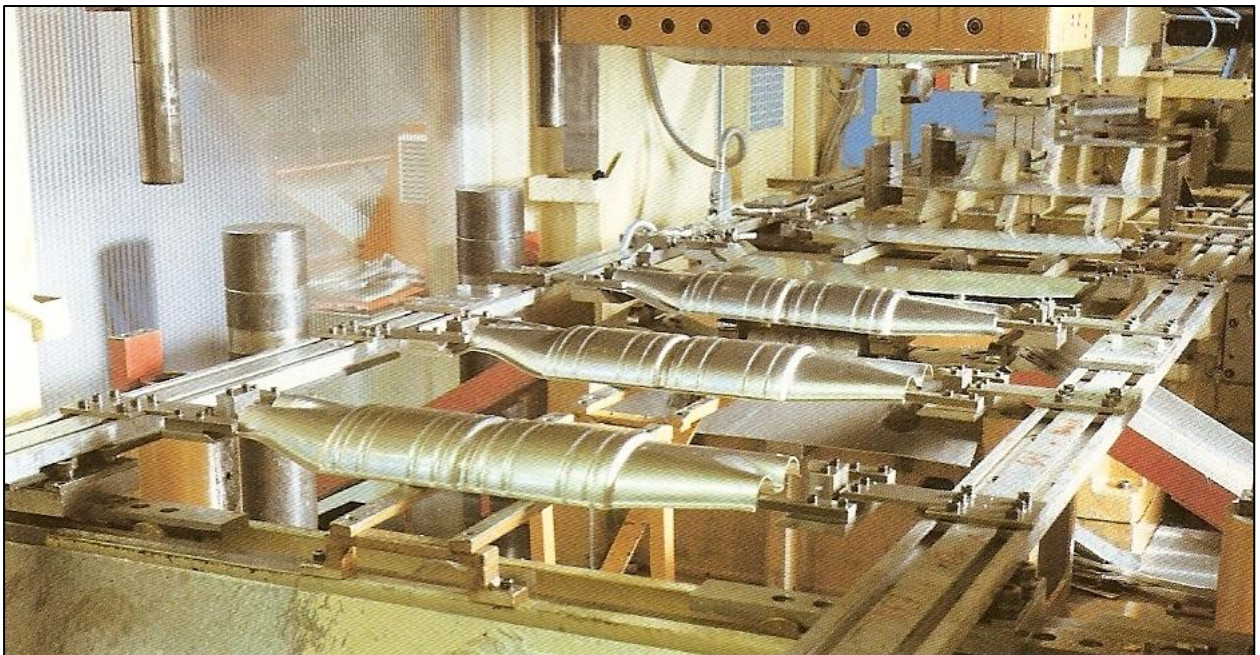


# Corte, Doblado y Embutido de chapas



## ESTAMPADO DE CHAPA

### FABRICACIÓN DE PIEZAS DE CHAPA - INTRODUCCIÓN

*Estampado* es el conjunto de operaciones con las que se puede darle a un trozo de chapa una forma geométrica definida y sin producir arranque de viruta; es decir, si tomamos un trozo de plancha metálica, la colocamos sobre un molde hueco y mediante una presión ejercida por un punzón se la obliga a entrar en ese molde, se dice que la misma ha sido embutida.

Como se habrá observado, hemos utilizado dos términos diferentes para un mismo proceso (estampado y, embutizado o matizado); en realidad no hay una distinción exacta entre ellos más que la profundidad del elemento fabricado. El termino matizado es utilizado cuando el embutido logrado es profundo y el límite aproximado entre los dos procedimientos es la relación entre la profundidad del embutizado y el diámetro de la pieza embutida. Para el embutido profundo esta relación es mayor que 1.

Teniendo en cuenta el carácter cualitativo de la deformación desde ahora en adelante llamaremos sin distinción, simplemente como proceso de embutido o embutizado.

La forma geométrica obtenida por embutido es debido a la deformación permanente que sufre la chapa en el proceso de deformación.

La práctica de estos procesos se lleva a cabo con herramientas llamadas matrices o estampas y generalmente se realizan a temperatura ambiente es decir, en frío, aunque en determinadas ocasiones deba utilizarse elevada temperatura, tal es el caso de aleaciones de zinc y magnesio, pero siempre menor a la de recristalización de la chapa.

La variedad de los productos embutidos es grande y van desde vainas de munición, piezas de ornamentación, cuerpos grandes de chapa para automóviles, aviones (carrocerías),

Las operaciones de estampado de chapa generalmente se subdividen en:

- Cortado
- Doblado o curvado
- Embutido

El corte y el doblado se llevan a cabo en frío, mientras que el embutido de la chapa puede realizarse tanto en frío como en caliente.

Generalmente suelen solicitarse en el trabajo una conjunción de los tres métodos antes mencionados, es decir cortar y doblar o cortar y embutir.

El ciclo de estampado a elegir depende de los siguientes factores:

- De la forma de la pieza a obtener.
- De sus dimensiones.
- De la calidad de la chapa a embutir.

*La forma de la pieza* impone un número de operaciones necesarias para llevar a cabo el trabajo. Es decir, cuanto más simple es una pieza hueca, menor será el número de operaciones necesarias para obtenerla.

*Las dimensiones de la pieza* a obtener son mandatorias también de la cantidad de operaciones ya que, por ejemplo, cuando se trata de una cazoleta profunda en relación a su diámetro necesitará una operación de corte del disco de chapa, pero más de una de embutizado.

*La calidad del material* también influirá en el número de operaciones a realizar. Entonces mientras que un disco de chapa muy dúctil y fina puede ser embutido de manera profunda, uno del mismo espesor pero de chapa menos dúctil no será embutizado con igual facilidad o admitirá un embutido menos profundo.

Si observamos la figura siguiente, en las etapas parciales del embutido, notaremos que:

- a- Que los movimientos del metal siguen el camino de resistencia mínima.
- b- La pieza adquiere su forma siguiendo el contorno del punzón.
- c- En distintas partes de la pieza que se conforma aparecen tracción biaxial en su parte lateral, flexión del material en el borde de boca de la matriz y tracción en la parte anular o periférica a cuya tensión se le agrega la compresión al cerrarse el punzón con la matriz.

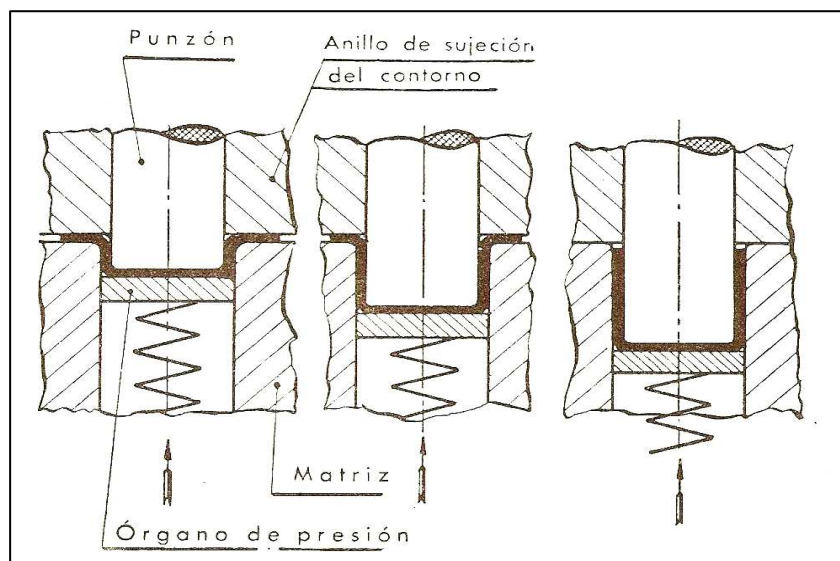


Figura 1: Etapas en el embutizado de chapa

Es complejo seguir el flujo plástico del material mientras se desarrolla el proceso y es por tal razón que en la práctica las condiciones de deformación plástica del metal se determinan principalmente en base de conocimientos empíricos.

En la figura siguiente consideraremos un disco plano de chapa; Partiendo del disco plano **A**, de diámetro **D**, podemos formar un casco o cilindro **B** de diámetro **d** y altura **h** admitiendo que la deformación ha sido a espesor constante.



El disco del fondo del cilindro no ha sufrido ninguna deformación; la pared cilíndrica, por el contrario, ha sido deformada porque inicialmente componía la corona circular de ancho  $h_0$ , o sea, delimitada por los diámetros  $d$  del disco y  $D$  de la chapa.

Observamos que  $S_0$  experimenta una variación durante el embutido, cambiando de forma trapezoidal  $S_0$  a la rectangular  $s$ . Al mismo tiempo  $S_0$  se dobla  $90^\circ$ . Para este cambio de forma se verifica que la altura  $h$  del cilindro es mayor que la altura  $h_0$  del elemento trapezoidal plano.

Por consiguiente, cada elemento durante el embutido, estará solicitado por fuerzas radiales de tracción y por fuerzas tangenciales de compresión.

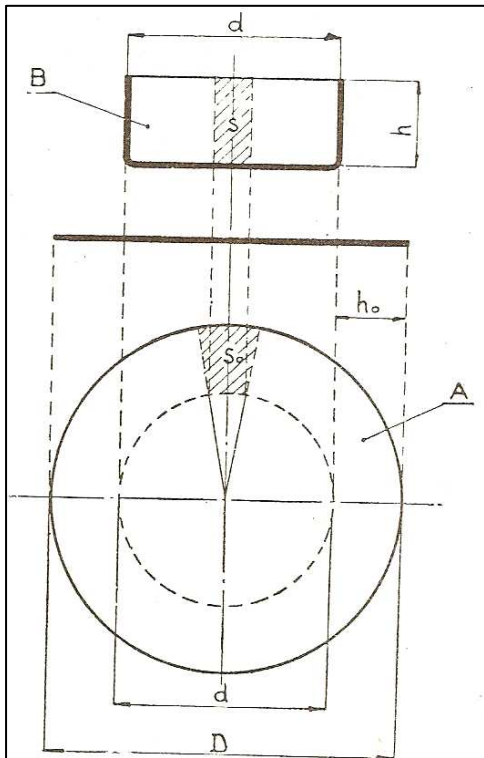
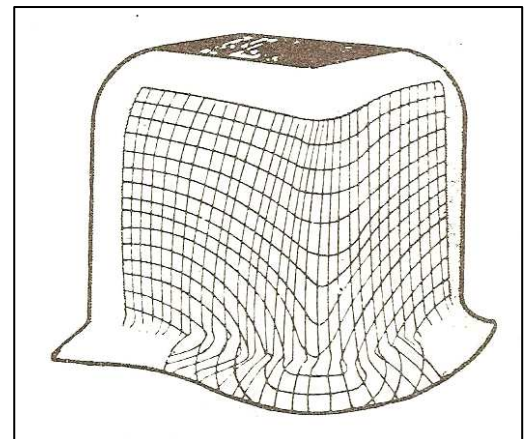


Figura 2: Demostración práctica de la deformación experimentada por el material en proceso de embutido.

Una forma de poder observar como se deforman las chapas en el proceso de embutizado es marcarlas en forma de retículo de líneas cruzadas y observar, después de la deformación, las variaciones que el material ha experimentado y calcular, con bastante aproximación, el alargamiento sufrido en las diferentes partes.

Figura 3: Demostración gráfica del alargamiento de las fibras en las paredes de un recipiente embutido.



A medida que el punzón realiza el recorrido para deformar la chapa, ésta, deformándose libremente, sale de la periferia y tiende a acumularse en el sentido hacia la boca de la matriz. A esta acción del material se le opone la resistencia propia del mismo; si la resistencia no es suficiente (por ejemplo chapa delgada que es poco rígida), el material sobrante va formando *arrugas o pliegues* en la superficie anular del disco.

La experiencia indica que las chapas de espesor igual o mayor a 3 milímetros ( $e \geq 3$ ) son lo bastante rígidas como para ser embutidas sin que se formen arrugas.

La tendencia a formar arrugas en chapas de espesor inferior a 3 milímetros ( $e \leq 3$ ), puede ser impedida por un dispositivo adicional denominado sujetador, que ejerce cierta presión sobre la superficie

anular del disco. Asimismo pueden formarse pliegues o arrugas en la chapa, pero ya en la parte embutida en la matriz; el único modo de evitar la formación de pliegues es hacer cumplir los siguientes factores de proceso.

A - Una relación estrecha entre el diámetro “d” del punzón y el espesor de la chapa.

B - De igual manera la relación entre el diámetro “D” de disco y “d” del punzón.

C - La profundidad del embutido, que se determina por el grado de deformación plástica, deberá estar dentro de los límites admisibles.

## DESARROLLO DE LA CHAPA

Uno de los problemas más importantes que se presentan en el embutido es el relacionado con la determinación de las dimensiones de la chapa de la que ha de salir el objeto deseado con la menor cantidad de material posible.

Se han hallado ciertos métodos que han conducido a una determinación basada sobre el cálculo que veremos a continuación.

Estos cálculos o expresiones son aplicables a cuerpos que poseen forma geométrica regular de líneas rectas o de sección circular; en cambio para cuerpos irregulares o de diferentes formas, no siempre son útiles estas expresiones para realizar el embutido; entonces para cuerpos irregulares debemos valernos de pruebas de embutido.

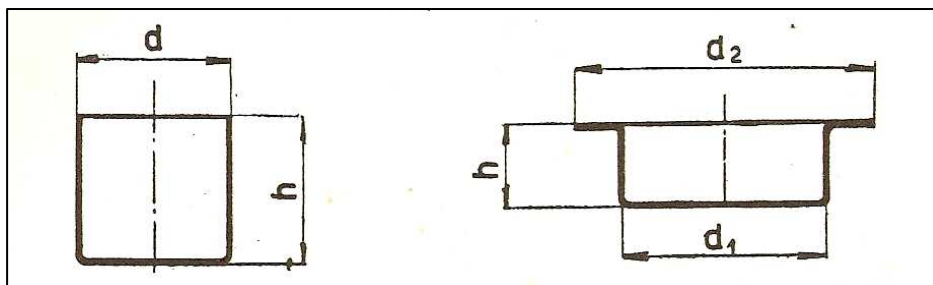


Figura 4: Recipiente cilíndrico (izquierda) y recipiente cilíndrico con borde (derecha)

Si necesitamos desarrollar el objeto de la figura anterior tendremos:

Siendo D es el diámetro del disco desarrollado.

La superficie del *disco* desarrollado estará dada por la expresión:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

La superficie exterior del *cilindro* es:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} + \pi \cdot d \cdot h$$

Si igualamos las expresiones de superficies.

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} + \pi \cdot d \cdot h = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Simplificando

$$\pi \cdot D^2 = \pi \cdot d^2 + 4 \pi \cdot d \cdot h$$

De donde

$$D^2 = d^2 + 4 \cdot d \cdot h$$

Ó

$$D = (d^2 + 4 \cdot d \cdot h)^{1/2} \quad (1)$$

Si consideramos que  $h = 2d$

$$D = d + h = 3d$$

Y en efecto si consideramos la formula (1) y en ella reemplazamos el valor de  $h$  por el valor  $2d$ , tendremos:

$$D = (d^2 + 4 \cdot d \cdot 2 \cdot d)^{1/2} = (d^2 + 8d^2)^{1/2} = (9d^2)^{1/2} = 3d$$
$$D = d + 2d = d + h$$

La ecuación (1) nos permite calcular el diámetro del disco de partida para poder embutir un casco requerido.

Con la condición de igualdad de los espesores del disco y la pared del casco formado, se determina el grado de *deformación plástica* mediante las relaciones siguientes:

$$\frac{D - d}{D} \cdot 100 = \text{en \%} \quad (2)$$

Siendo cada termino:

D: Diámetro del disco de chapa.

d: Diámetro del casco en su valor promedio o sea: diámetro exterior menos el espesor de la pared lateral.

d/D: es la relación de embutido.

La aptitud del material a embutir, suele ser determinada en la práctica con aparatos como Olsen o Ericksen, que pueden reconstruir condiciones del proceso de embutizado.

En síntesis, el aparato consiste en una matriz en la que un punzón con punta semiesférica produce un embutido de una chapa de espesor mayor o igual a 2 milímetros. La presión utilizada no debe ser excesiva ni tampoco dejar que se formen pliegues en la chapa. El punzón con punta semiesférica de 20 milímetros de diámetro produce, en la zona central del disco, una presión gradual hasta romper la chapa. Se toma el valor de presión y la profundidad del casquete formado.

Así, en el instante en que se produce la rotura, la presión cesa, puesto que el material fluye plásticamente.

Los ensayos de Olsen o Ericksen no proveen valores absolutos, pero sirven para formarse una idea sobre la clase y características de material.

En la práctica cuando se fabrican piezas embutidas es regla general que la profundidad de embutido en una sola operación, nunca debe ser mayor que el diámetro del casco (o dimensión correspondiente en otras formas geométricas) o sea:

$$h \leq d \quad \text{en la primera operación} \quad (3)$$

Esta condición, a su vez, determina el grado de reducción porcentual:

$$\frac{D - d}{D} \cdot 100 \leq 50 \% \quad (4)$$

Para poder seguir deformando la chapa, es decir, conseguir mayor profundidad, se repite la operación, pero disminuyendo el grado de reducción admisible en cada operación consecutiva.

*Por ejemplo, con el diagrama de la figura siguiente puede determinarse los diámetros que deberá alcanzar un recipiente, en los sucesivos embutidos, hasta conseguir las dimensiones deseadas. Para determinar los diámetros que deberá asumir un recipiente sacado de un disco de chapa de acero dulce, con el objeto de reducirlo gradualmente al diámetro medio de 38 milímetros y para una profundidad de 76 milímetros, se opera del siguiente modo: Calculamos primeramente el diámetro del disco desarrollado mediante la expresión (1)*

$$D = (d^2 + 4 \cdot d \cdot h)^{1/2} \quad (1)$$

$$D = (38^2 + 4 \cdot 38 \cdot 76)^{1/2} = (1444 + 11552)^{1/2} = (12996)^{1/2} = 114 \text{ mm.}$$

Luego, en la división correspondiente a 114, de la ordenada Y seguimos la línea oblicua hasta encontrar la línea b (chapa de acero dulce); En la escala del margen puede leerse 65 aproximadamente; que indica que en un primer embutido el disco de 114 mm puede reducirse a un disco de diámetro 65 mm.

Sobre este punto hallado, se sigue, con una línea paralela al eje X, hasta encontrar la ordenada Y'; siguiendo la línea oblicua hasta el punto de encuentro con la línea b y trazando otra paralela al eje X hasta la escala del margen podremos leer el número 49; éste significa que, en el segundo embutido para reducir el recipiente, podremos llegar hasta 49 mm.

Trasladando este número sobre la ordenada Y' y procediendo de similar manera que anteriormente desde ahí siguiendo una línea oblicua nuevamente hasta la línea b, y trazando una nueva paralela al eje X podremos leer el número 37, aproximadamente, que significará, en este caso, que en el tercer embutido el recipiente puede reducirse hasta un diámetro de 37 mm (para nuestro caso debemos reducir hasta el diámetro 38 mm)

En definitiva se tuvo lo siguiente:

Disco desarrollado ..... 114 mm

Recipiente del primer embutido ..... 65 mm

Recipiente del segundo embutido ..... 49 mm

Recipiente del tercer embutido ..... 38 mm

Si en cambio el recipiente a embutir hubiese tenido las mismas dimensiones pero de chapa de acero semi-duro o muy dulce, es evidente que la paralela al eje X hubiera tenido que llevarse desde los puntos de encuentro hasta las líneas a y c respectivamente, obteniéndose un número de pasadas superior o inferior según se tratara de uno u otro material.



## FACTORES QUE INFLUENCIAN LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN EL EMBUTIDO

En la mayoría de los casos el buen resultado del proceso de embutizado depende de la calidad del material con el que se trabaja. La chapa de cualquier metal, para responder a características de embutido debe ser *dulce y recocida*.

Estos son los factores que tienen influencia en el proceso:

- 1° Aptitud del material a embutir
- 2° Velocidad de la deformación plástica durante el proceso.
- 3° Lubricación utilizada.
- 4° Forma geométrica de la matriz y el punzón.

### 1° Aptitud del material a embutir

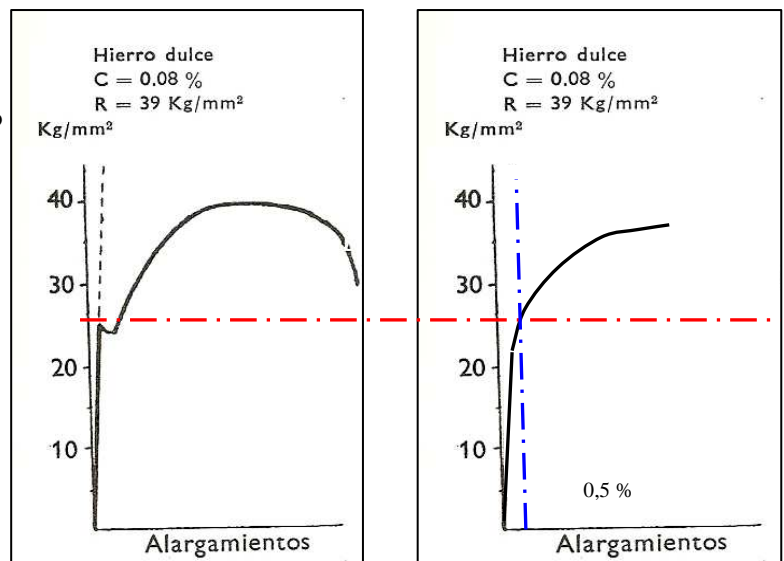
En la mayoría de los casos el buen resultado del proceso de embutizado depende de la calidad del material con el que se trabaja. La chapa de cualquier metal, para responder a características de embutido debe ser *dulce y recocida*.

Para indicar la aptitud del material para ser embutido se lo relaciona con los valores que arroja el ensayo de tracción del material que se desea procesar.

Para que los valores de este ensayo sean reproducibles, se fija una velocidad de tracción casi constante, limitándola entre 12 a 25 milímetros/minuto. Además se toma el diagrama de ensayo con una ampliación 10:1 de extensiones de la probeta ensayada y con eje vertical de cargas, mínimo de 200 milímetros. De este modo se hace posible conseguir, en el diagrama, los puntos característicos del ensayo que tienen importancia en cuanto a su vinculación con la aptitud del material en el embutizado.

La figura siguiente muestra un diagrama típico del ensayo de tracción de un acero dulce;

Figura 5: Ensayo de tracción de un acero dulce.  
Obsérvese el límite de elasticidad. (Derecha): el mismo material luego de una leve deformación; Obsérvese como ha desaparecido el límite de fluencia.



Para materiales que a tracción no demuestran con claridad el límite de fluencia, se acostumbra a tomar como valor equivalente, la carga que corresponde a 0,5% de la extensión total de la probeta; Esto también se puede observar en la figura anterior.

La vinculación que existe entre el ensayo de tracción y el proceso de embutizado es la siguiente:

*1º Resistencia máxima a la tracción R:* Este valor es de suma importancia en el proceso de embutizado.

La rotura de piezas en formación ocurren, por lo general, sobre el perfil del punzón, donde el material transmite fuerzas de deformación sufriendo tensiones de tracción, por lo tanto, la resistencia alta a la tracción del material, admite su deformación más profunda, siempre y cuando el mismo tenga la ductilidad necesaria. Un acero con demasiada resistencia no puede ser embutizado.

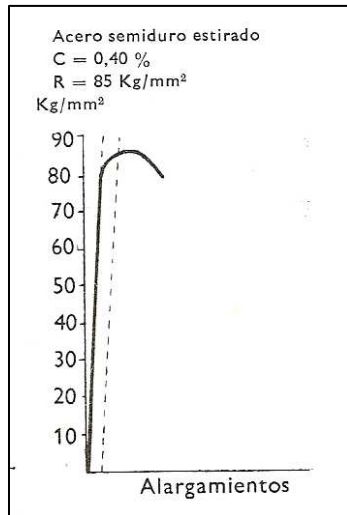


Figura 6: Diagrama de esfuerzo – deformación de un acero de 0,4 % de Carbono.

*2º Límite de fluencia:* Cuanto más bajo su valor en relación a la carga de rotura, tanto mejor se deforma el material.

*3º Alargamiento:* Esta propiedad representa una medida directa de la ductilidad en tracción; por ello siendo otras propiedades favorables, un alargamiento alto admite máximas profundidades de embutizado.

Para el mismo material, el alargamiento porcentual crece a medida que aumenta el espesor de la chapa; esto explica el porque las chapas más gruesas tienen mayor aptitud para embutirse. Sin embargo, no conviene abusar de esta ventaja en la fabricación por razones económicas.

*4º Alargamiento de fluencia:* Es el porcentaje de la extensión total correspondiente al flujo plástico o a la carga del límite de fluencia. Esta propiedad es vinculada con la formación de líneas de Lüders; Si el material las demuestra, entonces, sobre la superficie de la pieza aparecerán defectos bajo la forma de asperezas.

Por este motivo los materiales que demuestran este comportamiento, antes de ser embutidos, deberán sufrir una ligera deformación en frío, lo que se realiza con un laminado con flexión, con reducción del espesor del orden de 1 al 3%. El material así tratado, en un consiguiente ensayo a tracción, demostrará el diagrama de la figura 5 (derecha) y no el de la figura 5 (izquierda). El pequeño endurecimiento inducido por el laminado, no influye sobre la aptitud del material para embutirse; (ver B.B. Hundy: Revista Journal Iron and Steel Inst. London, 1954 Oct y 1955 Sep)

#### Anisotropía de las propiedades mecánicas

En las chapas y cintas metálicas algunas veces encontramos el fenómeno de que las propiedades mecánicas como la resistencia R y el alargamiento A% son distintas cuando son comparadas en sentido del laminado y en sentido transversal.

Es comprensible, pues, de que tal material sometido a embutizado, soporte el esfuerzo como si fuera compuesto por dos metales diferentes. En consecuencia de ello, hay que ajustar el grado de reducción a las propiedades direccionales más pobres con obvia desventaja para la producción.

La anisotropía en cuestión produce también otro fenómeno en piezas embutidas; debido a la diferente ductilidad, el flujo plástico, bajo la misma presión ejercida, también resulta ser diferente en distintas porciones de la pieza, en cuya consecuencia la misma demuestra *orejas*.

### Estructura cristalina

El material metálico de grano grueso, aunque demuestra una alta ductilidad cuando es sometido a un proceso de embutizado, además, produce sobre la superficie de las piezas asperezas que pueden llegar hasta descalificar el producto embutizado.

En cambio, un material de grano demasiado fino confiere a éste menos ductilidad. En la práctica se tiende a utilizar tamaños de granos que sean uniformes y no excesivamente finos ni gruesos.

### 2° Velocidad de la deformación plástica durante el proceso.

En la formación de piezas de poca profundidad (por ejemplo formación de pestañas o anillos de reborde), prevalecen las tensiones de flexión. En este caso, la velocidad de operación tiene poca influencia sobre la pieza y puede ser elevada, llegando, para chapa de acero dulce, hasta unos 60 metros/minuto.

En el embutido de piezas cuya profundidad es superior al diámetro de las mismas, la velocidad de deformación constituye un factor importante en el proceso.

En este caso, se originan grandes fuerzas de rozamiento entre el sujetador y la cabeza del punzón de un lado, y de otro, el material que fluye plásticamente. A medida que crece la velocidad del flujo, estas fuerzas crecen progresivamente y si la resistencia propia del material no es superior a la resistencia ofrecida por el rozamiento, el metal se fractura.

El material necesita tiempo para poder moverse, por ello, debe ser muy reducida la velocidad inicial del punzón, pudiendo ésta crecer a medida que se desarrolla el flujo. Este detalle es importante en las prensas utilizadas para este proceso. Además, la velocidad excesiva del punzón aumenta la tendencia del material a arrugarse también dentro de la matriz.

La influencia nociva de la velocidad de deformación puede ser suavizada mediante el estado liso de la chapa trabajada y también por lubricación, factores que disminuyen el rozamiento.

### 3° Lubricación

Por lo general, en todas las operaciones de embutido se aplica lubricación. El motivo principal consiste en que las partículas del material en flujo tienden a penetrar en la masa de herramienta de forma desgastándolas rápidamente.

Un lubricante adecuado deberá formar una película bastante fuerte como para resistir fuerzas de rozamiento, además, como el rozamiento y la deformación plástica del material generan calor, dicha película debe crecer a medida que crecen

A – La velocidad de operación

B – El espesor de la chapa trabajada, pues crece entonces el grado de deformación.

En uso hay lubricantes muy diversos. Algunos de ellos son mencionados en la siguiente tabla.

<b>Lubricantes utilizados en el proceso de embutizado de chapa</b>	
<i>Material a embutir</i>	<i>Lubricante utilizado</i>
Chapa de acero	Aceite de rape (pez) con jabón y talco, Jabón líquido disuelto en agua, Aceite de ricino, grasa mezclada con cera virgen; Sebo, para corte y embutido
Aluminio y sus aleaciones	Petróleo, trementina, aceite de coco, aceite de vaselina, sebo, aceite de colza,
Zinc y sus aleaciones, plomo y estaño	Sebo (para embutido), aceite mineral denso (para corte)
Cobre, latón y bronce	Emulsión de aceite, sebo, aceite mineral denso, jabón líquido disuelto en agua.

Como complemento de pruebas prácticas de embutido, puede escogerse el lubricante más adecuado, experimentando los diferentes tipos en las mismas estampas y con la misma chapa. El lubricante que produzca el mínimo aumento de superficie, o sea el mínimo estiramiento, es el que mejor responderá a las exigencias del trabajo.

Para el buen funcionamiento de las estampas es ley, y por cuantas veces sea necesario, eliminar las incrustaciones producidas por las partículas de metal incorporadas con el lubricante.

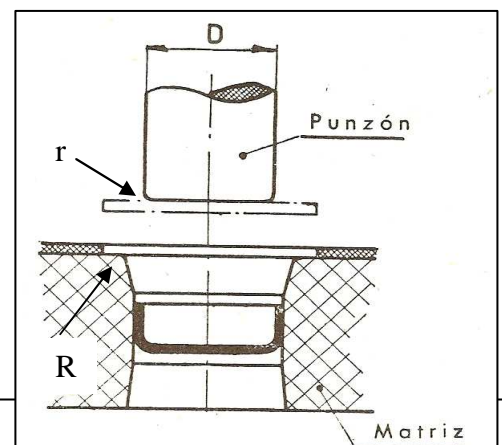
#### 4° Formas geométricas de la matriz y del punzón

En cuanto a la fractura de piezas en el embutido, el material sufre un momento crítico cuando pasa sobre el arco de boca de la matriz. Las fuerzas de rozamiento que aquí actúan con la máxima intensidad, dependen, en sumo grado, de la curvatura tanto de la matriz como del punzón. Estas curvaturas son determinadas por el radio " $R$ " del arco de la matriz y el radio " $r$ " de la cabeza del punzón.

Figura 7: Radio  $R$  de matriz y  $r$  de cabeza de punzón en un dispositivo.

Al respecto, en la práctica suele utilizarse lo siguiente:

A – La matriz: Para chapas de acero dulce de espesor máximo 1,5 milímetros, la matriz utilizada en la primera operación debe tener el radio  $R = 4$  hasta  $8e$ , siendo



“e” el espesor de la chapa.

Cuando se trabaja con chapas de espesor inferiores a 3 milímetros los radios que se adoptan suelen ir desde 4 hasta 15e.

Los valores de los radios entre 4 y 15, se adoptan más grandes según:

1° Crece el espesor de la chapa

2° Crece la profundidad del embutido

3° Decrece la ductilidad del material.

La matriz puede producir roturas en las piezas debido a su radio R inadecuado; También la prolijidad del arco tiene influencia, especialmente cuando el material trabajado es de poca resistencia a la tracción.

B – El punzón: Un perfil anguloso en su cabeza produce flexión severa en la chapa, conduciéndola a fractura; en cambio una curvatura demasiado pronunciada (semiesférica) adelgaza la pared de las piezas dentro de la matriz, conduciendo esto a fracturas en el fondo del casco.

Los valores que se utilizan para los punzones son:

a - con  $h > d \rightarrow r = 6 \text{ a } 12e$

b - con  $h < d \rightarrow r = 4 \text{ a } 8e$

Para el caso del aluminio  $r = 4e$ , siendo “e”, como antes, el espesor de la chapa a embutir.

Para embutir metales que poseen, a pesar de su ductilidad, una alta resistencia a la tracción (ejemplo Cu, Latón, cintas de aluminio endurecidas previamente), pueden utilizarse punzones con radios menores de los indicados anteriormente.

Para cuando el producto a fabricar debe tener ángulos vivos en su fondo, estos deben ser formados en una operación separada (final) mediante un punzón con el radio apropiado; en esta operación la pieza no ha de sufrir otras deformaciones.

## MATERIALES UTILIZADOS EN EL EMBUTIZADO

Son aptos para el proceso de embutizado tanto materiales ferrosos como no ferrosos y las aleaciones que poseen la característica de ser dúctiles; También se embutizan materiales no metálicos como fibra, baquelita etc.

Con respecto a materiales metálicos, éstos se emplean bajo la forma de cintas (flejes), chapas de espesores variados y en donde el espesor viene dado en pulgadas.

Los materiales metálicos más importantes que son utilizados en el proceso de embutizado son los siguientes:

**Aceros:** Las chapas y/o flejes utilizados provienen del laminado en frío o en caliente obteniéndose espesores, en cada uno de ellos, de 3 milímetros y 1 milímetro respectivamente.



*Aceros al carbono:* Son utilizados con porcentajes de Carbono variados que van desde 0,08% a 0,35% de Carbono pero cuando se trata de embutizado profundo siempre se utilizan aceros con porcentajes de Carbono no superior a 0,15%. Las chapas que se utilizan pueden ser recocidas o endurecidas en frío.

*Aceros inoxidables:* Estos aceros tienen numerosas aplicaciones en piezas embutidas para la industria química o de la alimentación. Los más utilizados son aquellos que poseen  $\text{Cr} \geq 11\%$  o  $\text{Cr} - \text{Ni}$ .

*Cobre:* Si es necesario embutir de manera profunda, el metal deberá poseer grano inicial fino. Además deberá ser previamente endurecido ya que el cobre recocido no posee una buena resistencia a la tracción.

*Latón:* Es el de uso más frecuente de todos los metales no férreos. Son utilizados dos clases de latones; con estructura  $\alpha$  y  $\alpha + \beta$ .

El latón con estructura  $\alpha$  (70% de Cu) es el que posee mejores características para el embutizado de piezas, es también llamado latón vaina por tal característica.

Una de las desventajas de este tipo de material es que posee la tendencia a agrietarse longitudinalmente. Un recocido sub-crítico suele ser necesario para eliminar tensiones y solucionar dicho inconveniente.

*Niquel:* En el embutido se comporta como el acero dulce.

*Metal Monel:* Esta aleación de Ni 70% - Cu 27% - Fe 3% es más dura que el Niquel y requiere de recocidos intermedios para poder continuar deformando el material ( $T^\circ = 500^\circ\text{C}$ )

*Zinc:* Solo acepta el embutido a temperatura entre  $40^\circ\text{C}$  y  $90^\circ\text{C}$ , fuera de ese rango decae bastante su ductilidad y tenacidad. Suele emplearse como lubricante en ese proceso la vaselina.

*Aluminio:* Este metal es muy utilizado para procesos de embutido profundo como también de poca profundidad. Para el caso del embutido profundo se lo utiliza con un cierto grado de reducción que le mejora la resistencia a la tracción sin disminuir la ductilidad.

Este metal tiene la tendencia a engrosar su grano en recocidos intermedios; es por tal motivo que en este proceso suele lograrse formas finales de las piezas sin los mencionados tratamientos térmicos.

*Aleaciones de aluminio:* Entre ellas el duraluminio y otras son utilizadas para embutir pequeñas y grandes piezas. En todas estas aleaciones, el embutido debe realizarse dentro de la hora siguiente del temple ya que en ellas se produce un envejecimiento natural.

También es utilizada la aleación *Aluminio - Magnesio* que no es sometida a temple y envejecimiento, pero que posee una alta tendencia a formar bandas de Lüders en las superficies de las piezas embutidas.

La aleación de hasta 4% de Mg posee una solución sólida  $\alpha$ .

Estas aleaciones poseen baja ductilidad en frío, pero en caliente ( $T^\circ > 225^\circ\text{C}$ ) posee una ductilidad muy buena y por tal motivo puede embutirse como el aluminio puro.

A temperaturas normales, el Magnesio es apto para ser embutizado solamente por flexión.

En la siguiente figura se podrá observar las diferencias que existen entre probetas de latón y de chapa de acero dulce sometidas a un ensayo de aplastamiento. Recordemos que la chapa de acero debe tener una composición química media de:

%C: 0,10    %Si: 0,18    %Mn: 0,48    %P: 0,018    %S: 0,016

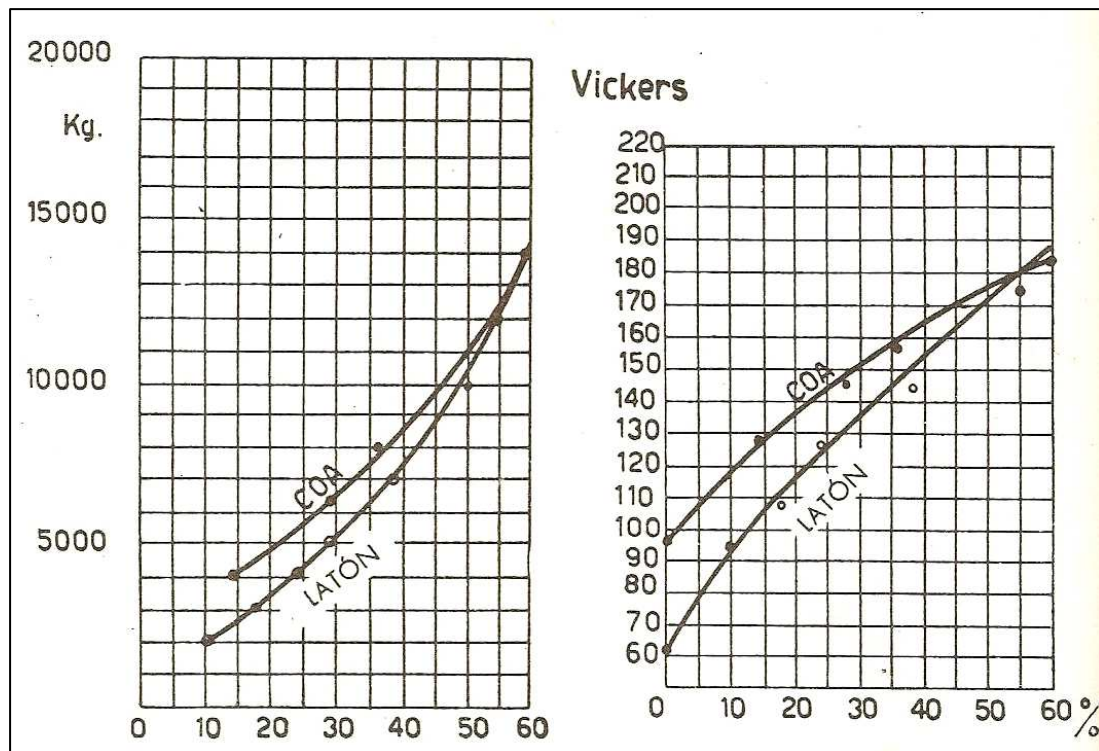


Figura 8: Diagramas de esfuerzo - deformación y deformación - dureza de aleaciones como el acero dulce y el latón. En el diagrama de la izquierda se encuentran, en las ordenadas, los valores de carga necesarios para reducir la altura de una probeta cilíndrica de 10 x 10 para las deformaciones indicadas en las abscisas. En la derecha, se encuentran los valores de dureza de una probeta cilíndrica después de diversos ensayos de rotura indicados en abscisas.

El acero COA, mencionado en los diagramas, es uno de los aceros de mejor calidad para trabajos de embutición. Este acero se ha empleado especialmente en la fabricación de tubos hervidores de muy alta calidad, piezas para esmaltar, electrodos de soldar y por cuestiones económicas su uso se ha extendido para reemplazar otras aleaciones más caras, especialmente vainas de latón para la industria balística.

## MAQUINAS, OPERACIONES Y PROCESOS DE EMBUTIZADO

Las máquinas utilizadas para llevar a cabo el embutido son prensas cuyo plato móvil recibe el movimiento alternado de tres formas diferentes:

1° por transmisión mecánica: Mediante un juego cremallera – piñón; Son de poca capacidad y se las emplea para embutido profundo de piezas pequeñas (ejemplo de éstas piezas son vainas de munición portátil)

2° Por transmisión mecánica mediante un juego de manivela – biela; estas máquinas son las de mayor uso por ser simples, durables y baratas. Su capacidad varía desde 150 hasta 3000 tn.

En estas prensas el grado de reducción debe ser relativamente pequeño debido a que con demasiada velocidad (valor máximo de potencia a mitad de carrera, con su velocidad máxima) las piezas se fracturan. Es por ello que en estas prensas crece el número operaciones para embutir a una profundidad requerida.

3° Por transmisión hidráulica: En estas prensas, las condiciones de la deformación plástica (velocidad constante o variable según necesite, dentro de una carrera) permiten efectuar el embutido a toda profundidad que sea admitida por las propiedades del material.

## PROCESO MARFORM

Los métodos de embutizado clásicos emplean, en la mayoría de los casos, matrices metálicas cuya preparación lleva tiempo y cuyo rendimiento económico depende del número de piezas que ésta pueda producir.

Con el objeto de reducir el costo y el tiempo de fabricación de estampas se han ideado métodos de embutizado que no necesitan matrices metálicas; A continuación se da una breve reseña de los mismos.

### Proceso Marform

Básicamente el conjunto está formado, en este caso, por un bloque de goma que hace las veces de matriz universal (dado que el mismo adoptará la forma que le imponga el punzón) un sujetador y un punzón.

Dada esta característica con este proceso puede fabricarse todo tipo de piezas de idénticas dimensiones internas con solo un punzón aunque partiendo de chapas de espesores diferentes.

En la industria aeronáutica este proceso es muy utilizado ya que para un avión en particular la cantidad de piezas que deben fabricarse es limitada y eso lleva a un costo elevadísimo de herramental.

Con este proceso puede embutizarse piezas de aleación de Magnesio en caliente (300 °C) con excelente profundidad de embutido.

De idéntica manera ocurre con la fabricación de piezas de aleaciones de Titanio, proceso que puede realizarse en frío o también en caliente a 300 °C (éste es un metal de retículo hexagonal)

En la siguiente figura se esquematiza el proceso de Marform.

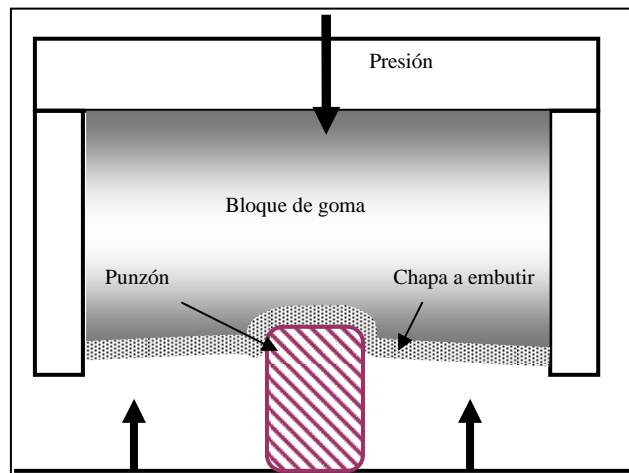


Figura 9: esquematización del proceso Marform.

### Proceso Hydroform

Este es otro método de elaboración de piezas embutidas y básicamente consiste en el mismo principio del método anterior con la diferencia de que el punzón de goma es reemplazado por un diafragma de goma relativamente fina, pero respaldada por una potente presión hidráulica.

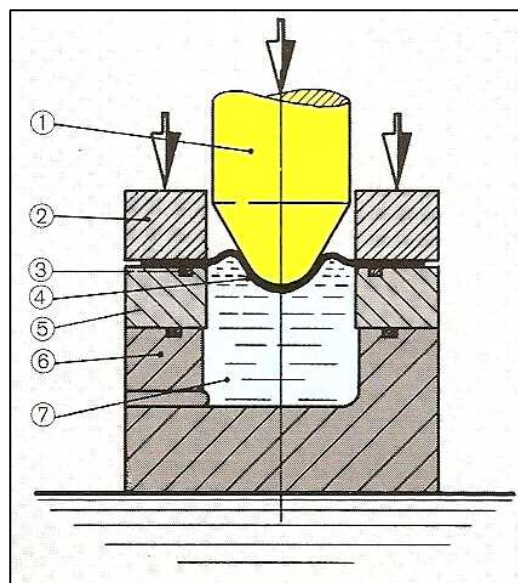


Figura 10: Esquematización del proceso de Hydroform. 1- Punzón 2- Anillo sujetador 3- Arandela de junta 4- Diafragma de goma 5- Anillo de matriz inferior 6- Matriz inferior 7- Liquido

## OPERACIÓN DE CORTE Y PUNZONADO DE CHAPA

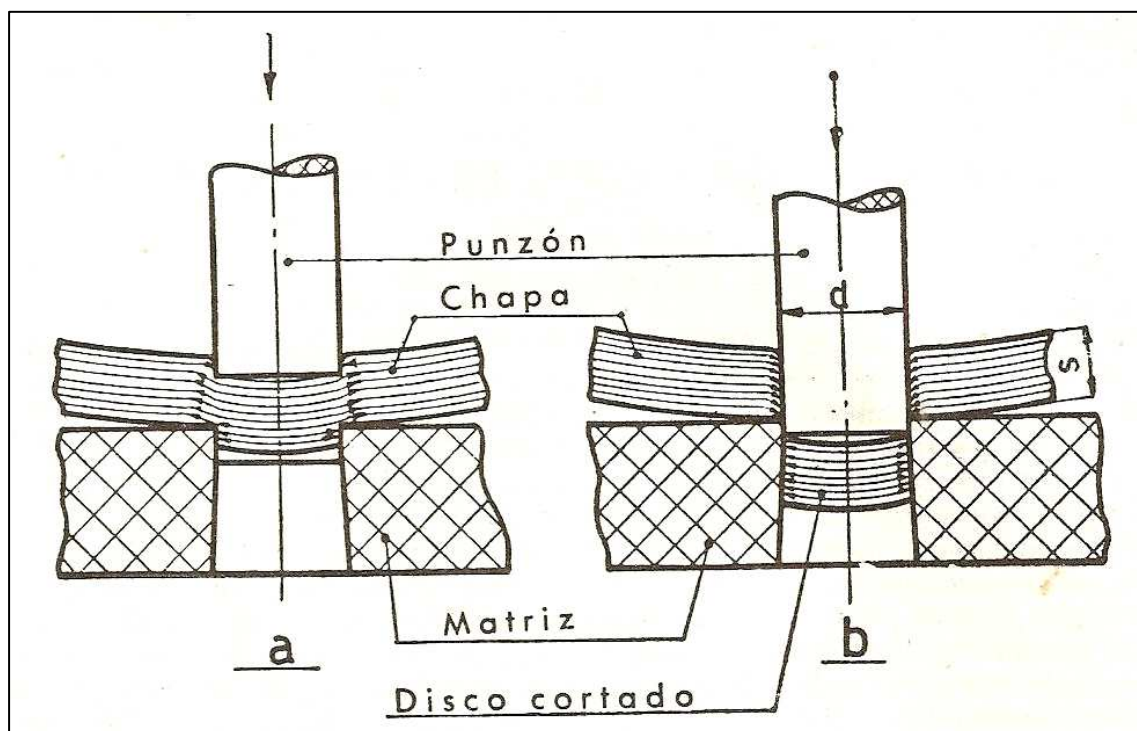
### DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

El punzonado es una operación mecánica con la cual, mediante herramientas especiales aptas para el corte, se consigue separar una parte metálica de otra obteniéndose así una figura determinada.

Es una operación que va unida a los fenómenos de transformación plástica y que, por otra parte, en la práctica, resulta siempre ligada al proceso de embutizado.

En los primeros momentos al estar el punzón en contacto con la chapa a cortar, ejerce una presión que hace que el material tienda a doblarse (como escapando a la acción del corte) pero, encontrando libre el camino, promueve la acción de corte.

Durante el punzonado se ha comprobado que, en la proximidad de los filos cortantes de las herramientas, las fibras de la chapa se doblan hacia abajo siguiendo, por breves instantes, el movimiento del punzón y luego reaccionan oponiéndose a la acción de corte; Pero siendo la acción de corte superior a la reacción de la chapa, se produce el cizallado.



Esto puede observarse en la siguiente figura.



Figura 11: Chapa sometida a operación de corte. (En las zonas solicitadas se originan interiormente fuerzas radiales que actúan según las flechas.)

Un ejemplo de operación de corte es la fabricación de arandelas y tuercas, tal como podrá observarse en la siguiente figura; En ella se ha esquematizado el punzonado o corte de una chapa para la fabricación de una arandela.

Una arandela por corte, debido a las deformaciones explicadas, según el dibujo de la figura siguiente, y aún admitiendo que a martillo puede efectuarse el aplanado de la arandela, seguirán persistiendo rebabas en el borde de la pieza.

Considerando la relación que existe entre el espesor “e” de la chapa de hierro y el diámetro “d” del punzón de acero templado, se ha hallado teórica y prácticamente que “ $e/d = 1,2$ ” entre otros términos.

Es decir:

$$e_{\max} \leq 1,2 d$$

**Conclusión:** Para que la chapa de hierro dulce pueda ser punzonada con un punzón de acero templado, el espesor “e” de la misma deberá ser menor o igual al diámetro “d” del punzón. (Este valor varía según la ductilidad de la chapa a cortar)

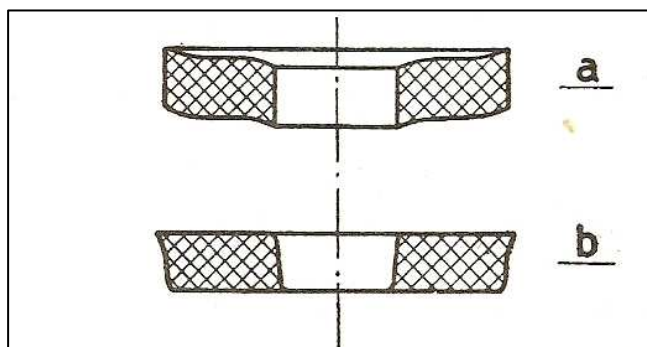


Figura 12: Presentación de arandela cortada. a) Antes del aplanado. b) Después del aplanado

## DESCRIPCIÓN DE UNA ESTAMPA O MATRIZ DE CORTE

El corte de la chapa se realiza en un dispositivo denominado matriz de corte. En la figura siguiente se muestra una esquematización de un dispositivo de esta naturaleza.

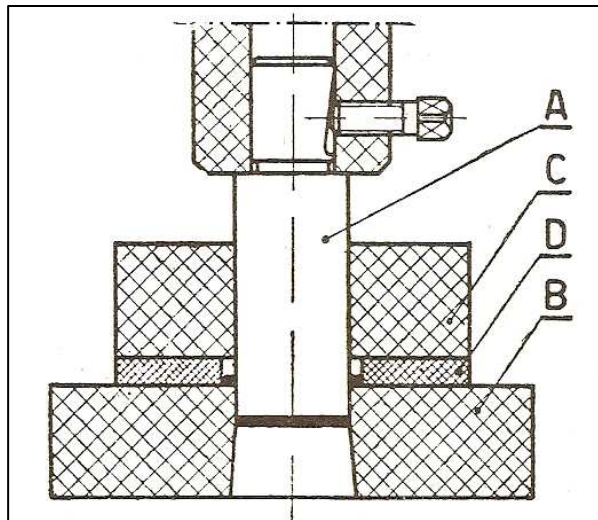


Figura 13: Esquema de un dispositivo de punzonado de chapa. A: punzón; B: matriz; C: Mazo o guía de punzón; D: Guía para el paso de la cinta a cortar.

### PRESIÓN O ESFUERZO NECESARIO PARA EL CORTE Y PERFORADO

Sin tener en cuenta los rozamientos que se dan en estas operaciones, la presión que se ejerce está dada por la expresión:

$$P = p \cdot e \cdot \lambda_c \cdot 1,5 = \text{Kgs}$$

Siendo cada uno de estos términos:

p) perímetro del perfil de chapa a cortar (en mm)

e) Espesor de la chapa (en mm)

$\lambda_c$ ) Resistencia al corte, en  $\text{Kg/mm}^2$ .

1,5) Coeficiente de endurecimiento máximo de la chapa durante el corte.

$\lambda_c$ ) puede reemplazarse por la resistencia a la tracción mediante la siguiente expresión.

$$\lambda_c = 4/5 \lambda_r = \text{Kg/mm}^2$$

### JUEGO ENTRE MATRIZ Y PUNZÓN

La precisión de las piezas obtenidas por corte depende de la exactitud de las herramientas. El juego entre estas últimas depende del grosor de la chapa y de la ductilidad del material o de su naturaleza. En la siguiente figura se muestra un gráfico que es utilizado para dar el juego necesario entre matriz y punzón.

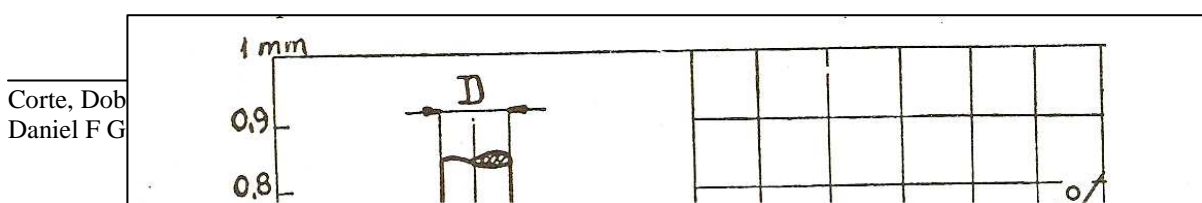


Figura 14: Gráfico para determinar el juego entre el punzón y la matriz, en función de la calidad del material y del espesor de la chapa

El juego entre el punzón y la matriz depende del grosor de la chapa y de la calidad de la misma que puede ser dura, blanda o dulce. Para punzones pequeños, agujereando chapas de espesor limitado, el juego no debe existir prácticamente. Pero para agujerear chapas de espesores mayores, el juego debe ser apreciable.

Se deberá tener en cuenta que después de la operación de punzonado, la chapa, alrededor del agujero, se contrae ligeramente al ser liberada del herramental y es por tal motivo que deberá tenerse en cuenta esta contracción en la fabricación del punzón y la matriz. En trabajos de precisión, deberá aumentarse las dimensiones de la matriz y del punzón.

El valor del juego entre el punzón y la matriz puede variar, según los casos, del 5% al 13% del espesor de la chapa.

Al definir los diámetros del punzón y la matriz, es necesario tener en cuenta que el diámetro de la matriz determina las dimensiones de la pieza y por lo tanto es vital precisar tales dimensiones; El juego deberá obtenerse reduciendo el diámetro del punzón. El diámetro del punzón, por el contrario, determina las dimensiones del agujero y, por ello, se requiere igual exactitud; el juego deberá obtenerse aumentando el diámetro de la matriz. Esta regla es aplicable a todos los perfiles. Entonces visto lo que se pide, agujero a realizar o diámetro de pieza es que se dan las tolerancias respectivas.

Ejemplos:

Ejemplo 1

Se necesitan *cortar discos* de chapa de acero duro, de diámetro 50 mm y de grosor 2,5 mm. ¿Que dimensiones habrán de tener el punzón y la matriz?

Solución:

Tomando como punto de partida el espesor de la chapa de 2,5 mm, para el material en cuestión, el juego es de 0,2 mm. Entonces el punzón tendrá:  $50 - 0,2 = 49,8$  mm, mientras que la matriz 50 mm de diámetro.

Ejemplo 2

Se necesitan *hacer agujeros* de 30 mm de diámetro en una chapa de hierro de 2 mm de espesor. ¿Cuales serán las dimensiones del punzón y la matriz?

Solución:

Si el material es chapa de hierro y el espesor dado es de 2 mm el juego correspondiente es de 0,12 mm. De esta manera el punzón tendrá 30 mm de diámetro y la matriz tendrá  $30 \text{ mm} + 0,12 \text{ mm} = 30,12$  mm.

## CORTE CON PUNZONES DE GOMA

Utilizándose el método de corte con punzón y matriz en innumerables casos en la industria, es sabido que la economía en los procesos es de vital importancia. El material para fabricación de matrices y punzones de acero templado es de un elevado costo y es por este motivo que se ha buscado un material para sustituir al acero en la fabricación de herramental.

Cuando se trata de cortar chapa de aleaciones ligeras, por ejemplo el aluminio, utilizar punzones contruidos de goma dura ha dado excelentes resultados.

Con el empleo de una chapa de acero y una almohadilla de goma, se pueden cortar y agujerear en una sola operación como lo muestra la figura.

La almohadilla hace las veces de punzón y está constituida por varias capas de goma de composición especial.

El dispositivo mostrado en la figura indica que la almohadilla de goma unida al porta-punzón es empujada y se deforma al prensar la chapa contra la matriz que, con sus filos cortantes, corta el material.

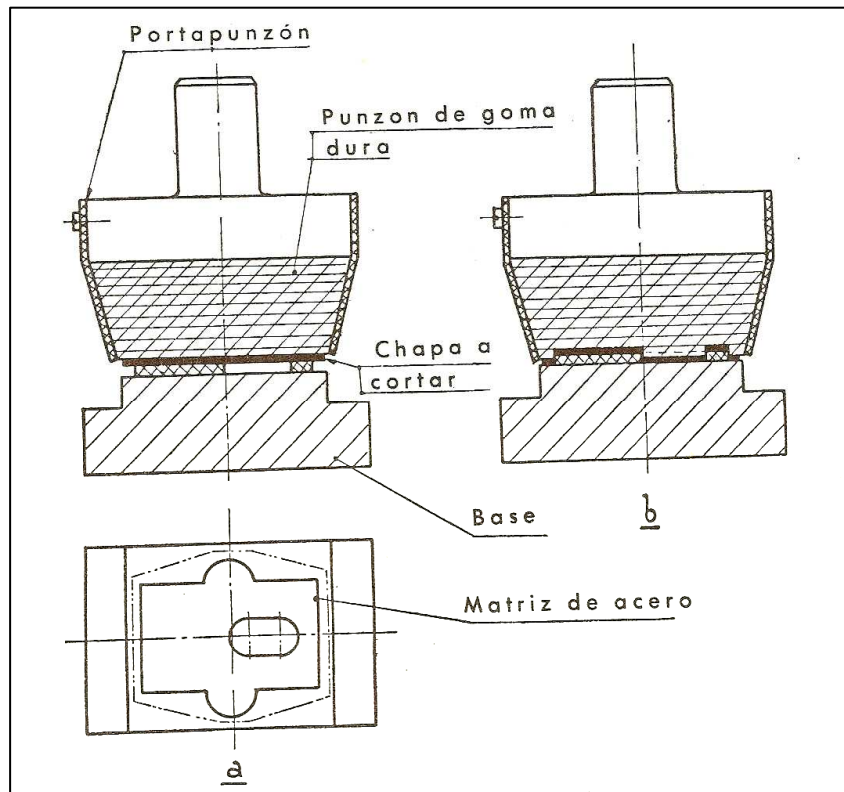
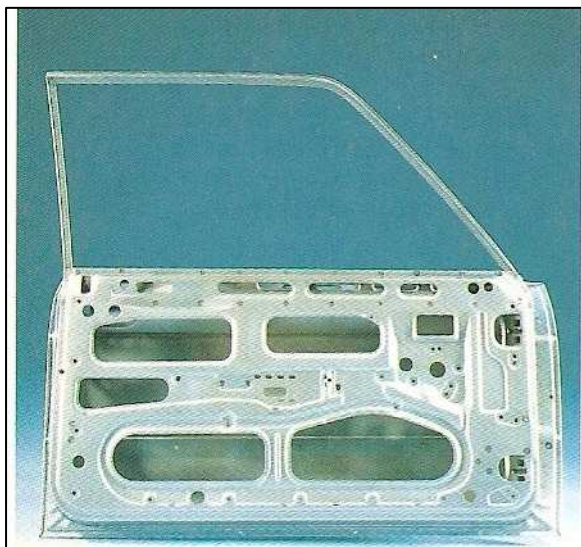


Figura 15: Estampa con punzón de goma para cortar chapa de aluminio. a) Antes del corte; b) Después del corte.



Fotografía: Puerta de automóvil. Puede observarse que en ella hay una conjunción de operaciones de corte, doblado y embutido de chapa.



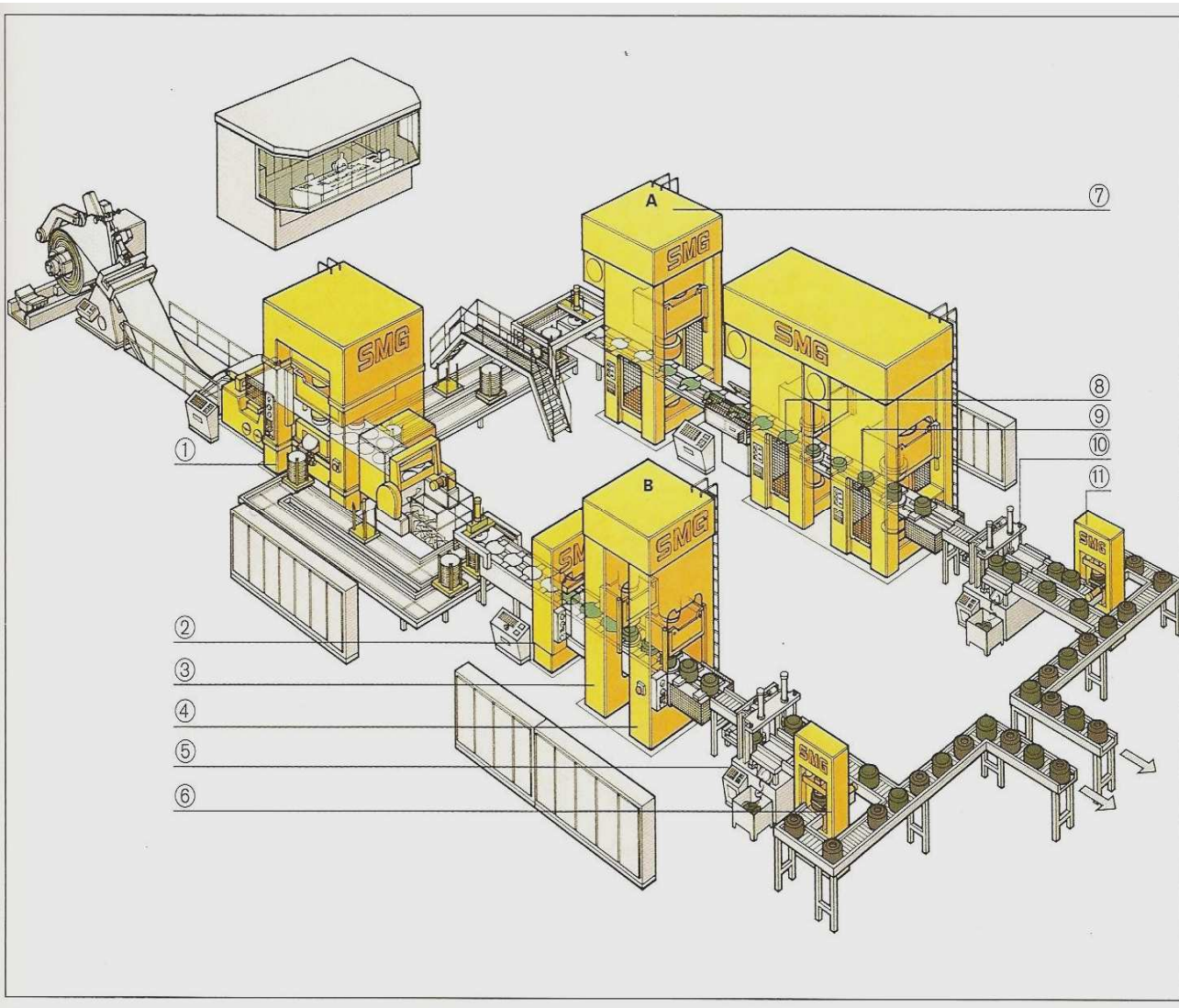


Figura 16:  
Esquemización  
de una línea de  
producción de  
tubos de gas.

Puede observarse que el proceso comienza con la entrada de chapa desde el rollo, a la izquierda de la figura, y la secuencia sigue con el corte (1) y las operaciones de doblado, embutido, embutido profundo y terminan con el agujereado en el punto (6).

## OPERACIÓN DE DOBLADO

### DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Las operaciones de doblado, curvado, perfilado etc. Ocupan un lugar importante dentro de las operaciones de conformado de piezas de chapa. Durante estas operaciones es necesario que la chapa no se alargue puesto que, de producirse un alargamiento, se obtiene una variación del espesor de la chapa. Estas operaciones consisten, por consiguiente, en variar la forma de un trozo de chapa sin alterar su espesor y, por lo tanto, que éste sea constante en toda la sección.

## OPERACIÓN DE DOBLADO

Esta operación es la más sencilla después del corte. En el campo de las construcciones mecánicas se logran muy buenos resultados cuando se puede emplear como perfil la chapa doblada.

Para estas operaciones es necesario tener en cuenta los siguientes factores:

- a) El radio de curvatura y la elasticidad del material

- b) Evitar cantos vivos (se aconseja fijar radios de curvatura interiores, iguales o mayores que el espesor de la chapa a doblar, con el fin de no estirar excesivamente las fibras exteriores y garantizar el doblado sin roturas de material)

Los radios de curvatura suelen utilizarse en los siguientes valores:

*De 1 a 2 veces el espesor de la chapa (aceros dulces)*

*De 3 a 4 veces el espesor de la chapa (materiales duros)*

Una vez terminada la operación de doblado de la chapa, la pieza tiende a volver a su forma primitiva en proporción tanto mayor cuanto más duro es el material de la chapa; esto es debido a la propiedad de los cuerpos de ser elásticos. Por este motivo al construir las estampas se fija un ángulo de doblado más acentuado para que, una vez que cede la presión de la máquina, se consiga dar a la pieza el ángulo deseado. En la figura siguiente se muestra las fases de doblado para lograr una pieza.

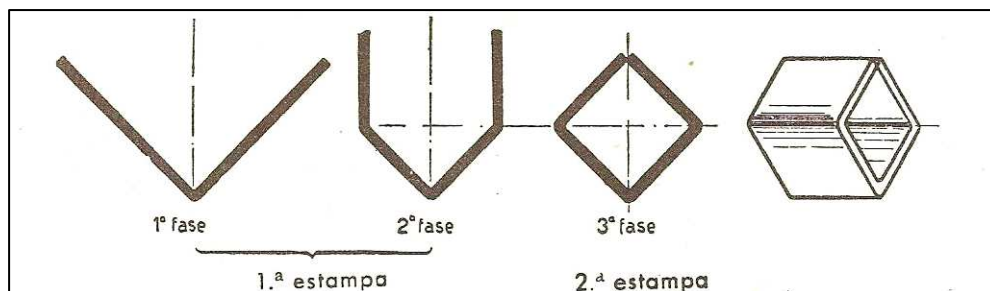


Figura 17: Fases de doblado realizables con dos estampas.

La figura anterior muestra que las dos primeras fases de construcción de la pieza se efectúan con una sola estampa, mientras que la tercera con otra estampa.

La cantidad de operaciones a efectuar para obtener una pieza doblada depende de factores como forma o geometría de la pieza y de la posibilidad de realización que ésta ofrece.

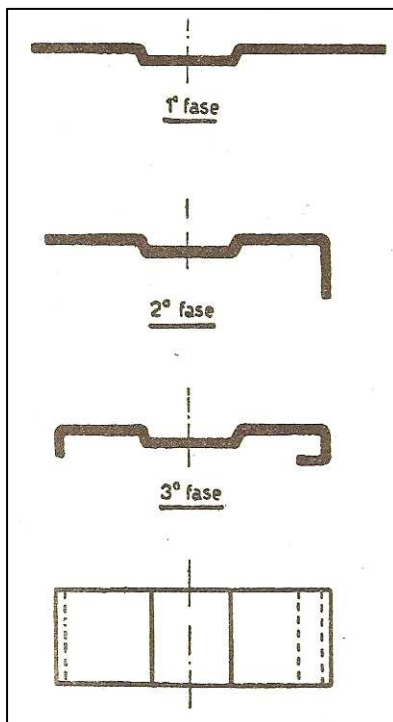


Figura 18: Fases de doblado realizadas con una estampa.

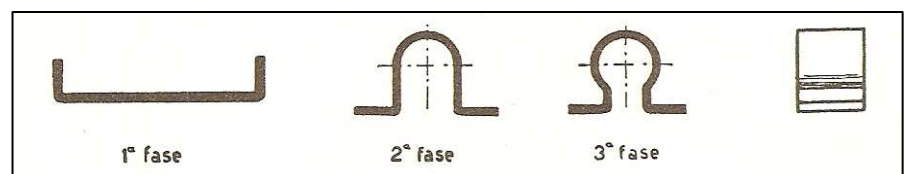


Figura 19: Fases de doblado realizadas con una sola estampa

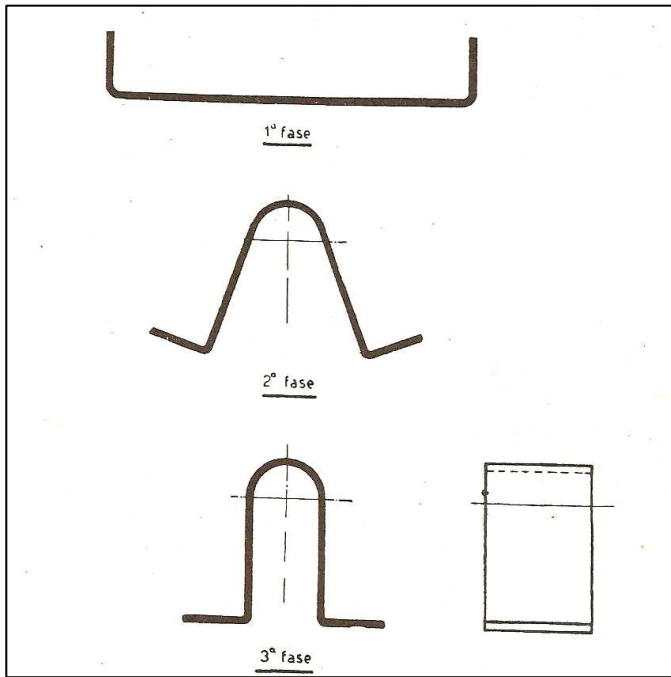


Figura 21: Esquema de una estampa sencilla de doblar. A: Macho; B: Hembra; C: escuadras laterales; D: Pernos de posición.

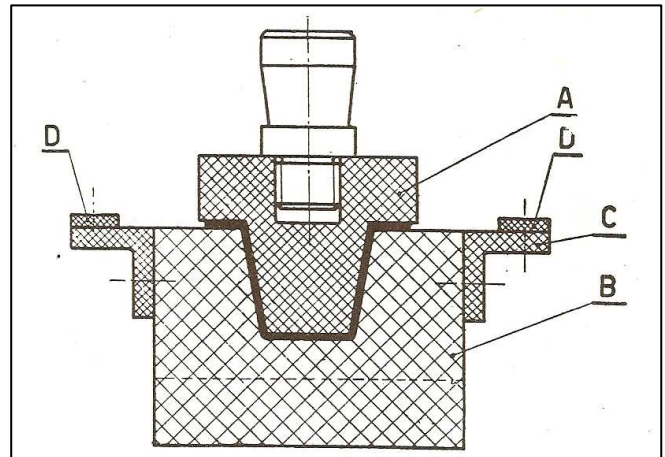


Figura 20: Fases de doblado con una sola estampa.

### SUPERFICIE NEUTRA DE UNA CHAPA

En la sección transversal de un sólido en flexión existe una línea que no está ni comprimida ni traccionada; esta es la línea neutra y, por el hecho de no deformarse, es la que nos interesa para el cálculo del desarrollo lineal del elemento a doblar. Esta línea no siempre se encuentra en el centro de la sección sino que toma posiciones diferentes según la calidad del material a doblar. Se ha encontrado en la práctica que cuando el espesor de la chapa es menor a 1 milímetro, el eje se halla en el centro de la sección; en cambio si la chapa es más gruesa se halla a  $1/3$  de la curva interior.

Si la chapa doblada posee curvaturas, el eje neutro se encuentra, en este caso, hacia la curva interior.

El cálculo para hallar la línea o eje neutro está dado por la siguiente expresión:

$$c = a + b + \frac{\pi}{2} (r + y)$$

De donde desarrollando se tiene la expresión final:

$$y = 2 \frac{c - a - b}{\pi} - r$$

Un ejemplo de este cálculo se muestra a continuación:

Un trozo de chapa de longitud  $c = 76,2 \text{ mm}$  y de espesor  $t = 3,2 \text{ mm}$  es doblado según se muestra en la siguiente figura y se desea conocer el valor de “y” sabiendo que  $a = 19 \text{ mm}$ ;  $b = 31,75 \text{ mm}$  y  $r = 15,05 \text{ mm}$

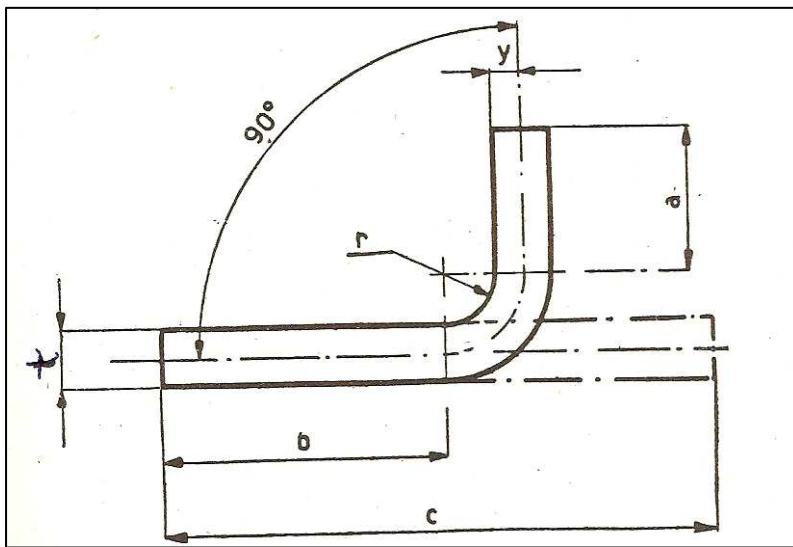


Figura 22: Chapa sometida a ensayo de doblado para encontrar su línea neutra.

En el desarrollo del problema encontramos que utilizando la expresión

$$y = 2 \frac{c - a - b}{\pi} - r$$

$$y = 2 \frac{76,2 - 19 - 31,75}{3,14} - 15,05$$

$$y/t = 1,16 / 3,2 = 0,362$$

$$y = 0,362 \cdot t$$

*Esta expresión hallada permite encontrar rápidamente una relación entre el espesor “t” y la distancia “y” de modo que para diferentes espesores pueda hallarse la situación del eje neutro de una manera simple y rápida. Se ha encontrado en la práctica que cuando el espesor de la chapa es menor a 1 milímetro, el eje se halla en el centro de la sección; en cambio si la chapa es más gruesa se halla a 1/3 de la curva interior. Si la chapa doblada tiene contracurvas, la línea neutra se sitúa, en este caso hacia la curva interior*

### DESARROLLO DEL ELEMENTO DOBLADO

Luego de haber localizado la posición de la línea neutra, se puede calcular la longitud o desarrollo de la chapa doblada.

Para hallar esa longitud “l” se utiliza la formula siguiente:

La sección transversal del elemento doblado contiene siempre una serie de líneas quebradas mixtas. El cálculo referido a la teoría de las líneas, en la posición neutra, se realiza considerando, por separado, cada línea y aplicando un cálculo geométrico corriente; Luego se suman los valores hallados para obtener el desarrollo total de la línea mixta.

Ejemplo: Calcular el desarrollo en longitud del elemento de la siguiente figura.

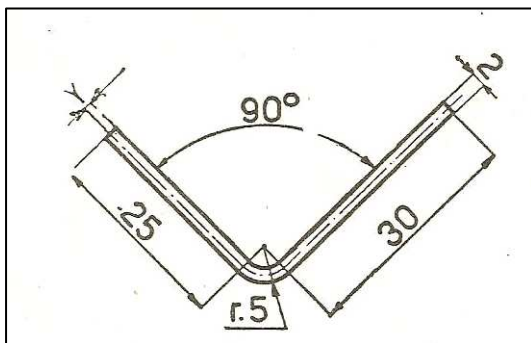


Figura 23: Chapa doblada en V.

Habiendo hallado el valor de “y” en el ensayo práctico de la línea neutra, se tiene:

$$y = 0,4 \cdot t = 0,8 \text{ mm}$$

$$l = 25 + 30 + 3,14/2 (5 - 2 + 0,8) = 61 \text{ mm}$$



## ESFUERZO NECESARIO EN LA OPERACIÓN DE DOBLADO

Para hallar el valor del esfuerzo necesario para doblar una chapa, la expresión a utilizar varía según de cómo se le aplique la carga a la chapa. Se dan dos casos distintos.

Caso I:

Si la chapa está doblada como indica la siguiente figura, la expresión a utilizar es la siguiente:

$$P = \frac{2 \cdot \sigma_d \cdot b \cdot S^2}{3 \cdot l}$$

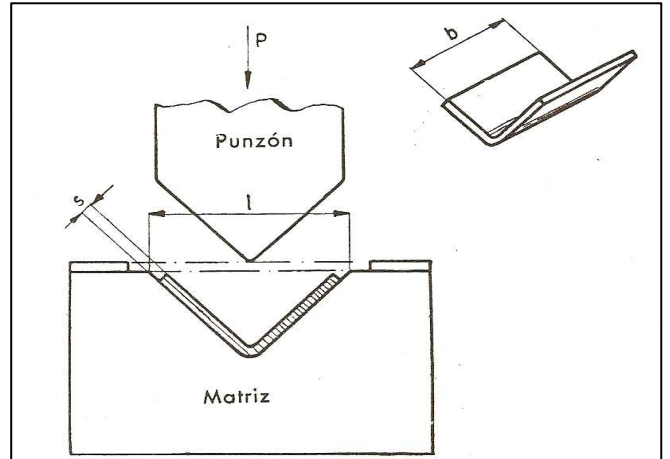


Figura 24: En el momento de iniciarse el

doblado, la chapa está apoyada en los extremos y es cargada en el centro.

Mf: Momento flector (kg.mm)

$\sigma_f$ : tensión de seguridad por flexión (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_d$ : Tensión por flexión necesaria para deformar la chapa plásticamente (kg/mm<sup>2</sup>)

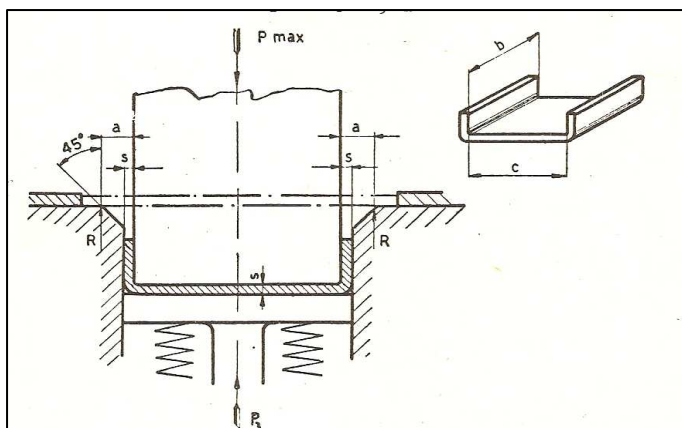
$\sigma_R$ : Coeficiente de rotura por tracción (kg/mm<sup>2</sup>)

I: Momento de inercia de la sección respecto del eje neutro (mm<sup>4</sup>)

z: distancia máxima de las fibras al eje neutro (mm)

I/z: momento resistente (mm<sup>3</sup>)

Y si se dobla la chapa de la manera en que muestra la siguiente figura se tendrá:



$$P = \frac{6 \cdot \sigma_R \cdot b \cdot S}{6}$$

Figura 25: En el momento de iniciarse el doblado, la chapa está apoyada en sus extremos pero la carga es aplicada en toda su zona central.

Para el primer caso, se tiene que el momento flector es

$$M_f = \frac{P \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}}{1} = \frac{P \cdot l^2}{4 \cdot 1} = \frac{P \cdot l}{4}$$

Mientras que el momento flector debido a la reacción molecular interior es expresado por

$$M_f = \sigma_d \cdot I / z$$

Si igualamos las expresiones anteriores

$$M_f = \sigma_d \cdot I / z = (P \cdot l) / 4$$

Para la sección rectangular, considerando el momento resistente mínimo, se tiene:

$$I / z = (b \cdot s^2) / 6$$

Sustituyendo en la expresión anterior el valor de I/z, tendremos

$$M_f = (\sigma_d \cdot b \cdot s^2) / 6 = (P \cdot l) / 4$$

Simplificando y obteniendo el valor de P, se tiene

$$(\sigma_d \cdot b \cdot s^2) / 3 = (P \cdot l) / 2$$

En donde

$$\sigma_d = 8 \cdot \sigma_f = 3 \sigma_R$$

En el segundo caso, la chapa es doblada en toda su parte media y puede considerarse que la fuerza máxima necesaria para completar el trabajo de doblar no es de un valor único para toda la operación. En efecto, cuando el punzón avanza, obliga a los bordes de la chapa a deslizarse lateralmente sobre los planos laterales inclinados a 45°. En la primera operación los brazos a doblar tienen la longitud  $a$  y se necesita una presión inicial  $P_1$ .

En un punto determinado, que corresponde a las esquinas inferiores de los planos inclinados, el punzón deberá hacer una presión  $P_2$ , mayor que  $P_1$ , porque la chapa que se está doblando toma el espesor (sección) mínimo  $s$ .

Los términos que aquí entran en juego son los siguientes:

$P_2$ : Fuerza máxima necesaria para doblar la chapa considerando el espesor  $s$ .

$P_3$ : Fuerza necesaria para vencer la acción elástica del muelle.

$P_{\max}$ :  $P_2 + P_3$  fuerza máxima requerida total para el doblado.

$M_f$ : momento flector (kg.mm)

$\sigma_f$ : coeficiente por flexión a fin de que el sólido resista con seguridad. (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_d$ :  $8 \sigma_f = 3 \sigma_R$  : coeficiente para deformar la chapa plásticamente (kg/mm<sup>2</sup>)

$\sigma_R$ : Coeficiente de rotura por tracción (kg/mm<sup>2</sup>)

$I$ : Momento de inercia de la sección respecto del eje neutro (mm<sup>4</sup>)

$z$ : distancia máxima de las fibras al eje neutro (mm)

$I/z$ : momento resistente (mm<sup>3</sup>)

Entonces:

$$M_f = (P_2/2) \cdot s$$

Siendo

$$(P_2/2) = R = \text{la fuerza sobre cada uno de los extremos en Kg}$$

El momento flector debido a la acción interna del metal es:

$$M_f = \sigma_d I/z$$

E igualando las expresiones de  $M_f$  queda:

$$M_f = \sigma_d I/z = (P_2 \cdot s)/2$$

Para las secciones rectangulares, considerando el momento resistente mínimo, se tiene:

$$I/z = (b \cdot s^2)/6$$

Si sustituimos obtenemos:

$$(P_2 \cdot s)/2 = \sigma_d (b \cdot s^2)/6$$

Simplificando

$$P_2 = \sigma_d \cdot b \cdot s / 3$$

Esta misma expresión se obtiene también de la formula del caso anterior, poniendo  $2s$  en lugar de  $l$ , o sea:

$$P_2 = (2 \cdot \sigma_d \cdot b \cdot s^2) / 3 \cdot l = (2 \cdot \sigma_d \cdot b \cdot s^2) / 3 \cdot 2 \cdot s = (\sigma_d \cdot b \cdot s) / 3$$

Este es el valor de  $P_2$ , o sea que a este valor debe sumársele el de  $P_3$  para vencer la fuerza elástica del muelle.

Nota: La abertura “ $l$ ” de las estampas, empleada en el doblado en ángulo de chapa, puede considerarse, en general, igual a 12 veces el espesor de la chapa es decir:  $l = 12s$ . Si en la formula (1) del primer caso se considera  $l = 12s$ , teniendo también presente  $\sigma_d = 3 \sigma_R$  se tendrá la siguiente formula simplificada.

Al final quedamos con una expresión simplificada:

$$P = (2 \cdot \sigma_d \cdot b \cdot s^2) / 3 \cdot l = (2 \cdot 3\sigma_R \cdot b \cdot s^2) / 3 \cdot 12 \cdot s = (\sigma_R \cdot b \cdot s) / 6$$

Si comparamos las expresiones de  $P$  con  $P_2$  obtenemos la siguiente diferencia entre ellas.

$$P = (\sigma_R \cdot b \cdot s) / 6 \quad \text{y} \quad P_2 = (\sigma_R \cdot b \cdot s)$$

Se tiene que “ $P_2$ ” es seis veces mayor que la presión “ $P$ ”, expresada anteriormente, para cuando se considera  $l = 12s$ . Se concluye por deducción que cuando se necesita doblar chapas en “ $U$ ” la presión de trabajo es 6 veces mayor que cuando se necesita doblar chapa en “ $V$ ” ó ángulo, cuando la abertura “ $l$ ” de la matriz tiene, en este último caso, doce veces el espesor “ $s$ ” de la chapa.

# ANEXO

## (Operaciones de curvado y perfilado)

### OPERACIÓN DE CURVADO

#### DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Los mismos conceptos y consideraciones expuestos para el doblado son válidos para la operación de

curvado. Esta operación se distingue del doblado por su diferente función característica. Mediante el empleo de estampas especiales y diferentes, se puede curvar lo mismo un hilo de acero que una tira de chapa para obtener, respectivamente, un gancho o un tubo, tal como se muestra en la siguientes figuras.

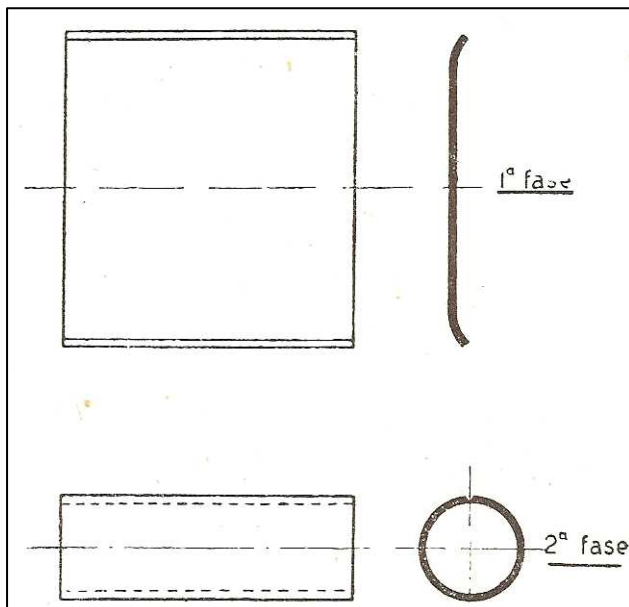


Figura 26: Se muestra la esquematización de un trozo de chapa antes y después del curvado. Se puede observar que el trozo de chapa



curvado posee una unión en V que facilitará, a posterior, la soldadura del tubo.

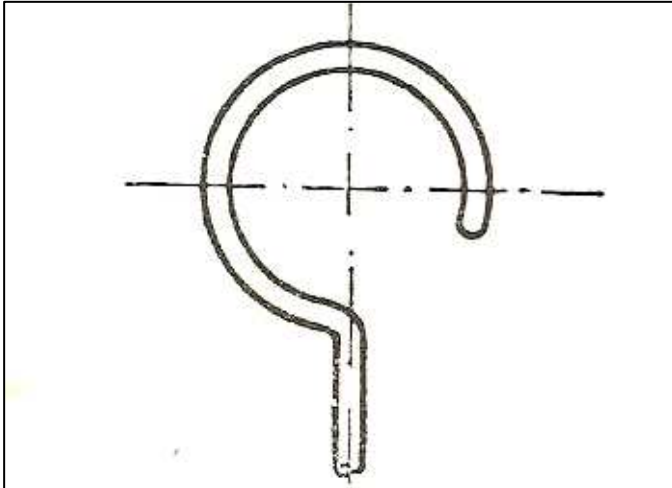


Figura 27: Esquematzación de alambre de acero curvado con estampa de matriz móvil ➔

## OPERACIÓN DE PERFILADO DE CHAPA

### DEFINICIÓN Y GENERALIDADES

Se denomina perfilado a la secuencia de operaciones que logra transformar gradualmente una tira de chapa en un perfil. Esto se obtiene haciendo pasar el material por una serie de pares de rodillos dispuestos a tal fin, que, con su movimiento, transforman esa cinta metálica en perfiles de variadísimas formas. Cada par de rodillos por donde pasa la cinta metálica, se aproxima cada vez más a la forma final que se desea y el número de pares de rodillos utilizados depende de que tipo de perfil se desee obtener.

A causa de los diferentes diámetros de los pares rodillos perfiladores, se producen diferentes velocidades periféricas que dan lugar a resbalamientos entre las superficies de contacto; Ocurre que la cinta de chapa tendrá una velocidad lineal superior o inferior a aquella periférica de los rodillos y de ese modo se produce el estiramiento o una compresión del metal. Este inconveniente debe ser evitado poniendo atención a las dimensiones de los rodillos perfiladores.

Los espesores y materiales a perfilar son variados; Aleaciones como el duraluminio, chapas de acero, latón son algunos de los materiales de los cuales se obtienen perfiles, y los espesores a obtener van desde 0,4 a 2,5 milímetros.

Las ventajas especiales del perfilado son las siguientes:

- 1° No se producen desperdicios de material.
- 2° Aumento de la resistencia debido a la deformación que se le produce al material.
- 3° Rapidez de producción.
- 4° Rodillos fáciles de obtener.
- 5° Empleo de mano de obra no especializada.

En la siguiente figura está esquematizado un sistema de perfilado con una batería de rodillos.

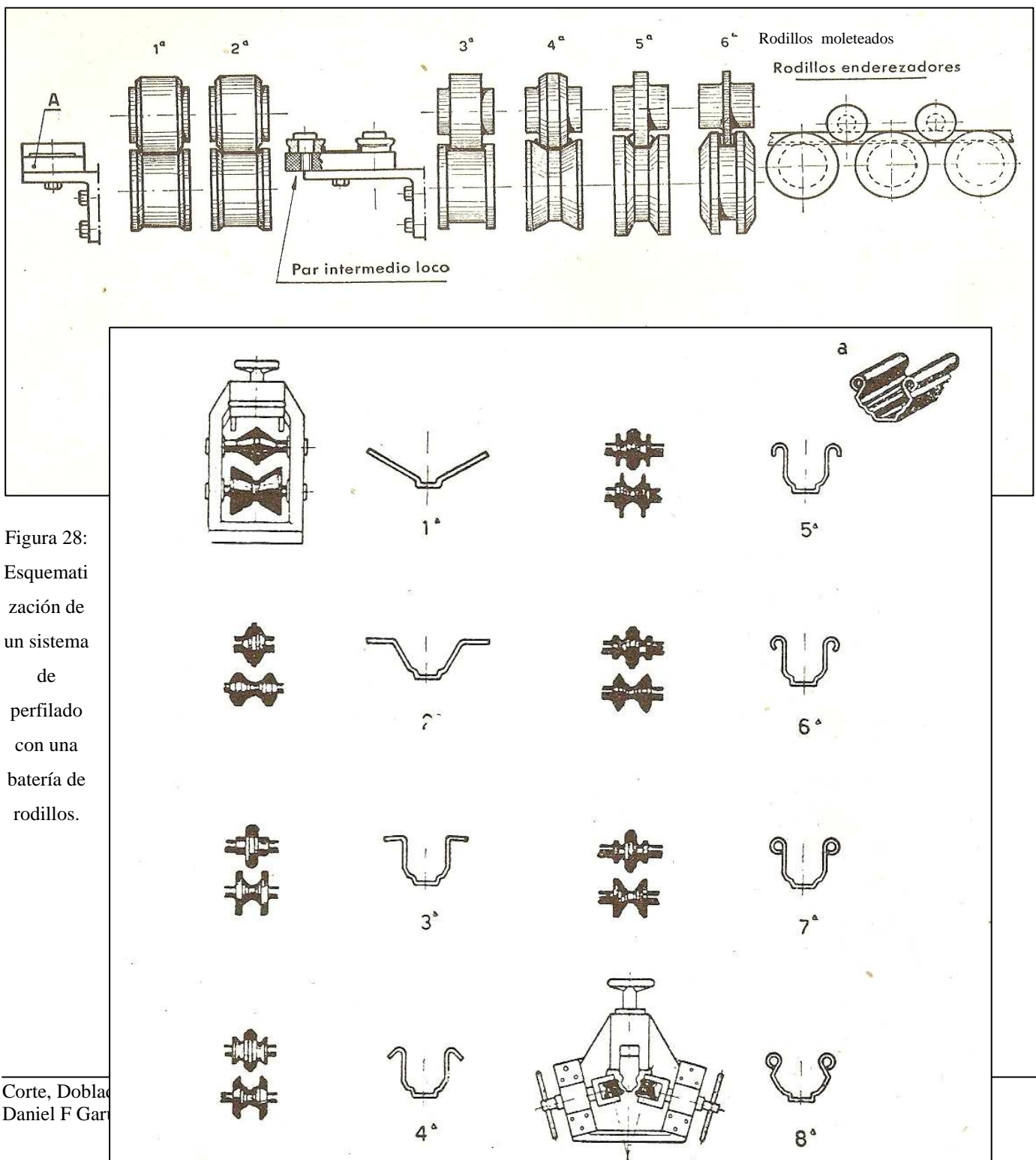


Figura 29: Perfilado de una tira de chapa mediante una batería de rodillos.

La reedición del presente escrito ha sido realizada tomando como base al apunte de Ingeniero Fortunato Rezk de la Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ingeniería y se han agregado algunos conceptos, gráficos, fotografías y figuras demostrativas de otros libros de texto para enriquecer aún más el presente apunte.

La reedición de este apunte no es, bajo ningún punto de vista, haber editado bibliografía basándome en conocimientos y experiencias ajenas.

Ing. Daniel F. Garutti  
Jefe de Trabajos Prácticos

Bibliografía consultada

*Estampado en frío de chapa (Prof. Mario Rossi)*

*Apunte Universidad Nacional de Córdoba (Ing. Fortunato Rezk)*

*SMG PRESSEN (Sheet Metal Forming on hydraulic presses)*

*Tratamientos Térmicos de los aceros (José Apraiz Barreiro)*



Nombre de archivo: Corte, doblado y Embutizado  
Directorio: E:\Mis documentos\UNIVERSIDADES\Universidad  
Nacional\Bibliografia  
Plantilla: C:\Documents and Settings\pc\Datos de  
programa\Microsoft\Plantillas\Normal.dotm  
Título: LAMINACIÓN  
Asunto:  
Autor: WinuE  
Palabras clave:  
Comentarios:  
Fecha de creación: 13/06/2019 19:31:00  
Cambio número: 2  
Guardado el: 13/06/2019 19:31:00  
Guardado por: pc  
Tiempo de edición: 1 minuto  
Impreso el: 13/06/2019 19:32:00  
Última impresión completa  
Número de páginas: 39  
Número de palabras: 7.878 (aprox.)  
Número de caracteres: 43.333 (aprox.)