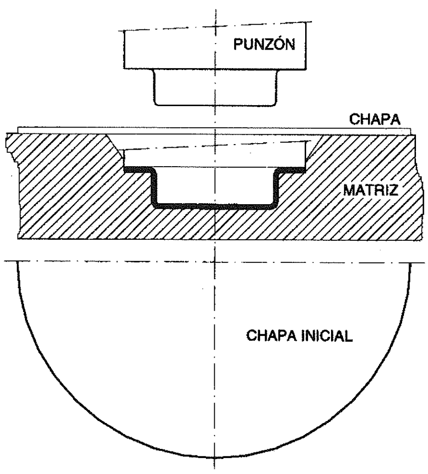
CAPÍTULO 3

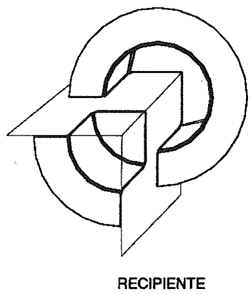
MATRICES, MOLDES Y UTILLAJES

EMBUTICIÓN

1. EMBUTIR

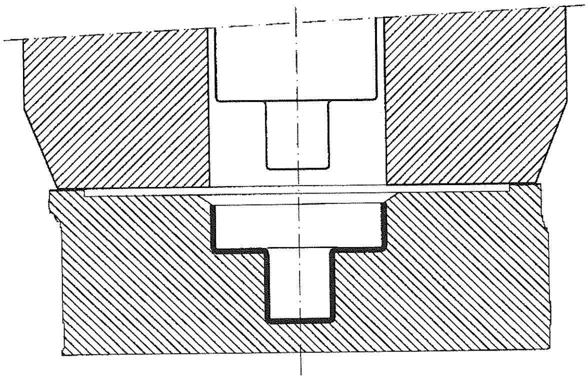
Embutir es rellenar un recipiente de un determinado material. En Tecnología Mecánica, ***embutir consiste en transformar una chapa plana de metal laminado en un recipiente***, bien sea de una sola operación o bien de forma progresiva.





La acción mecánica de la **embutición** se basa en presionar la chapa de metal con un punzón de dimensiones preestablecidas obligando al material a ocupar el espacio comprendido entre la matriz y el punzón y tratando de mantener el mismo espesor de la chapa inicial en el recipiente que hay que obtener.

Para evitar pliegues y deformaciones, dependiendo de las dimensiones y, sobre todo, de la profundidad, es necesario añadir al troquel un sujetachapa que actúe sobre la periferia del material mientras el punzón ejerce la presión en la parte central, permitiendo, a su vez, que el material resbale a medida que se obtiene la conformación final.



2. DESARROLLO DE UNA PIEZA EMBUTIDA

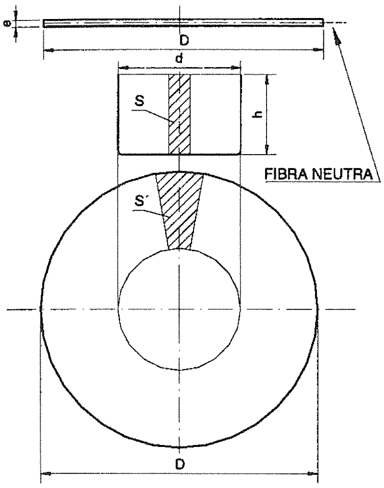
Se trata de conocer las dimensiones de la chapa inicial a partir de las dimensiones del recipiente que hay que obtener.

En la embutición, parte del material está sometido a importantes deformaciones debido a desplazamientos moleculares, como se ha dicho, se trata de obtener piezas con el mismo espesor que el material de partida a base de obligarle a ocupar el espacio definido por el punzón y la matriz.

En el doblado y curvado se tiene en cuenta el desarrollo de la fibra neutra reducida a una línea, cuyo desarrollo se calcula con gran exactitud si previamente se define con precisión dicha línea. En la embutición no se puede reducir a una línea, sino que se trata de una superficie; puesto que el volumen de material inicial deberá ser igual al volumen de la pieza que se desea obtener y, como se parte de que los espesores son iguales, de ahí que se igualen las superficies.

Tratándose de un gran número de piezas de igual material y formas similares, es conveniente realizar ensayos prácticos con el fin de observar el comportamiento del material. De esta forma se puede ver el resultado obtenido comprobando las medidas de la pieza embutida y la variación de espesor en alguna zona, que de ser importante podría provocar roturas.

Para el análisis del comportamiento del material en la embutición, vamos a partir de un ejemplo sencillo: Desarrollo de la chapa necesaria para la obtención de un recipiente cilíndrico de diámetro "d" y altura "h".



El círculo de la base del recipiente de diámetro "d" no está sometido a ninguna deformación; sin embargo, la parte lateral del recipiente, cilindro de diámetro "d" y altura "h", se genera transformando los trapezoides "s´" en rectángulos "s"; se puede comprobar cómo la altura "h" del cilindro es mayor que la altura del trapezoide (D-d)/2

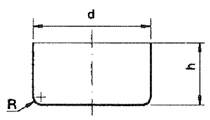
Despreciando la deformación del redondeo entre la parte cilíndrica y el fondo, se puede calcular con bastante exactitud el diámetro "D" del desarrollo de la chapa igualando las superficies inicial y del recipiente, aunque sería mas preciso si se igualan los volúmenes.

NOTA: La fibra neutra se toma en el espesor medio en chapas delgadas.

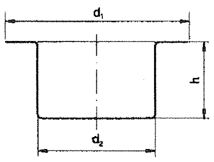
$$\pi\frac{D^2}{4} = \pi(\frac{d^2}{4} + d.h) \quad \Rightarrow \quad D^2 = d^2 + 4d.h$$

$$\boxed{D = \sqrt{d^2 + 4d.h}}$$

- Ejemplos -

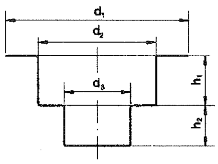


Teniendo en cuenta el radio de curvatura en el fondo y siempre que sea $R \leq \frac{1}{4}h$ $\quad \boxed{D \cong \sqrt{d^2 + 4dh} - R}$



$$\pi\frac{D^2}{4} = \pi\frac{d_1^2}{4} - \pi\frac{d_2^2}{4} + \pi\frac{d_2^2}{4} + \pi d_2 h$$

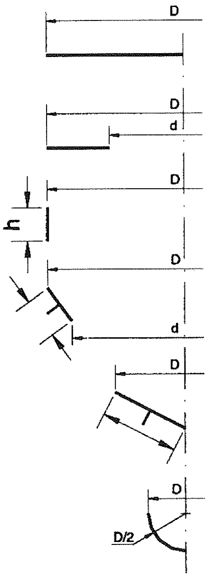
$$\boxed{D = \sqrt{d_1^2 + 4d_2 h}}$$



$$\pi\frac{D^2}{4} = \pi\frac{d_1^2}{4} - \pi\frac{d_2^2}{4} + \pi\frac{d_2^2}{4} - \pi\frac{d_3^2}{4} + \pi\frac{d_3^2}{4} + \pi d_2 h_1 + \pi d_3 h_2$$

$$\boxed{D = \sqrt{d_1^2 + 4d_2 h_1 + 4d_3 h_2}}$$

3. SUPERFICIES GENERADAS POR PERFILES QUE GIRAN 360° ENTORNO A UN EJE



$$\frac{\pi}{4}D^2$$

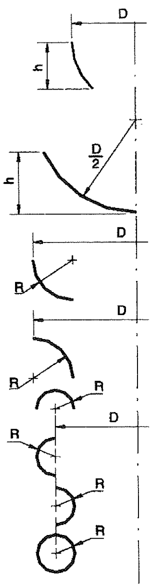
$$\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)$$

$$\pi Dh$$

$$\frac{\pi}{2}(D+d)l$$

$$\frac{\pi}{2}Dl$$

$$\frac{\pi}{2}D^2$$



$$\pi Dh$$

$$\pi Dh$$

$$\frac{\pi^2}{2}R(D-0{,}7R)$$

$$\frac{\pi^2}{2}R(D-1{,}3R)$$

$$\pi^2 RD$$

$$2\frac{\pi^2}{2}R(D+2R-0{,}7R)=\pi^2 R(D+1{,}3R)$$

$$2\frac{\pi^2}{2}R(D-1{,}3R)=\pi^2 R(D-1{,}3R)$$

$$2\pi^2 RD$$

NOTA: Los cálculos de estas expresiones figuran en el anexo nº V de esta publicación.

4. TABLA RESUMEN DE DIFERENTES FIGURAS GEOMÉTRICAS DE PIEZAS DE REVOLUCIÓN OBTENIDAS POR EMBUTICIÓN

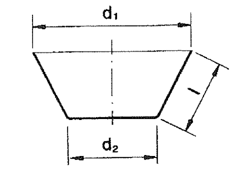
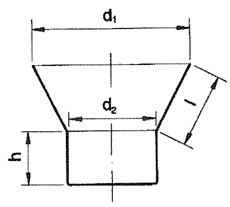
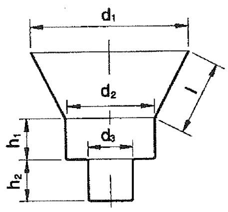
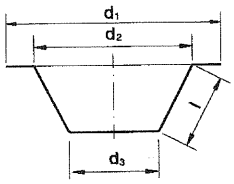
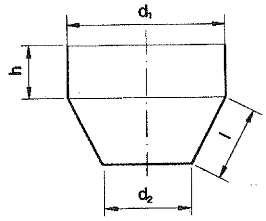
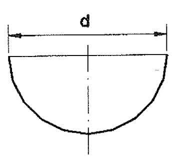
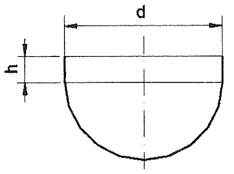
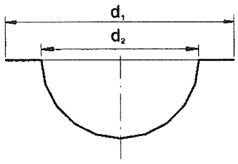
<table>
<tr><th>FIGURA GEOMÉTRICA</th><th>DIÁMETRO DE LA CHAPA DESARROLLADA</th></tr>
<tr><td>
</td><td>$$D=\sqrt{d_2^2+2l(d_1+d_2)}$$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$$D=\sqrt{d_2^2+4d_2h+2l(d_1+d_2)}$$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$$D=\sqrt{d_2^2+4(d_3h_2+d_2h_1)+2l(d_1+d_2)}$$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$$D=\sqrt{d_3^2+2l(d_2+d_3)+d_1^2-d_2^2}$$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$$D=\sqrt{d_2^2+2[l(d_1+d_2)+2d_1h]}$$</td></tr>
<tr><td>
</td><td>$$\pi\frac{D^2}{4}=\pi\frac{d^2}{2}$$
$$\boxed{D=\sqrt{2}.d}$$</td></tr>
</table>

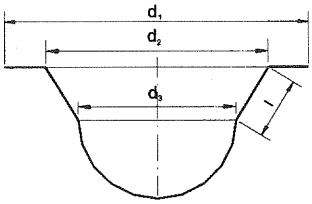
FIGURA GEOMÉTRICA	DIÁMETRO DE LA CHAPA DESARROLLADA



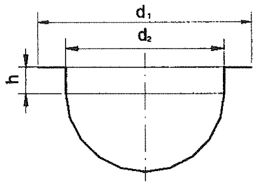
$$D = \sqrt{2(d^2 + 2dh)}$$



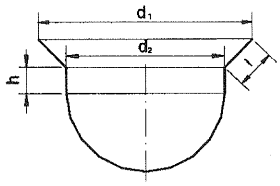
$$D = \sqrt{d_1^2 + d_2^2)}$$



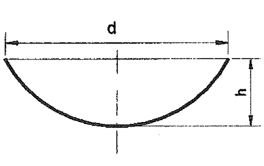
$$D = \sqrt{(d_1^2 - d_2^2) + 2(d_2 + d_3)\,l + 2d_3^2}$$



$$D = \sqrt{d_2^2 + d_1^2 + 4d_2 h}$$



$$D = \sqrt{2\left[d_2^2 + 2d_2 h + l(d_1 + d_2)\right]}$$



$$D = \sqrt{d^2 + 4h^2}$$

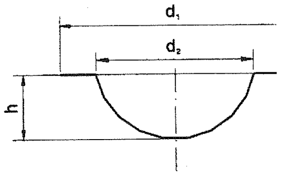
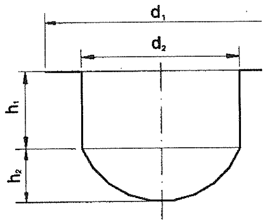
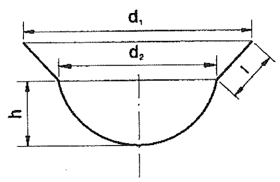
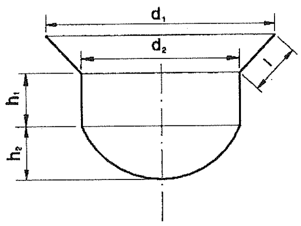
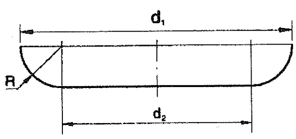
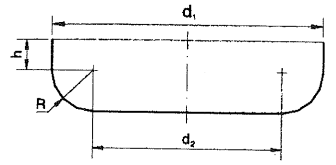
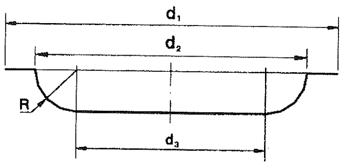
FIGURA GEOMÉTRICA	DIÁMETRO DE LA CHAPA DESARROLLADA
	$D=\sqrt{d_1^2+4h^2}$
	$D=\sqrt{d_1^2+4(h_2^2+d_2h_1)}$
	$D=\sqrt{d_2^2+4h^2+2l\,(d_1+d_2)}$
	$D=\sqrt{d_2^2+4(h_2^2+d_2h_1)+2l(d_1+d_2)}$
	$D=\sqrt{d_1^2+2{,}28Rd_1-0{,}56R^2}$

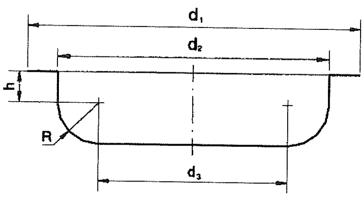
FIGURA GEOMÉTRICA	DIÁMETRO DE LA CHAPA DESARROLLADA



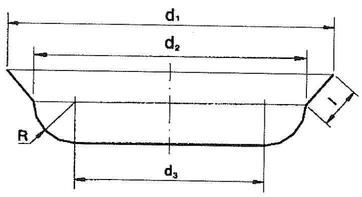
$$D=\sqrt{d_1^2+2{,}28Rd_1-0{,}56R^2+4d_1h}$$



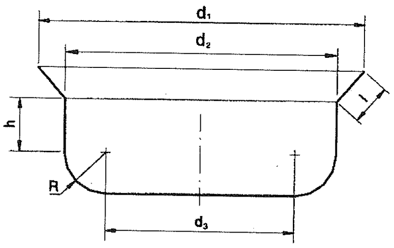
$$D=\sqrt{d_1^2+2{,}28Rd_2-0{,}56R^2}$$



$$D=\sqrt{d_1^2+4d_2(0{,}57R+h)-0{,}56R^2}$$

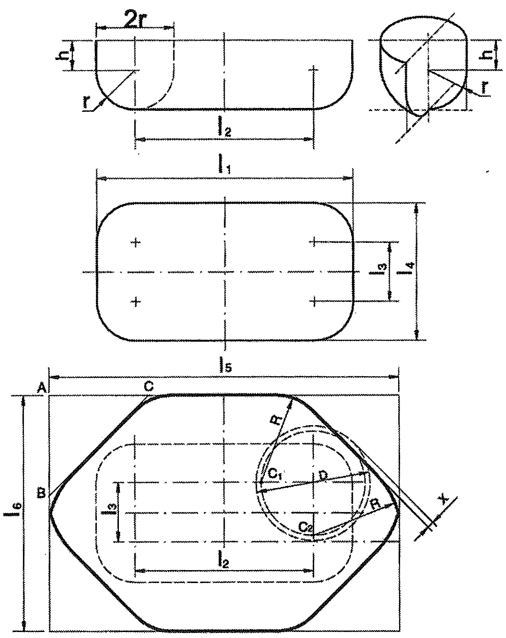


$$D=\sqrt{d_2^2+2{,}28Rd_2^2-0{,}56R^2+2l(d_1+d_2)}$$



$$D=\sqrt{d_2^2+4d_2(0{,}57R+h+\frac{1}{2}l)+2ld_1-0{,}56R^2}$$

Desarrollo de una caja de base rectangular y lados ortogonales



"D" es el diámetro del círculo correspondiente al desarrollo del cilindro imaginario de diámetro 2r=d

$$D = \sqrt{2(d^2 + 2dh)}$$

Los chaflanes BC de 45° son tangentes a la circunferencia de diámetro D-2x

El valor de "x" se ha obtenido en base a ensayos; siendo su valor aproximado:

$$\boxed{x = \frac{D}{32}}$$

El valor de curvatura (R):

$$R = \frac{l_6 - l_3}{2}$$

TRAZADO:

> Trazar el rectángulo de la base $l_2 \times l_3$; en el que $l_2=l_1-2r$ y $l_3=l_4-2r$

> Trazar el rectángulo de contorno exterior añadiendo a l_2 y l_3 dos cuadrantes de radio "r" más 2 alturas "h".

$$l_5 = l_2 + 2\frac{\pi}{2}r + 2h = l_2 + \pi r + 2h$$

$$l_6 = l_3 + 2\frac{\pi}{2}r + 2h = l_3 + \pi r + 2h$$

> Trazar los chaflanes BC de 45° tangentes a la circunferencia cuyo diámetro es "D-2x", tomando como centro cada esquina del rectángulo de lados l_2 y l_3. "D" es el diámetro del círculo correspondiente al desarrollo de un cilindro de base semiesférica de diámetro "d" y altura "h+r"; se ha de tener en cuenta que cada esquina es la cuarta parte del mencionado cilindro.

> Los radios de redondeo "R" tienen los centros en C_1 y C_2; que corresponden a la intersección de la circunferencia de diámetro "D-2x" con los lados l_2 y l_3

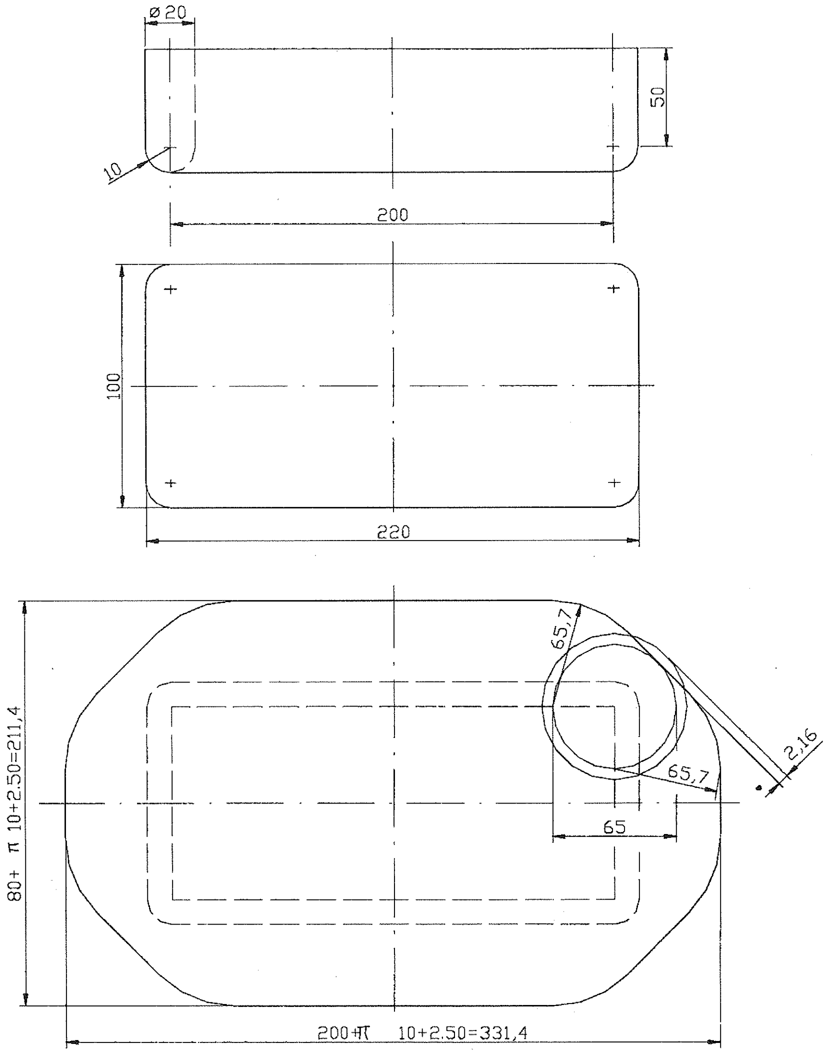
Ejemplo: Calcular el desarrollo de la caja de la figura de 220x100x60 y radio de curvatura en el fondo de 10.

$$D=\sqrt{2(20^2+2.20.50)}=69{,}3 \qquad x=\frac{69{,}3}{32}=2{,}166 \qquad D'=D-2x=65$$

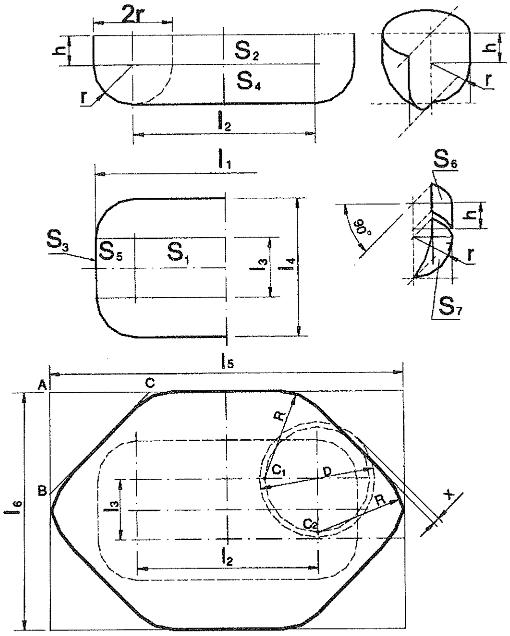
$$R=\frac{211{,}4-80}{2}=\frac{331{,}4-200}{2}=65{,}7$$

Cálculo de los lados del rectángulo que inscribe al desarrollo de la caja:

$$l_5=200+\pi.10+2.50=331{,}4 \qquad l_6=80+\pi.10+2.50=211{,}4$$



2° PROCEDIMIENTO



La superficie total (S) es la suma de la base sin deformación (S_1) + el doble de la cara lateral mayor (S_2) + el doble de la cara lateral menor (S_3) + el doble del empalme mayor (S_4) + el doble del empalme menor (S_5) + cuatro veces la esquina de altura "h" (S_6) + cuatro veces la esquina de forma esférica de radio "r" (S_7)

$$S_1 = l_2.l_3$$
$$S_2 = 2.h.l_2$$
$$S_3 = 2.h.l_3$$
$$S_4 = \pi.r.l_2$$
$$S_5 = \pi.r.l_3$$
$$S_6 = 2.\pi.r.h$$
$$S_7 = 2.\pi.r^2$$

$$S = l_2.l_3 + 2.h.l_2 + 2.h.l_3 + \pi.r.l_2 + \pi.r.l_3 + 2.\pi.r.h + 2.\pi.r^2$$

La superficie total del rectángulo (S´) $S' = l_5.l_6$

La superficie a descontar (S_d) es cuatro veces el triángulo rectángulo isósceles ABC, es decir la superficie de un cuadrado de lado BC.

$$S_d = S' - S$$

$$BC = \sqrt{2}.AB \quad \text{como} \quad S_d = BC^2 \qquad BC = \sqrt{S_d}$$

$$AB = \frac{BC}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{S_d}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2}\sqrt{S_d}$$

La hipotenusa -chaflán- BC deberá ser tangente a la circunferencia de diámetro "D" menos "2x" $(x = \frac{D}{32})$

Los radios de tangencia "R" se aplican igual que en el método anterior.

5. CÁLCULO DE LA FUERZA EN LA EMBUTICIÓN

La embutición se basa en obtener objetos por deformación permanente sin llegar a la rotura, para lo cual se aplican unas fuerzas exteriores capaces de superar la deformación en el período elástico.

El cálculo de la fuerza necesaria para producir la embutición depende de múltiples factores: El tipo de material a embutir, el espesor de la chapa, las características del material, la forma que se desea obtener, la profundidad de embutición, la lubricación y la forma y grado de acabado de la matriz y el punzón; lo que nos da una idea de la complejidad de su cálculo.

A modo de aproximación se puede afirmar que **en embuticiones cilíndricas de fondo plano, realizadas sobre matrices y punzones de alto grado de acabado y fiabilidad constructiva, a la vez que dotadas de sujetachapa, la fuerza de embutición (F_e) es proporcional al diámetro del cilindro y al espesor.**

$F_e = K.\pi.d.e$ $\Rightarrow$ e= espesor, d=diámetro del cilindro embutido y K=constante que viene determinada por la resistencia a la cizalladura; pero como la **fuerza de embutición deberá ser menor que la de cizalladura** , $(F_e < F_c)$, se deberá multiplicar la expresión por un valor que depende de la relación entre el diámetro de la pieza a embutir (d) y el diámetro de la chapa desarrollada (D)

$K = \tau_c.n$ siendo "n" un valor que depende de $\frac{d}{D}$ y τ_c la resistencia a la cizalladura.

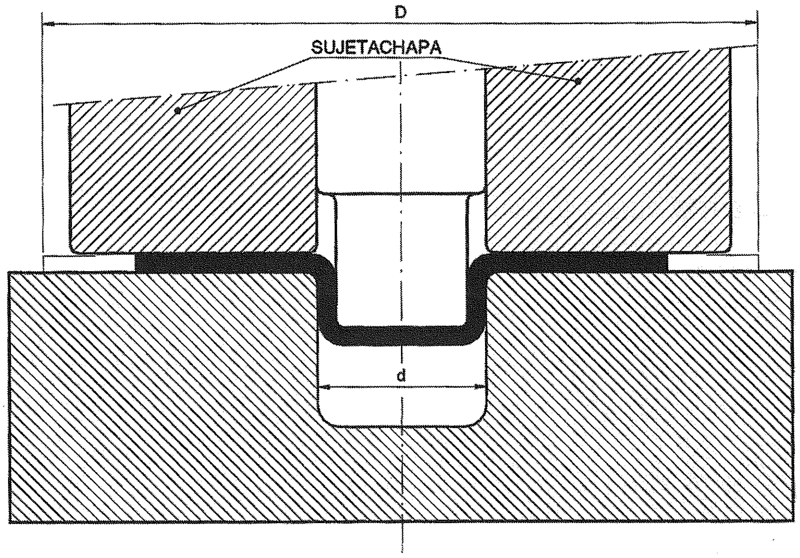
$\boxed{F_e = \pi.d.e.n.\tau_c}$

$\frac{d}{D}$	n
1,55	1
0,6	0,86
0,65	0,72
0,7	0,6
0,75	0,5
0,8	0,4

Otras relaciones (d/D) por interpolación

6. FUERZA A APLICAR POR EL SUJETACHAPA

La fuerza que debe aplicar el sujetachapa debe ser la suficiente como para que el material se deslice evitando deformaciones, pliegues o arrugas a medida que el punzón presiona a la chapa obligándola a ajustarse a la forma de la matriz; no obstante, dicha fuerza no podrá pasar de un determinado valor, pues podía suceder que el material que se desea embutir se alargara en exceso provocando una reducción de espesor pudiendo llegar a la rotura del material o a un debilitamiento excesivo.



Se trata de aplicar una fuerza que permita el deslizamiento del material, si es preciso lubricando, con el fin de obtener espesores similares al de la chapa de partida.

En embuticiones cilíndricas: $F = \pi \dfrac{D^2 - d^2}{4} p$

	ACERO	ALUMINIO
P Kp/Cm^2	10 a 20	8 a 10

D = Diámetro de la chapa de partida

d = Diámetro del agujero de la matriz

p = Presión del sujetachapa.

7. CONSIDERACIONES QUE DEBEN TENERSE EN CUENTA EN LA EMBUTICIÓN

En la embutición es preciso que se de una serie de condiciones que faciliten el proceso, pues como ya se ha dicho se trata de una operación relativamente compleja. No hay que olvidar que parte del material de partida ha de ser sometido a importantes esfuerzos para conseguir su deformación permanente. Para ello deberá cumplirse lo siguiente:

* Buen acabado superficial del punzón y la matriz, en especial, las superficies donde ha de adaptarse el material.

* Un redondeo adecuado en el punzón y en la embocadura de la matriz.

* Una lubricación abundante que facilite el proceso.

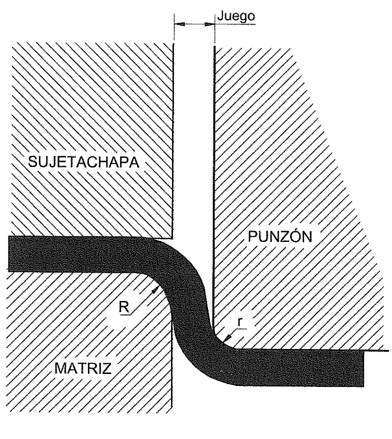
8. JUEGO ENTRE PUNZÓN Y MATRIZ

En la embutición el juego entre punzón y matriz deberá ser igual al espesor (e) más una holgura de tolerancia, cuyo valor suele ser 0,1 del espesor.

En piezas cilíndricas: $$Juego = \frac{d_m - d_p}{2} + \frac{1}{10}e = e + \frac{1}{10}e = \frac{11}{10}e$$

9. RADIO EN EL PUNZÓN (r) Y EN LA MATRIZ (R)

Tanto en el punzón como en la embocadura de la matriz es importante calcular correctamente un redondeo que evite el rasgado o la rotura del material cuando presente aristas vivas o poco redondeadas; tampoco dicho redondeo puede ser excesivo, ya que podría ocasionar pliegues o arrugas.



$$R_{máx.} = \frac{D-d}{2}$$

D: Diámetro de la chapa inicial

d: Diámetro de la matriz

Como valor práctico: $R = 0{,}8\sqrt{(D-d)e}$

$$3e \le R \le 8e$$

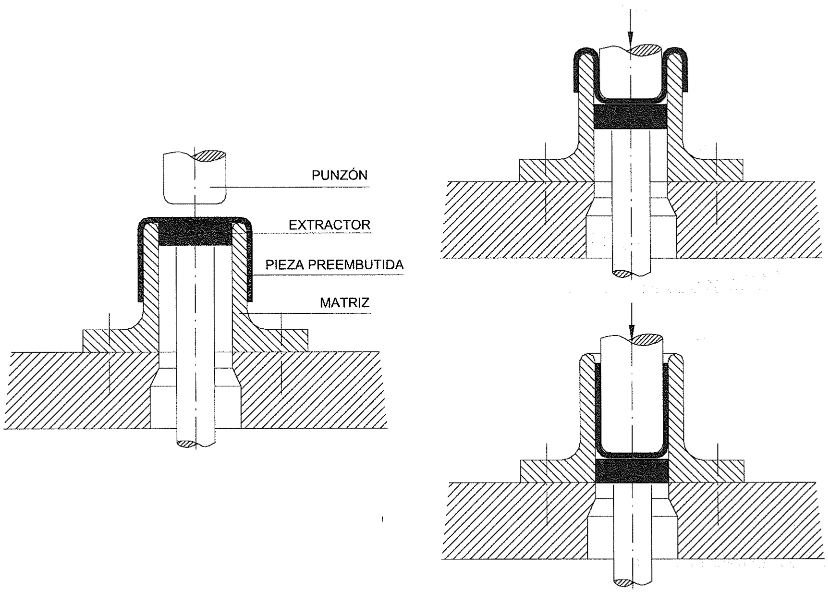
El radio del punzón (r) deberá adaptarse a la forma de la pieza.

$$e \le r \le 3e$$

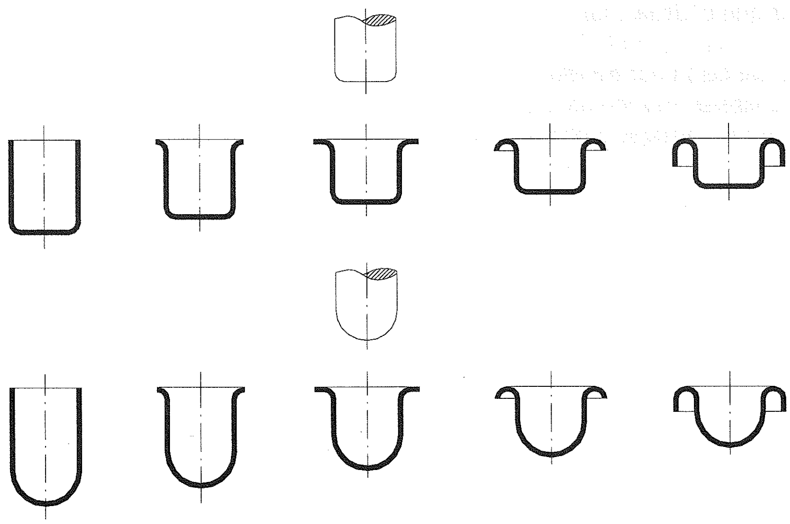
10. EMBUTICIÓN INVERTIDA

La embutición invertida consiste en transformar una pieza cilíndrica preembutida en otra, también cilíndrica, con fondo plano o en casquete esférico.

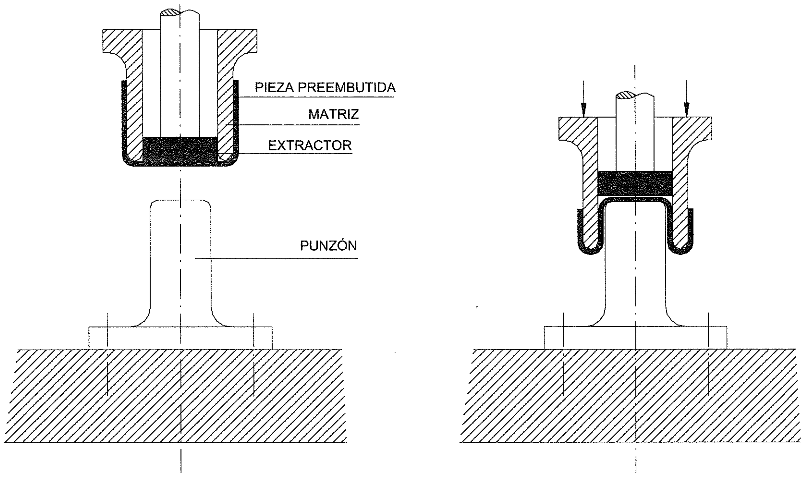
En la embutición invertida, se adapta el diámetro interior de la pieza conformada al diámetro del punzón, en lugar de adaptar el diámetro exterior de la pieza al de la matriz, como en el caso de una embutición directa o normal.



Ejemplos de formas obtenidas por embutición invertida



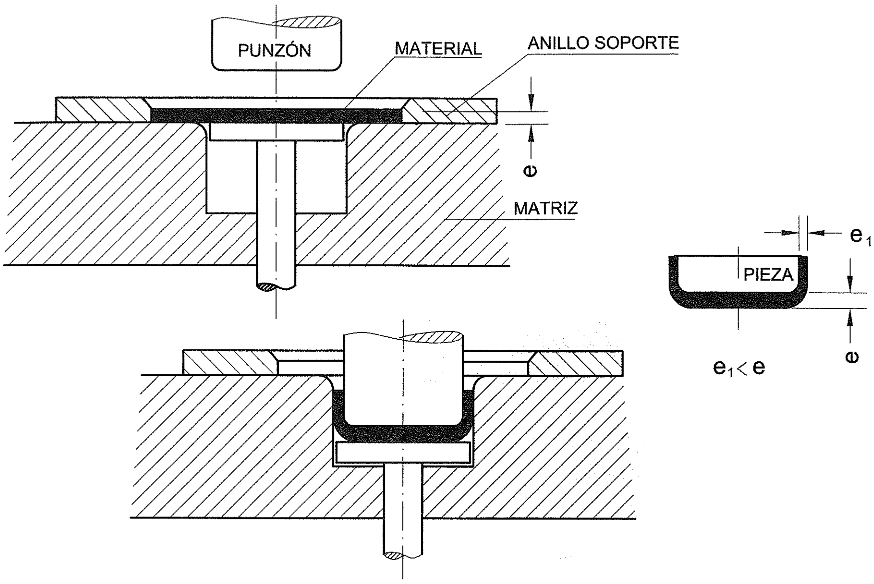
En el esquema anterior el punzón es móvil; no obstante, se pueden diseñar útiles de embutición con punzón fijo y matriz móvil.



11. EMBUTICIÓN POR ESTIRADO

La embutición por estirado tiene por objeto conseguir piezas con paredes de menor espesor que el de la chapa de partida; en cambio, el fondo conserva el mismo espesor.

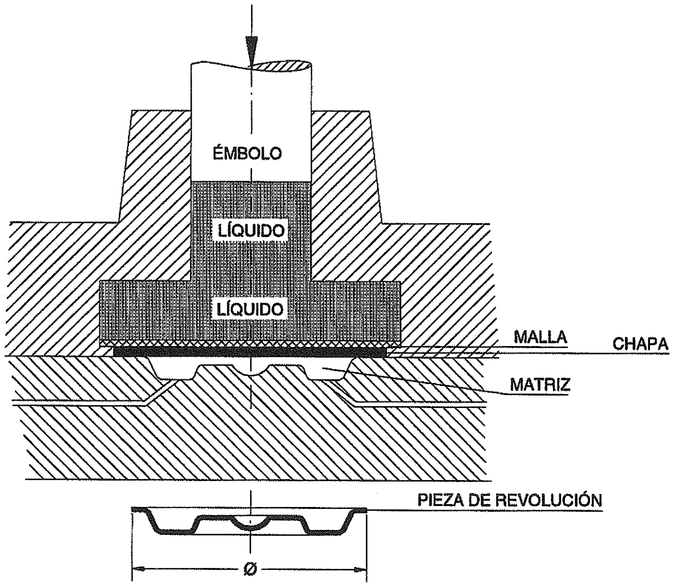
En la embutición por estirado se produce una laminación entre la matriz y el punzón en la parte lateral; por lo cual no es necesario emplear sujetachapa, al no existir el riesgo de producirse arrugas o pliegues del material.



12. EMBUTICIÓN MEDIANTE FLUIDOS

Aprovechando la propiedad de los fluidos líquidos de incompresibilidad, en la práctica, y el principio de Pascal, referido a que la presión ejercida en un líquido que encerrado herméticamente se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre iguales superficies -actuando las fuerzas perpendicularmente a las paredes del recipiente-, se puede prescindir del punzón o de la matriz y aplicar una presión al líquido mediante un émbolo, de forma que, colocando un elemento elástico, a modo de membrana, obligue al material a adaptarse a la matriz o al punzón, según de lo que se haya prescindido.

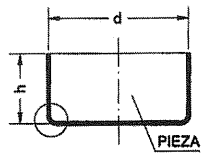
Ejemplo de adaptación a la matriz:



13. EMBUTICIÓN PROFUNDA

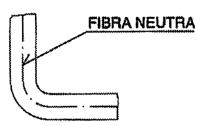
No siempre se pueden conseguir piezas embutidas en una sola operación. Es importante establecer la relación que existe entre el diámetro y la profundidad que se desea obtener. En chapas de acero en bajo contenido de carbono, se admite, en la práctica, que, con una sola operación, se consiguen recipientes cilíndricos de profundidad máxima igual a la mitad del diámetro medio de la pieza, en el caso de piezas relativamente pequeñas; en piezas grandes, el límite máximo de profundidad de embutición es, aproximadamente, un tercio del diámetro de la pieza. Para conseguir mayores profundidades, se realizan tantas operaciones como veces sea mayor el límite indicado.

La razón por la que no es posible obtener piezas profundas en una sola operación es para evitar roturas entre la pared lateral y el fondo, debido al gran esfuerzo que hay que realizar en el punzón cuyo diámetro es muy pequeño.



En piezas pequeñas:

$$K = \frac{1}{2} \qquad \Rightarrow \qquad h = \frac{1}{2} d$$



En piezas grandes:

$$K = \frac{1}{3} \qquad \Rightarrow \qquad h = \frac{1}{3} d$$

NOTA: Las cotas de altura y diámetro están referidas a la fibra neutra.

Cálculo del número de pasadas: $N=\dfrac{h}{K.d}$

<u>Proceso de cálculo de piezas pequeñas y de gran tamaño</u>:

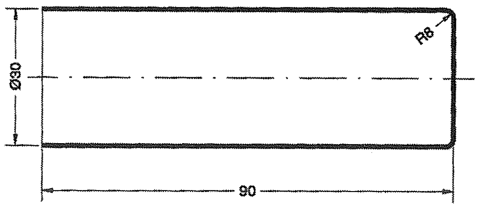
Diámetro de la chapa de partida (D): $D=\sqrt{d^2+4.d.h-R}$ despreciando "R"

$$D=\sqrt{d^2+4.d.h} \quad \Rightarrow \quad D^2=d^2+4.d.h$$

Nº de pasada	Piezas pequeñas		Piezas de gran tamaño	
Primera	$h_1=\frac{1}{2}d_1$	$d_1=\frac{\sqrt{3}}{3}D$	$h_1=\frac{1}{3}d_1$	$d_1=\sqrt{\frac{3}{7}}D$
Segunda	$h_2=2\frac{1}{2}d_2=d_2$	$d_2=\frac{\sqrt{5}}{5}D$	$h_2=2\frac{1}{3}d_2=\frac{2}{3}d_2$	$d_2=\sqrt{\frac{3}{11}}D$
Tercera	$h_3=3\frac{1}{2}d_3=\frac{3}{2}d_3$	$d_3=\frac{\sqrt{7}}{7}D$	$h_3=3\frac{1}{3}d_3=d_3$	$d_3=\frac{\sqrt{5}}{5}D$
Cuarta	$h_4=4\frac{1}{2}d_4=2d_4$	$d_4=\frac{1}{3}D$	$h_4=4\frac{1}{3}d_4=\frac{4}{3}d_4$	$d_4=\sqrt{\frac{3}{19}}D$
Quinta	$h_5=5\frac{1}{2}d_5=\frac{5}{2}d_5$	$d_5=\frac{\sqrt{11}}{11}D$	$h_5=5\frac{1}{3}d_5=\frac{5}{3}d_5$	$d_5=\sqrt{\frac{3}{23}}D$
Sexta	$h_6=6\frac{1}{2}d_6=3d_6$	$d_6=\frac{\sqrt{13}}{13}D$	$h_6=6\frac{1}{3}d_6=2d_6$	$d_6=\frac{1}{3}D$
Séptima	$h_7=7\frac{1}{2}d_7=\frac{7}{2}d_7$	$d_7=\frac{\sqrt{15}}{15}D$	$h_7=7\frac{1}{3}d_7=\frac{7}{3}d_7$	$d_7=\sqrt{\frac{3}{31}}D$
Octava	$h_8=8\frac{1}{2}d_8=4d_8$	$d_8=\frac{\sqrt{17}}{17}D$	$h_8=8\frac{1}{3}d_8=\frac{8}{3}d_8$	$d_8=\sqrt{\frac{3}{35}}D$
Novena	$h_9=9\frac{1}{2}d_9=\frac{9}{2}d_9$	$d_9=\frac{\sqrt{19}}{19}D$	$h_9=9\frac{1}{3}d_9=3d_9$	$d_9=\frac{\sqrt{13}}{13}D$
Décima	$h_{10}=10\frac{1}{2}d_{10}=5d_9$	$d_{10}=\frac{\sqrt{21}}{21}D$	$h_{10}=10\frac{1}{3}d_{10}=\frac{10}{3}d_{10}$	$d_{10}=\sqrt{\frac{3}{43}}D$

Ejercicio:

Calcular el número de pasadas necesarias y los sucesivos diámetros y alturas de cada fase para embutir la pieza de la figura; se considera pieza pequeña y de acero, en bajo contenido de carbono.

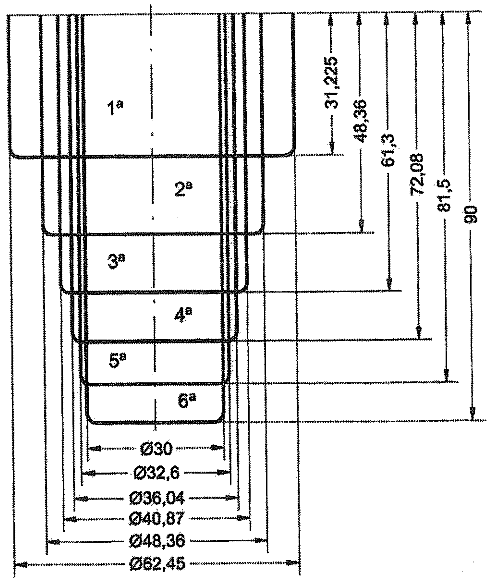


Datos: H=90 d=30 R=8

Número de pasadas: $N = \dfrac{90}{\frac{1}{2}.30} = 6$

Diámetro de la chapa de partida: $D = \sqrt{d^2 + 4.d.h - R} = \sqrt{30^2 + 4.30.90 - 8} = 108{,}13$

Nº de pasada	Valores de d_n	Valores de h_n
Primera	$d_1 = \dfrac{\sqrt{3}}{3} D = 62{,}45$	$h_1 = \dfrac{1}{2} d_1 = 31{,}225$
Segunda	$d_2 = \dfrac{\sqrt{5}}{5} D = 48{,}36$	$h_2 = d_2 = 48{,}36$
Tercera	$d_3 = \dfrac{\sqrt{7}}{7} D = 40{,}87$	$h_3 = \dfrac{3}{2} d_3 = 61{,}3$
Cuarta	$d_1 = \dfrac{1}{3} D = 36{,}04$	$h_4 = 2d_4 = 72{,}08$
Quinta	$d_5 = \dfrac{\sqrt{11}}{11} D = 32{,}6$	$h_5 = \dfrac{5}{2} d_5 = 81{,}5$
Sexta	$d_6 = \dfrac{\sqrt{13}}{13} D = 29{,}8998 \cong 30$	$h_6 = 3d_6 = 90$



14. EMBUTICIONES PROGRESIVAS

Cuando se trata de embuticiones profundas que necesitan varias operaciones para el conformado final, se recurre a construir útiles compuestos de varios pares de punzón-matriz, igual al número de operaciones. De esta forma, con una sola acción, se realizan todas las operaciones de forma progresiva. Incluso, se puede añadir al útil un conjunto cortador que complete la operación.

Esquema de un útil de embutición progresiva y corte