



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

**Conocimientos Prácticos de los
Herramientales de Embutido**

Ing. Koyu Shimizu

Japan International Cooperation Agency

Anexo de referencia

Teoría de transformación del embutido

1-1 Teoría de transformación del embutido

1-1-1 Proceso de embutido y cambio de espesor del material

El embutido se puede clasificar en embutido cilíndrico, rectangular e irregular por la figura del producto. Cada uno de estos 3 tipos de embutido tiene condiciones características de transformación, sin embargo existen muchos problemas básicos en común. A continuación, se mencionarán diversos temas básicos del embutido.

El flujo del material (deformación plástica) de los productos embutidos cuyas formas son irregulares es sumamente complejo. Embutir un vaso es el embutido más sencillo y es adecuado para explicar con claridad la teoría del embutido, por consiguiente se explicará sobre dicho embutido cilíndrico que se llama el embutido de vaso.

La silueta para un vaso es circular como se muestra en la Figura 1.1 y la hora de embutir esta silueta en la forma de vaso, la orilla de la silueta se fluye hacia el centro de la misma por tanto su contorno se queda corto. A partir de este fenómeno se supone que la lámina recibe la fuerza de compresión.

El embutido se realiza en los procesos señalados a continuación, tomando como ejemplo el caso más sencillo de embutir un recipiente cilíndrico a partir de una silueta circular (véase la Figura 1.2)

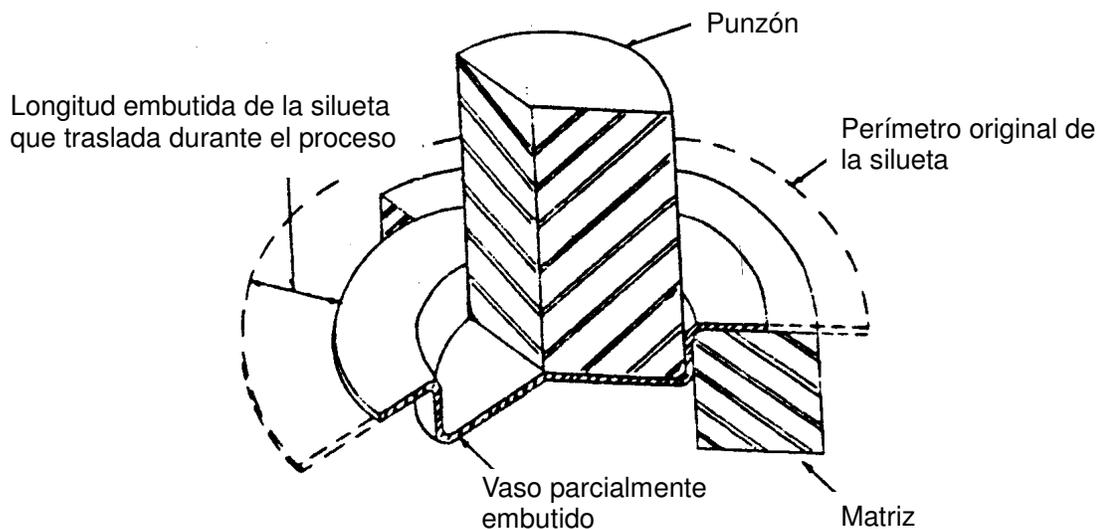


Figura 1.1: Procesos del embutido de vaso

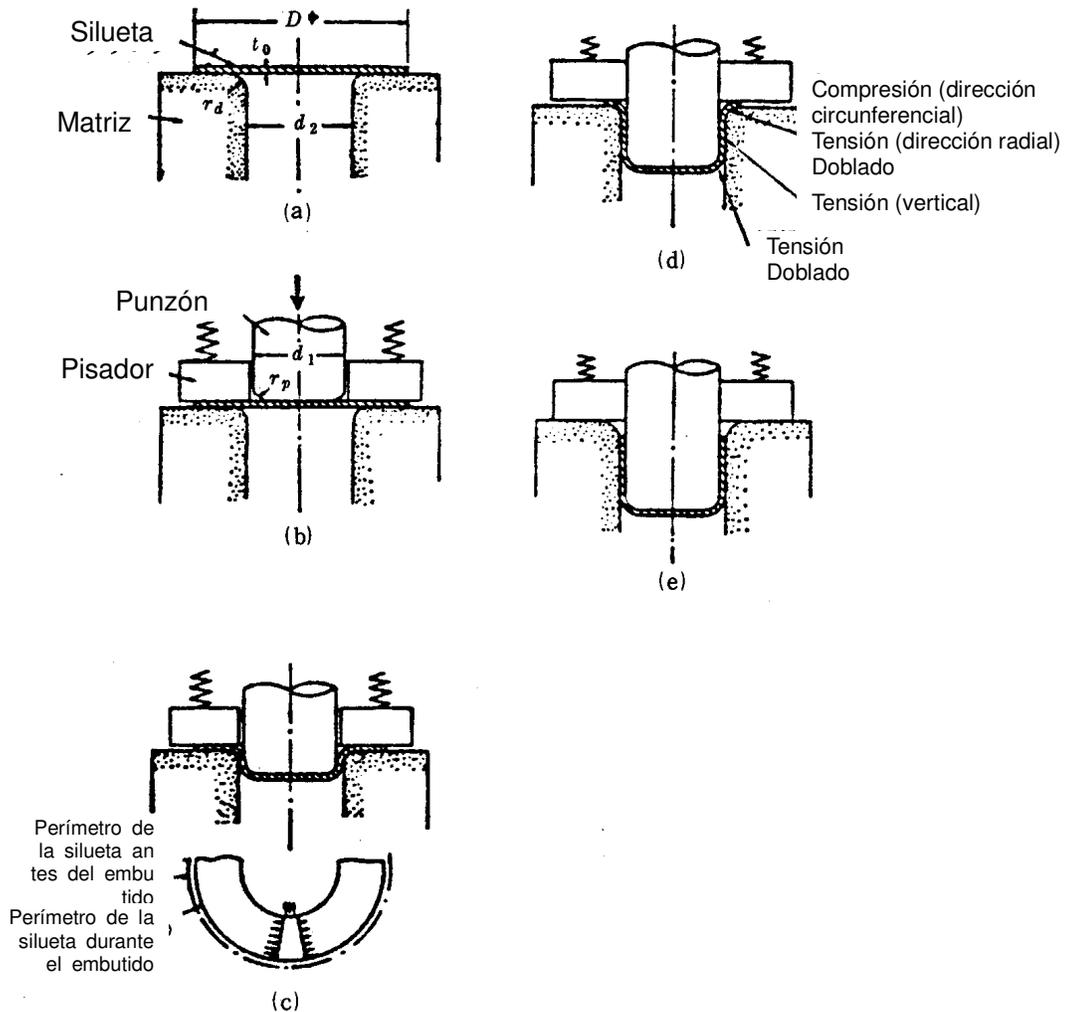


Figura1.2: Orden del embutido

- (1) Se coloca una silueta circular con espesor t_0 y diámetro D sobre la superficie de la matriz que tiene un barreno con el diámetro d_2 . Normalmente, en la boca del barreno de la matriz está aplicado un radio r_d (Figura a).
- (2) Se inserta el punzón con el diámetro d_1 en la dirección del eje. El extremo del punzón tiene el radio r_p . Este mismo radio queda como el radio del fondo del producto terminado (Figura b).
- (3) Conforme el punzón se inserta en la matriz, se embute la parte central de la silueta gradualmente y al mismo tiempo el perímetro de la silueta se desliza sobre la superficie de la matriz y se traslada hacia el interior del barreno.
- (4) Cuando se encoge la circunferencia de la silueta se genera la fuerza de

compresión en la dirección de la circunferencia de la silueta, y así provoca el pandeo que produce arrugas con frecuencia. Se sujeta la silueta con el pisador para evitar este fenómeno (Figura c).

- (5) En el momento de que se embute la silueta, se comprime en la dirección de la circunferencia y se dobla recibiendo la tensión en la dirección radial simultáneamente en la boca del barreno de la matriz r_d . Posteriormente, se dobla a la dirección contraria (a la dirección original) al pasar por dicha parte. De igual manera la parte que tiene contacto con la cabeza del punzón recibe la tensión, sobre todo la parte r_p es la que recibe la mayor fuerza del doblado. La parte entre r_d y r_p que corresponde a la pared lateral del recipiente está estirada verticalmente (Figura d).
- (6) Así la silueta avanza gradualmente hacia dentro del barreno de la matriz recibiendo diversas fuerzas y deformándose. Si la fuerza de deformación del material resiste al esfuerzo que se genera durante este proceso, se aumenta la magnitud de deformación y se completa la forma final del embutido (Figura e).

El punzón aplica la presión al fondo del vaso durante el embutido y la lámina entre el fondo y la pared del vaso se estira considerablemente. En la Figura 1.3 se muestra la fuerza aplicada durante el embutido del vaso. El área cercana al perímetro de la silueta pretende incrementar su espesor recibiendo la fuerza de compresión.

La variación del espesor de cada parte del material está relacionada al flujo del material. Se señala el cambio estándar del espesor de la pared del vaso en la Figura 1.4 y 1.5. El vaso con el fondo esférico tiene el espesor de la pared más delgado. Entre más grueso sea el espesor del material en el punto donde recibe la máxima tensión, se puede decir que se ha generado menor esfuerzo en la lámina. Por consiguiente, se observa con claridad la condición del embutido mediante la medición minuciosa del espesor de la pared. En caso del vaso cuyo fondo es plano, no se observa ningún cambio del espesor en el fondo del producto. Esto señala que el esfuerzo generado en dicha parte es mínimo y no puede provocar la deformación permanente en la lámina.

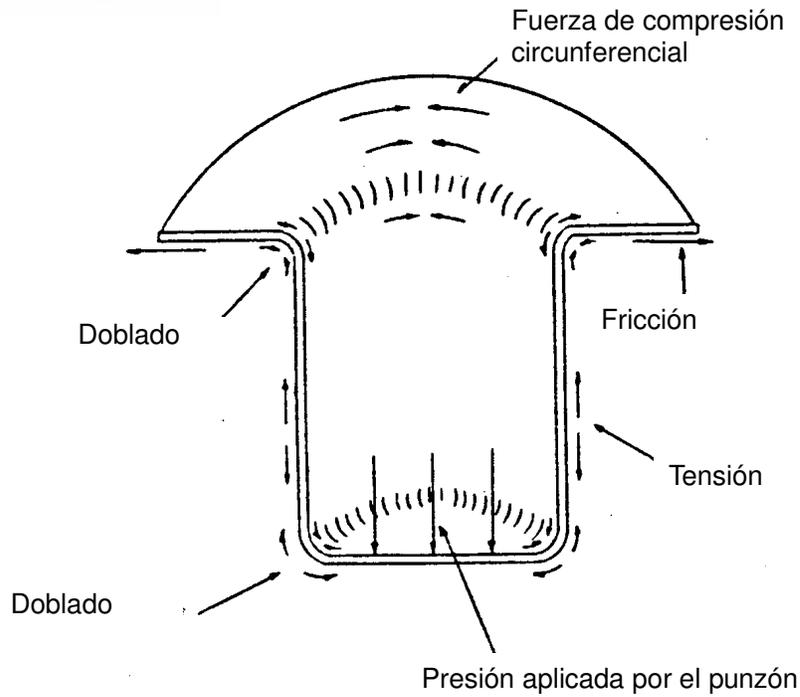


Figura 1.3: Fuerza aplicada durante el embutido

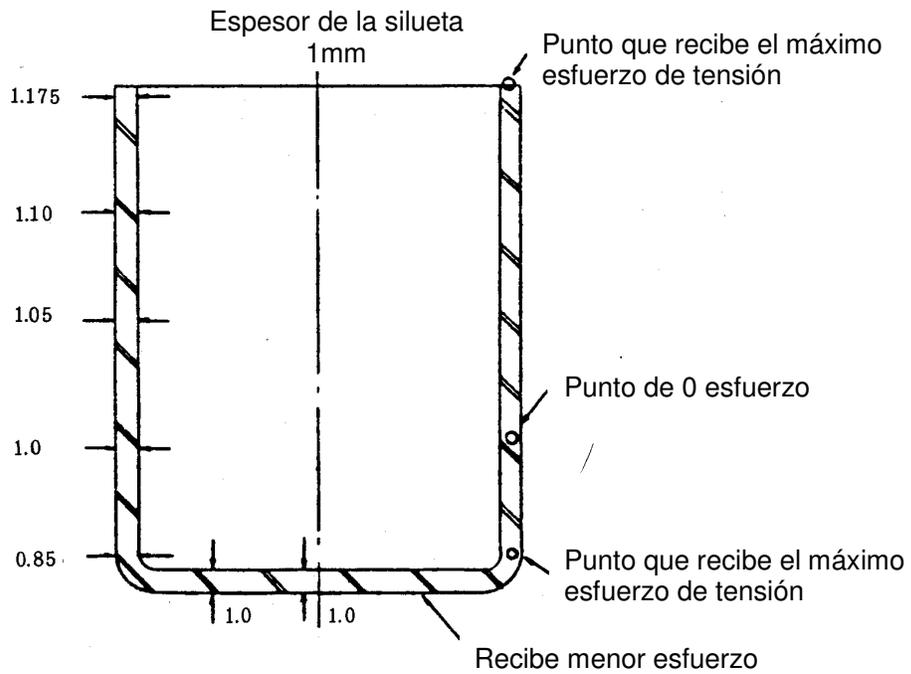


Figura 1.4: Variación del espesor del material en caso del embutido de vaso con fondo plano

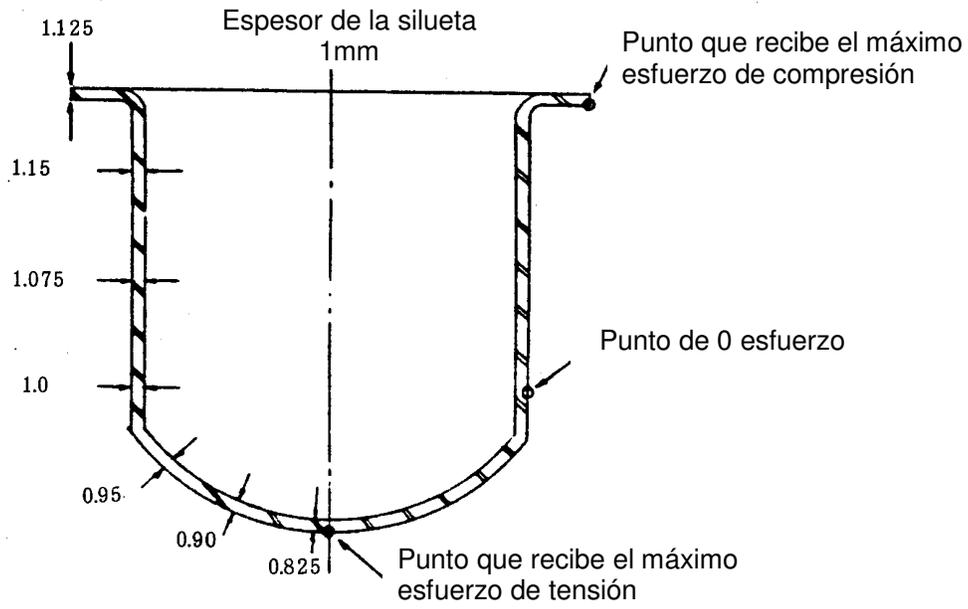


Figura 1.5: Variación del espesor del material en caso del embutido de vaso esférico

Índice

1.	Estudio del proceso de embutido	2
1.1	Cálculo de la dimensión de la silueta.....	2
1.2	Tasa límite de embutido y tasa de reembutido.....	3
2.	Establecimiento del proceso y diferentes cálculos.....	7
2.1	Altura del embutido.....	7
2.2	Radio del hombro del punzón	8
2.3	Radio del hombro de la matriz	9
2.4	Claro entre el punzón y la matriz	10
2.5	Planchado (ironing)	10
2.6	Pisador	11
	(1) Tipo de pisadores	11
	(2) Presión del pisador.....	12
2.7	Fuerza del embutido.....	13
2.8	Carga de trabajo necesaria para el embutido	14
3.	Estructura básica del herramental del embutido.....	15
(1)	Herramental del embutido sin pisador (Tipo caída libre)	15
(2)	Herramental del embutido sin pisador (Tipo levantamiento)	16
(3)	Herramental del embutido con pisador (Herramental inferior con el pisador móvil)	17
(4)	Herramental del embutido con pisador (Herramental superior con el pisador móvil, tipo caída libre)	18
(5)	Troquel con herramental de embutido	19
(6)	Herramental de reembutido sin pisador (Tipo caída libre).....	20
(7)	Herramental de reembutido con pisador	21
(8)	Herramental de reembutido invertido sin pisador (Tipo caída libre)	22
(9)	Herramental de reembutido invertido sin pisador (Tipo levantamiento).....	23
(10)	Herramental de reembutido invertido con pisador	23
(11)	Herramental de embutido de doble acción para piezas grandes en forma irregular	24
	Anexo de referencia: JIS B5011-1955	
	Mecanismo de expulsión para herramental de estampado y troquelado	25

1. Análisis del proceso de embutido
 - 1.1 Cálculo de la dimensión de la silueta

De acuerdo con el plano del producto a embutir, se calcula la dimensión de la silueta, es decir el tamaño del material necesario para obtener el producto. Por lo general, después del proceso de embutido, se cortan orillas o cejas, o bien se realiza el recorte. Este margen del recorte debe ser considerado en el momento del cálculo de la dimensión de la silueta.

La idea básica de la dimensión de la silueta consiste en que la superficie de la silueta debe equivaler a la del producto procesado, o bien el peso de ambos debe ser igual.

La dimensión de la silueta obtenida a partir del cálculo no siempre es adecuada. Es recomendable considerar los datos de los productos similares que hayan trabajado con anterioridad y efectuar la operación del embutido en forma física para determinar la dimensión final de la silueta.

- (1) Dimensión de la silueta para embutido cilíndrico

En caso del embutido cilíndrico, se obtiene la superficie "A" del producto embutido a partir de su forma.

A partir de este valor se calcula el D (diámetro) de la silueta.

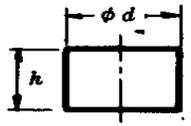
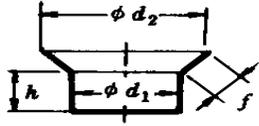
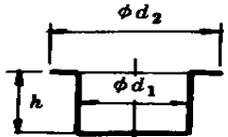
Superficie del círculo: $A = \pi D^2 / 4$

Después de la conversión: Diámetro de la silueta: $D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$

Perímetro: πD

Cuando la altura se señala con "h", el área de la circunferencia es de πDh

Tabla 1.1 Cómo obtener la superficie y el diámetro de la silueta de un producto embutido cilíndrico

Forma del producto embutido	Fórmula de la dimensión de la silueta Nota: A: Área superficial del producto D: Diámetro de la silueta
	$A = \frac{\pi d^2}{4} + \pi d h$ $D = \sqrt{d^2 + 4 d h}$
	$A = \frac{\pi d_2^2}{4} + \pi d_1 h + \pi f \frac{d_1 + d_2}{2}$ $D = \sqrt{d_1^2 + 4 d_1 h + 2 f (d_1 + d_2)}$
	$A = \frac{\pi d_1^2}{4} + \pi d_1 h + \frac{\pi}{4} (d_2^2 - d_1^2)$ $D = \sqrt{d_2^2 + 4 d_1 h}$

(2) Dimensión de la silueta para embutido rectangular

La dimensión de la silueta para el embutido rectangular se analiza separando la zona curva y la zona recta. Para la zona curva se aplica la idea del embutido cilíndrico. En cuanto a la zona recta, se utiliza el plano desarrollado del doblado para obtener la dimensión de la silueta.

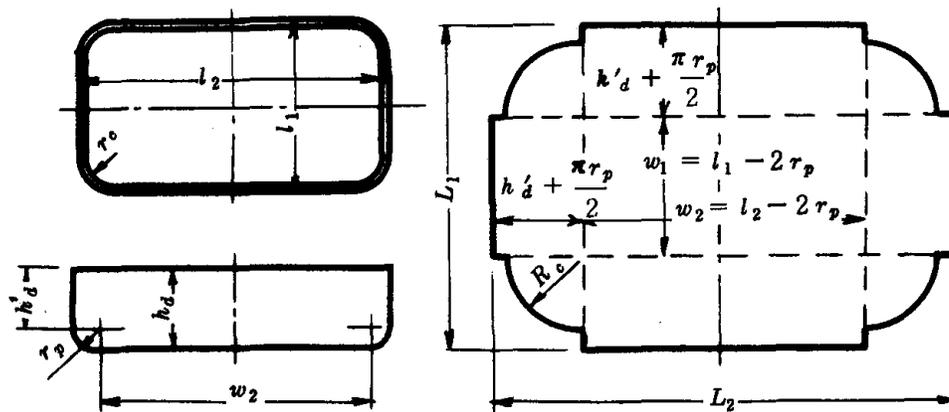


Figura 1.1 Dimensión de la silueta para embutido rectangular

1.2 Tasa límite del embutido y tasa del reembutido

En una operación de embutido básicamente se transforma una silueta circular en una pieza cilíndrica. La tasa límite del embutido es la proporción entre el diámetro “d” del producto embutido y el diámetro “D” de la silueta que permite procesar el embutido sin ocasionarle al producto ruptura durante el proceso. La tasa de embutido se señala como: $m=d/D$ expresado en porcentaje o en decimal. Asimismo, en algunas ocasiones se aplica la recíproca de este valor, es decir D/d como relación de embutido.

Si bien la tasa de embutido puede ser influida por; el tipo y espesor del material, la dimensión del punzón y de diferentes zonas de la matriz, el grado de acabado, el lubricante, la presión del pisador, el tipo de prensa, la velocidad del embutido, etc., en la tabla 1.2 se señalan los valores considerados normalmente apropiados.

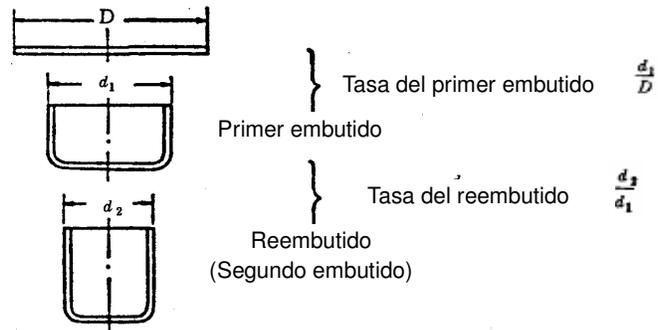


Figura 1.2 Tasa del embutido

Tabla 1.2 Tasa del embutido según diferentes fuentes de información

Material	Estampado por el Editorial Komine	Press Handbook Manual del trabajo de precisión: Proceso de Estampado Actualizado		Práctica de las técnicas "Estampado" por Sato	Die Design & Die naking practic	"Teoría del estampado y trabajo en el piso" por Arai	Manual de materiales industriales	Manual de estampado
		Kacz-marck	Schuler					
Acero para embutido	60~65		60~65	60~65				
Acero para embutido profundo	55~60	35~60	55~60	55~60		45~54		55~60
Lámina de acero (kg/mm ²)	55~60		55~60		55~60		45	
Acero inoxidable	50~55		50~55					50~55
Lámina de estaño	58~65		58~65	58~65				58~65
Cobre	55~60	53~60	55~60	54~60	55~60	40~48	45	55~60
Zinc	65~70	65~70	65~70		65	63~68	60	65~70
Aluminio maleable (Para embutido profundo)		53~60	53~60	53~60	55~60	55~60	47	53~60
Duraluminio		55~60	55~60					55~60
Latón	50~55	50~55	50~55	50~55	55~60	40~48	44	50~55

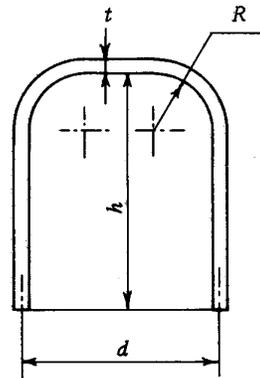
Por lo general, la tasa de embutido se determina por tipo de material. Mientras más disminuye la proporción del espesor de la lámina con respecto a la dimensión de la silueta, más se dificulta la operación de embutido, por lo tanto, como se señala en la tabla 1.3, se utiliza la tasa de embutido estándar de cada proceso, la cual tiene considerado el t/D.

Tabla 1.3 Tasa del embutido (tiene considerado el t/D)

Tasa de embutido	Espesor relativo del producto					
	2 ~ 1.5	1.5 ~ 1.0	1.0 ~ 0.6	0.6 ~ 0.3	0.3 ~ 0.15	0.15 ~ 0.08
m ₁	0.48 ~ 0.50	0.50 ~ 0.52	0.53 ~ 0.55	0.55 ~ 0.58	0.58 ~ 0.65	0.60 ~ 0.63
m ₂	0.73 ~ 0.75	0.75 ~ 0.76	0.76 ~ 0.78	0.78 ~ 0.79	0.79 ~ 0.80	0.80 ~ 0.82
m ₃	0.76 ~ 0.88	0.78 ~ 0.79	0.79 ~ 0.80	0.80 ~ 0.81	0.81 ~ 0.82	0.82 ~ 0.84
m ₄	0.78 ~ 0.80	0.80 ~ 0.81	0.81 ~ 0.82	0.82 ~ 0.83	0.83 ~ 0.85	0.85 ~ 0.86
m ₅	0.80 ~ 0.82	0.82 ~ 0.84	0.85 ~ 0.85	0.85 ~ 0.86	0.86 ~ 0.87	0.87 ~ 0.88

- (Nota)
1. Se aplica para la forma cilíndrica sin pestaña
 2. Los valores menores se aplican cuando R/t (o r/t)=8 a 15 y los valores mayores se aplican cuando R/t (o r/t)=4 a 8. R: Radio de la matriz, r: Radio del punzón
 3. Esta tabla es apropiada para las láminas de acero dulce con c=0.8, c=1.0 y/o c=1.5 destinadas al proceso de embutido profundo, así como para las láminas de latón.
 4. Fuente: el "Manual de prensa" por Romanowsky.

En la figura 1.3, se señala el número aproximado de procesos que se requiere para el trabajo de embutido, de acuerdo con la proporción entre la altura y el diámetro del producto embutido.



d= Diámetro del embutido
h= Altura del embutido

En caso de $R \geq 4 t$

Núm. procesos

	h/d
1	<0.75
2	0.7~1.5
3	1.5~3.0
4	3.0~4.7

Figura 1.3 Cálculo del número aproximado de procesos para el embutido

Embutido con pestaña ancha

En caso de embutir una pieza con una pestaña ancha en comparación con el diámetro del producto, se da una tasa de embutido crítica aun para un embutido de poca profundidad. Por lo tanto es difícil realizar el trabajo en una sola operación, siendo necesario repetir varias veces el proceso de embutido.

En la figura 1.4 se muestran dos maneras de procesos de reembutido.

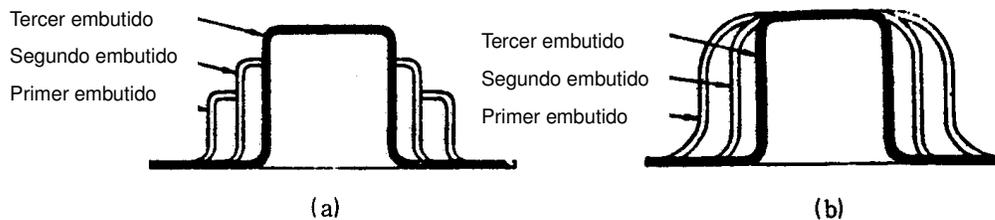


Figura 1.4 Embutido de la pieza con pestaña ancha

Embutido en forma de cono truncado

En el embutido de piezas en forma de cono truncado, al aplicar una mayor fuerza de embutido, empleando un punzón de pequeño diámetro en su punta, puede ocasionarse una ruptura durante la transformación. Asimismo, al inicio de la transformación, como existe un área amplia libre de sujeción entre el punzón y la matriz, suelen presentarse arrugas. Por lo tanto, en este caso las condiciones son mucho más severas para la operación que las de embutido cilíndrico ordinario. En la figura 1.5 se señalan las normas del embutido en forma de cono truncado. En caso del embutido en cono truncado profundo, se necesita repetir varios procesos de embutido.

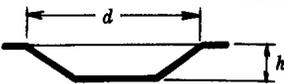
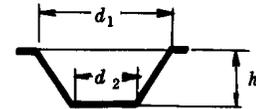
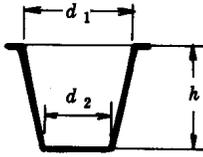
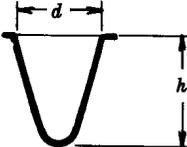
Forma	Croquis	Transformabilidad
Muy poca profundidad $h \leq (0.25 \sim 0.3) d$		Normalmente se requiere sólo un proceso.
La profundidad equivale aprox. a 1/2 del diámetro máximo $h = (0.4 \sim 0.55) d_1$		Normalmente se requiere sólo un proceso. Se puede aplicar la tasa de embutido correspondiente al embutido cilíndrico de diámetro medio.
Mayor profundidad con menor diferencia entre d1 v d2 $h = (0.8 \sim 1.5) d_1$		No se puede realizar el trabajo en un proceso. Suelen quedar las marcas de cada proceso de embutido en la zona lateral.
Cono circular profundo en forma ahusada		La transformación es extremadamente difícil y se requieren varios procesos.

Figura 1.5 Condiciones del embutido en forma de cono truncado

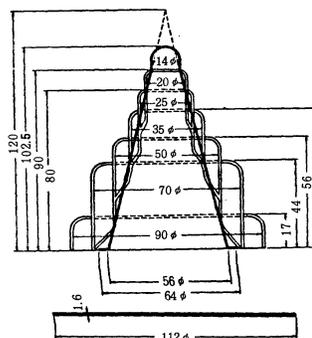


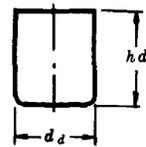
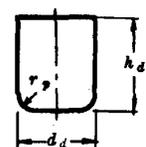
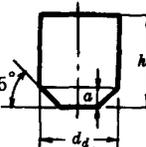
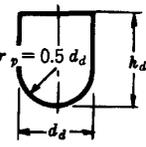
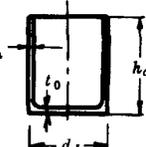
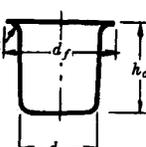
Figura 1.6 Proceso de embutido en forma de cono truncado

2. Establecimiento del proceso y diferentes cálculos

2.1 Altura del embutido

Una vez que se definen la dimensión de la silueta, el número de procesos y el diámetro del embutido en cada uno de los procesos, se determina la altura de embutido.

Tabla 2.1 Altura del producto embutido

Forma del producto	Núm. de proceso	Fórmulas
Forma cilíndrica y el fondo plano 	1	$h_{d1} = 0.25 (D_b Z_1 - d_{d1})$
	2	$h_{d2} = h_{d1} Z_2 + 0.25 (d_{d1} Z_2 - d_{d2})$
Forma cilíndrica y el fondo curvo 	1	$h_{d1} = 0.25 (D_b Z_1 - d_1) + 0.43$
	2	$h_{d2} = 0.25 (D_b Z_1 Z_2 - d_{d2}) + 0.43 \frac{r_{p2}}{d_{d2}} (d_{d2} + 0.32 r_{p2})$ En caso de $r_{p1} = r_{p2} = r_p$, $h_{d2} = h_{d1} Z_2 + 0.25 (d_{d1} Z_2 - d_{d2}) - 0.43 \frac{r_p}{d_{d2}} (d_{d1} - d_{d2})$
Forma cilíndrica y el fondo en forma de como truncado 	1	$h_{d1} = 0.25 (D_b Z_1 - d_1) + 0.57 \frac{a_1}{d_{d1}} (d_{d1} + 0.86 a_1)$
	2	$h_{d2} = 0.25 (D_b Z_1 Z_2 - d_{d2}) + 0.57 \frac{a_1}{d_{d1}} (d_{d1} + 0.86 a_1)$ En caso de $a_1 = a_2 = a$, $h_{d2} = h_{d1} Z_1 + 0.25 (d_{d1} Z_2 - d_{d2}) - 0.57 \frac{a}{d_{d2}} (d_{d1} - d_{d2})$
Forma cilíndrica y con el fondo en forma esférico 	1	$h_{d1} = 0.25 D_b Z_1$
	2	$h_{d2} = 0.25 D_b Z_1 Z_2$ $= h_{d1} Z_2$
Forma cilíndrica y planchada 	1	$h_{d1} = 0.25 (D_b Z_1 - d_1) \frac{t_0}{t_1} + t_0$
	2	$h_{d2} = 0.25 (D_b Z_1 Z_2 - d_2) \frac{t_0}{t_2} + t_0$
Forma cilíndrica con pestaña 	1	$h_{d1} = 0.25 (D_b Z_1 - \frac{d_f^2}{d_{d1}} + 3.44 r_{d1})$
	2	$h_{d2} = 0.25 (D_b Z_1 Z_2 - \frac{d_f^2}{d_{d2}} + 3.44 r_{d2})$

D_b : Diámetro de la silueta circular (mm)

d_{d1}, d_{d2} : Diámetro de la matriz en el 1^{er} y 2^o proceso del embutido (mm)

Z_1, Z_2 : Tasa de embutido en el 1^{er} y 2^o proceso del embutido

r_{p1}, r_{p2} : Radio del ángulo del punzón en el 1^{er} y 2^o proceso del embutido (mm)

r_{d1}, r_{d2} : Radio del ángulo de la matriz en el 1^{er} y 2^o proceso del embutido (mm)

h_{d1}, h_{d2} : Altura del embutido en el 1^{er} y 2^o proceso del embutido (mm)

t_0 : Espesor inicial de la silueta (mm)

t_1, t_2 : Espesor de la pared lateral en cada proceso del planchado (mm)

2.2 Radio del hombro del punzón “r_p”

Para obtener la mayor profundidad en un solo proceso del embutido, el radio del hombro del punzón “r_p” debe ser 4 veces o mayor el espesor de la lámina. Sin embargo, si el valor r_p es demasiado grande, se incrementa el área de la lámina que queda fuera de la restricción del herramental durante el proceso del embutido, lo cual puede ocasionar arrugas con mayor facilidad. Por lo general, el r_p se establece igual o menor al radio del hombro de la matriz r_d.

$$(4 \text{ a } 6) t \leq r_p \leq \frac{d}{3} \quad \text{ó } (10 \text{ a } 20) t$$

En caso de un embutido profundo que requiere varios procesos, el r_p disminuye gradualmente conforme avanza el proceso para minimizar la reducción del espesor de la lámina en la zona donde se da el contacto con el radio del hombro del punzón, de tal manera que el centro del r_p del proceso actual quede ligeramente en interior con respecto al diámetro exterior del proceso posterior.

Es recomendable que el r_p coincida en los procesos final y penúltimo, o bien el r_p del proceso penúltimo quede al exterior del r_p del proceso final. Se muestra esta relación en la figura 2.1

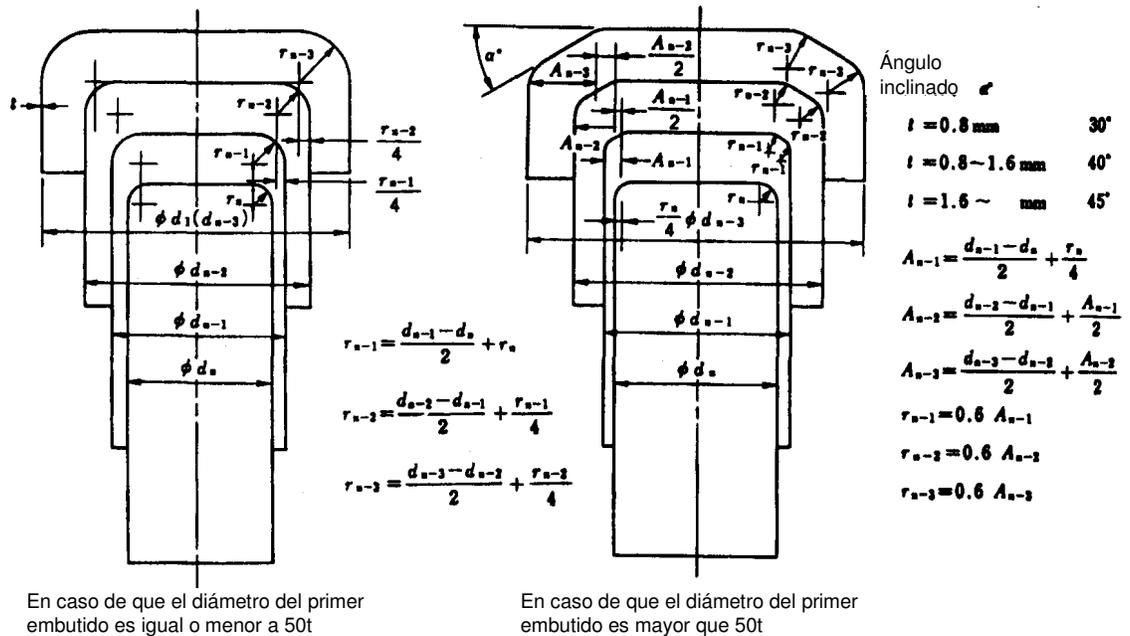


Figura 2.1 Radio del hombro del punzón en el embutido profundo de procesos múltiples

2.3 Radio del hombro de la matriz “ r_d ”

Mientras mayor es el radio del hombro de la matriz “ r_d ”, menor fuerza se requiere para el embutido, facilitando la transformación de piezas. Sin embargo, si dicho radio es extremadamente grande, se presenta una mayor área fuera de sujeción, lo cual se convierte en causa de arrugas.

Contrariamente, si el r_d es menor, se ejerce en el material un esfuerzo de doblado excedente además de una alta fuerza de doblado y de rebote que se generan en la zona, por lo que el material se endurece siendo difícil de embutirse. Si es demasiado pequeño el r_d , se incrementa la fuerza de embutido y se provoca ruptura en el material.

Por lo general, se aplica el siguiente rango para el r_d .

$$(4 \text{ a } 6) t \leq r_d \leq (10 \sim 20) t$$

Comúnmente, para el r_d se consideran 4 veces el espesor de la lámina y su valor final se determina a través de pruebas realizadas con pequeños radios. En la figura 2.2 se muestra la correlación entre el radio del hombro del punzón r_p y el radio del hombro de la matriz r_d .

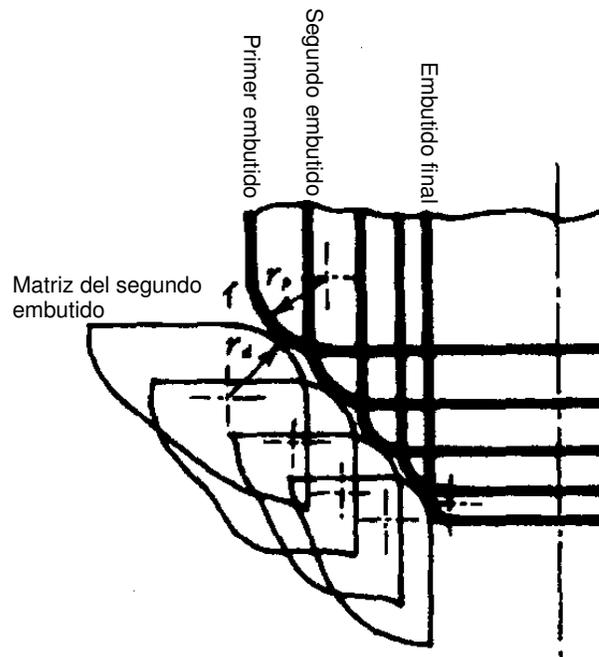


Figura 2.2 Correlación entre el radio del hombro del punzón r_p y el radio del hombro de la matriz r_d .

2.4 El claro entre el punzón y la matriz

La magnitud del claro que hay entre el punzón y la matriz tiene mucho que ver con la calidad del producto embutido. Si se establece un claro menor, se crea un proceso parecido al planchado durante el proceso de embutido. En este caso, aunque se requiere una mayor fuerza de embutido, se puede obtener un producto de buena calidad y alta precisión. Mientras tanto, al establecer un claro mayor, se genera una pequeña cantidad de arrugas o pandeo en la pared del producto, sin embargo disminuye el desgaste y agarrotamiento en el herramental.

En la tabla 2.2 se indica la magnitud del claro comúnmente aplicado. En muchos casos se les aplica cierto grado de planchado a las piezas, puesto que es común que se requiera un nivel de acabado superficial, cilíndricidad y circularidad,

Tabla 2.2 Claro del embutido

Embutido cilíndrico

Claro (C)	Sin planchado	$\pm(1.4\sim 2.0)t_0$
	Planchado ligero para eliminar arrugas pequeñas	$\pm(1.1\sim 1.3)t_0$
	Se requiere una pared lateral uniforme.	$\pm(0.9\sim 1.0)t_0$

2.5 Planchado (*ironing*)

Se llama planchado (*ironing*) a la técnica para realizar el embutido con una holgura menor al espesor de la lámina entre el punzón y la matriz haciendo disminuir el espesor de la pared de la pieza procesada. Esta técnica suele ser utilizada en combinación con las de embutido y/o reembutido para cuando se necesita un espesor uniforme en la pared de las piezas o cuando el diámetro interior o exterior de las piezas debe ser preciso, así como para producir piezas de fondo grueso y de pared delgada, tales como cartuchos y latas con sistema de apertura fácil (*pull top*).

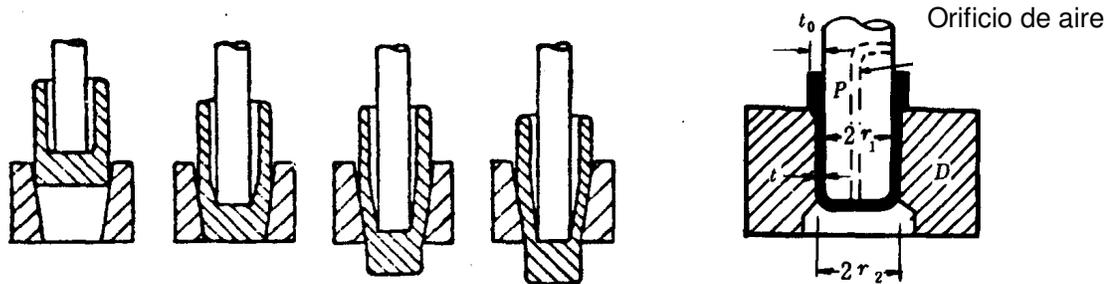


Figura 2.3 Ejemplos de la técnica de planchado

2.6 Pisador

(1) Tipo de pisadores

En caso de realizar el embutido con material del espesor grueso o embutir piezas de menor diámetro y de poca profundidad, por lo general, no hay mucho riesgo de ocasionar arrugas aún cuando se utiliza un herramental sencillo como se muestra la figura 2.4. Sin embargo, cuando se trabaja con un material de espesor delgado, o bien cuando se realiza el embutido profundo de mayor diámetro, los productos saldrán con arrugas en la pared y no servirán para nada.

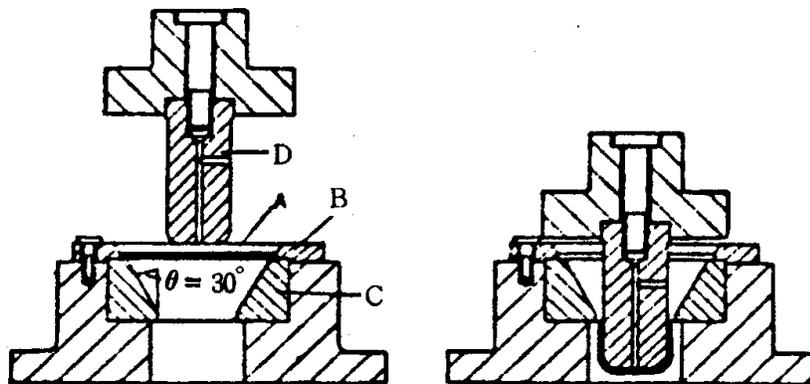


Figura 2.4 Embutido sin pisador de libre caída

Las arrugas generadas en el proceso de embutido profundo se dividen, en grandes rasgos, en arrugas de pestaña que se presentan en el área plana, y en arrugas en la parte principal. Para eliminar las arrugas en la pestaña, se utiliza el pisador o el freno.

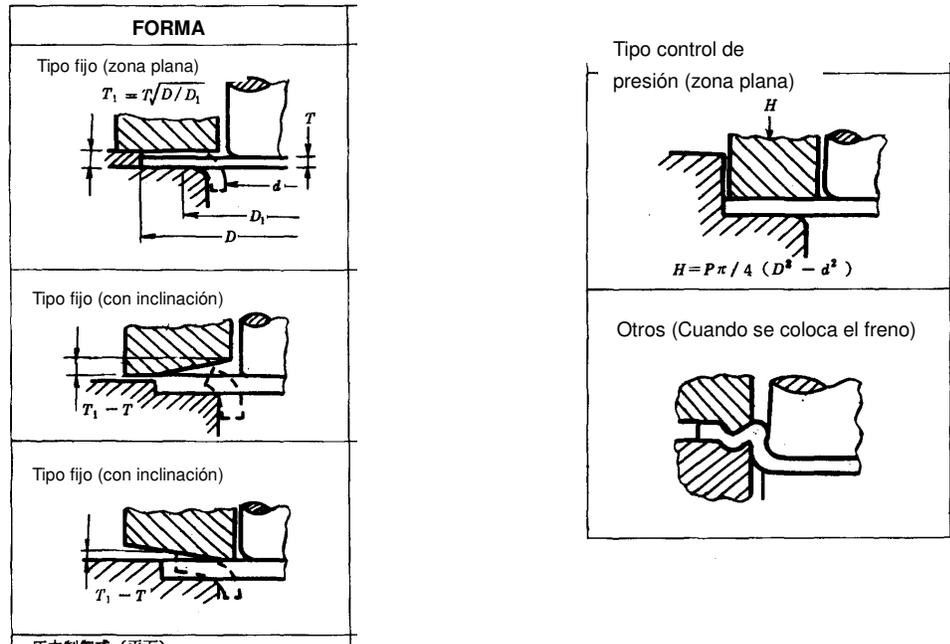


Figura 2.5 Tipo de pisadores

(2) Presión del pisador

Si la fuerza de sujeción es excesiva, se ocasiona una mayor fricción entre la silueta, la superficie del pisador y de la matriz, lo cual suele provocar fallas en el trabajo ya que se rompe el material debido al incremento de la fuerza de tensión que recibe la silueta en el sentido de su radio. Por esta razón, es recomendable que la presión del pisador sea mínima y suficiente para que no se ocasionen arrugas.

La presión mínima necesaria del pisador "H" se calcula mediante la siguiente ecuación:

δ_b : Fuerza de tensión del material (kg/mm^2), δ_y : Esfuerzo del material en el punto de fluencia (kg/mm^2), D: Diámetro del material (mm), t_0 : Espesor del material (mm), d_2 : Diámetro interior de la matriz (mm), r_d : Radio de la matriz (mm).

$$H = \left(\frac{\delta_b + \delta_y}{180} \right) \cdot D \cdot \left\{ \frac{(D - d_2 - 2r_d)}{t_0} - 8 \right\}$$

1/180 es el coeficiente que se aplica en caso de calcular la longitud en mm.

En la tabla 2.3, se señalan las condiciones aproximadas de la fuerza del pisador por área.

Tabla 2.3 Fuerza mínima necesaria del pisador por área

Material	Presión del pisador h_s (kg/mm ²)
Acero dulce	0.16 ~ 0.18
Acero inoxidable	0.18 ~ 0.20
Aluminio	0.03 ~ 0.07
Cobre	0.08 ~ 0.12
Latón	0.11 ~ 0.16

Aunque es muy difícil obtener la presión apropiada del pisador mediante cálculos, se utiliza la siguiente ecuación para tener un valor aproximado.

$$P_s = A \cdot h_s (\text{kg})$$

P_s Presión del pisador en el embutido cilíndrico (kg)

A Área del pisador que sujeta la silueta (mm²)

h_s Presión del pisador por área (kg/mm²)...Tabla 2.3

2.7 Fuerza de embutido

Fuerza de embutido cilíndrico

La fuerza de embutido es la fuerza que mete la silueta circular y plana hacia la cavidad circular de la matriz por medio del punzón, la cual es sostenida en la pared lateral cercana al fondo de la pieza a embutir. Por lo tanto, se presenta ruptura en dicha zona cuando el esfuerzo del material supera la fuerza de tensión. Por esta razón, para calcular la fuerza de embutido cilíndrico, se utiliza ampliamente la técnica en que se considera la fuerza que provoca la ruptura como la máxima fuerza de embutido. Sin embargo, en realidad, se hace el embutido sin que se presente la ruptura, por lo que se utiliza comúnmente la siguiente ecuación con un coeficiente de corrección que considera la tasa de embutido, así como la proporción entre el espesor del material y el diámetro de la silueta.

$$P = \pi \cdot d \cdot t \cdot \delta_b \cdot k_d (\text{kg})$$

P	.....	Fuerza de embutido (kg)
d	.....	Diámetro del punzón (mm)
t	.....	Espesor de la lámina (mm)
δ_b	.....	Fuerza de tensión del material (kg/mm ²)
k_d	.....	Coefficiente de corrección señalado en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Valores del coeficiente “ k_d ” (Acero dulce)

t / D_b ($\times 10^{-2}$)	D_b / t	Tasa del embutido d_p / D_b									
		0.45	0.48	0.50	0.52	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
5.0	20	0.95	0.85	0.75	0.65	0.60	0.50	0.43	0.35	0.28	0.20
2.0	50	1.10	1.00	0.90	0.80	0.75	0.60	0.50	0.42	0.35	0.25
1.2	83		1.10	1.00	0.90	0.80	0.68	0.56	0.47	0.37	0.30
0.8	125			1.10	1.00	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40	0.33
0.5	200				1.10	1.00	0.82	0.67	0.55	0.45	0.36
0.2	500					1.10	0.90	0.75	0.60	0.50	0.40
0.1	1000						1.10	0.90	0.75	0.60	0.50

Nota: Cuando el “ t ” es reducido, siendo equivalente aproximadamente a $r_d = (4 \text{ a } 6) t$, el valor del k_d será un 5% mayor al valor señalado en la tabla.

2.8 Carga de trabajo necesaria (energía) para el embutido.

Además de la fuerza de embutido, es necesario conocer la energía de trabajo requerida para el embutido, con la finalidad de no cometer errores en la selección de la prensa a utilizar. La energía de trabajo para el embutido se obtiene mediante la siguiente ecuación a partir de la fuerza de embutido, la presión del pisador y la profundidad del embutido.

$$E = (P + P_b)h \cdot C_d (\text{kg} \cdot \text{m})$$

E Energía de trabajo necesaria para el embutido (kg · m)

Tabla 2.5 Coeficiente de la energía de trabajo necesaria para el embutido “ C_d ”

Tasa de embutido	(d_p / D_b)	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
Relación de embutido	(D_b / d_p)	1.82	1.67	1.54	1.43	1.33	1.25
Embutido rectangular	(l_1 / L_1)	0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80
	C_d	0.80	0.77	0.74	0.70	0.67	0.66

Nota) l1: Lado corto del prisma rectangular

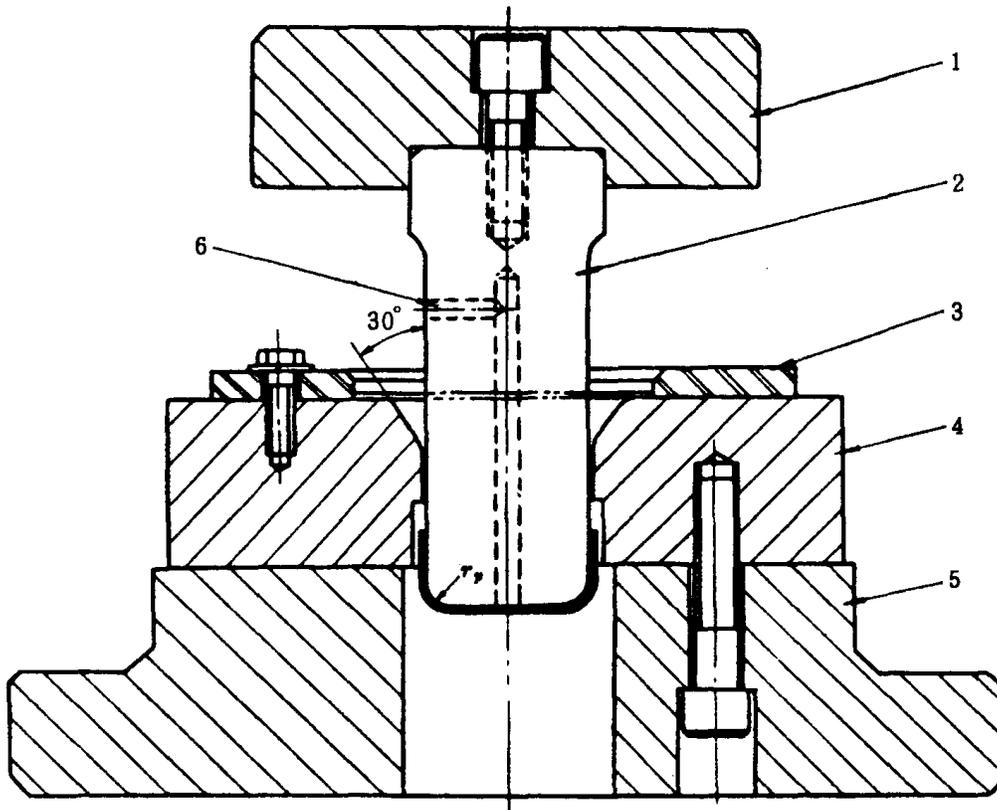
L1: Longitud de la silueta del prisma rectangular

P Fuerza de embutido (t)
 P_b Presión del pisador (t)
 h Profundidad del embutido (mm)
 C_d Coeficiente señalado en la tabla 2.5

La energía de trabajo necesaria para el embutido que se obtiene mediante la ecuación anterior es para el herramental de embutido instalado en una prensa de acción sencilla. Si se utiliza la prensa de doble acción, se realiza el cálculo únicamente con la fuerza necesaria para el embutido.

3 Estructura básica del herramental de embutido

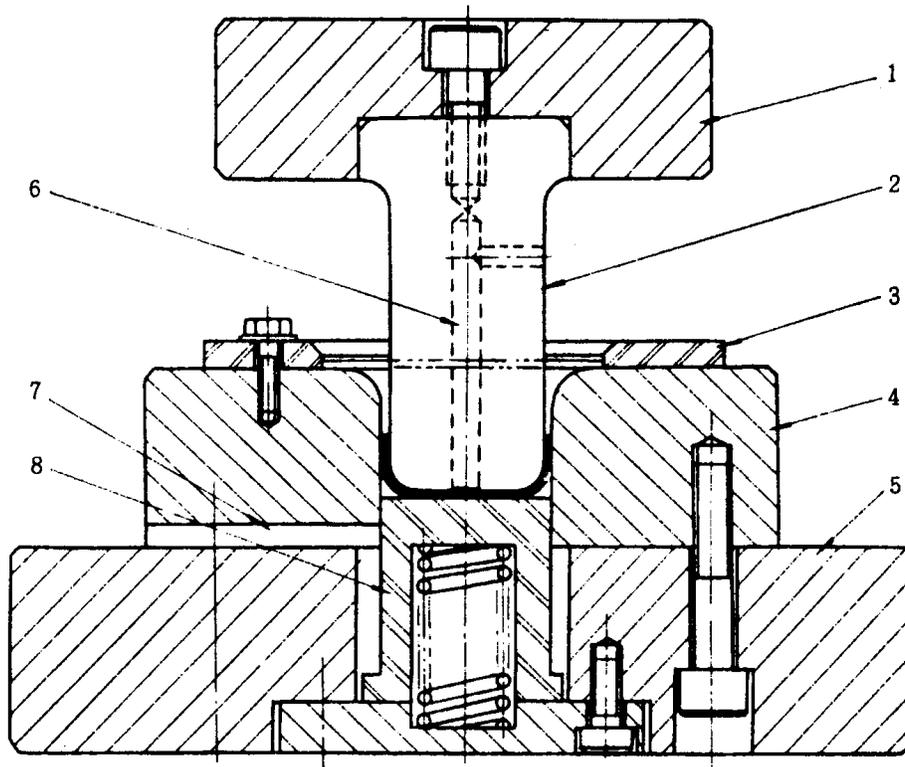
(1) Herramental de embutido sin pisador (Tipo caída libre)



- | | | |
|--------|-----------------|----------------------------|
| 1. 1.ベ | 1. Porta punzón | 4. Matriz |
| 2. 2.ベ | 2. Punzón | 5. Porta matriz |
| 3. ガ | 3. Placa guía | 6. Orificio de ventilación |

Figura 3.1 Herramental del embutido sin pisador (Tipo caída libre)

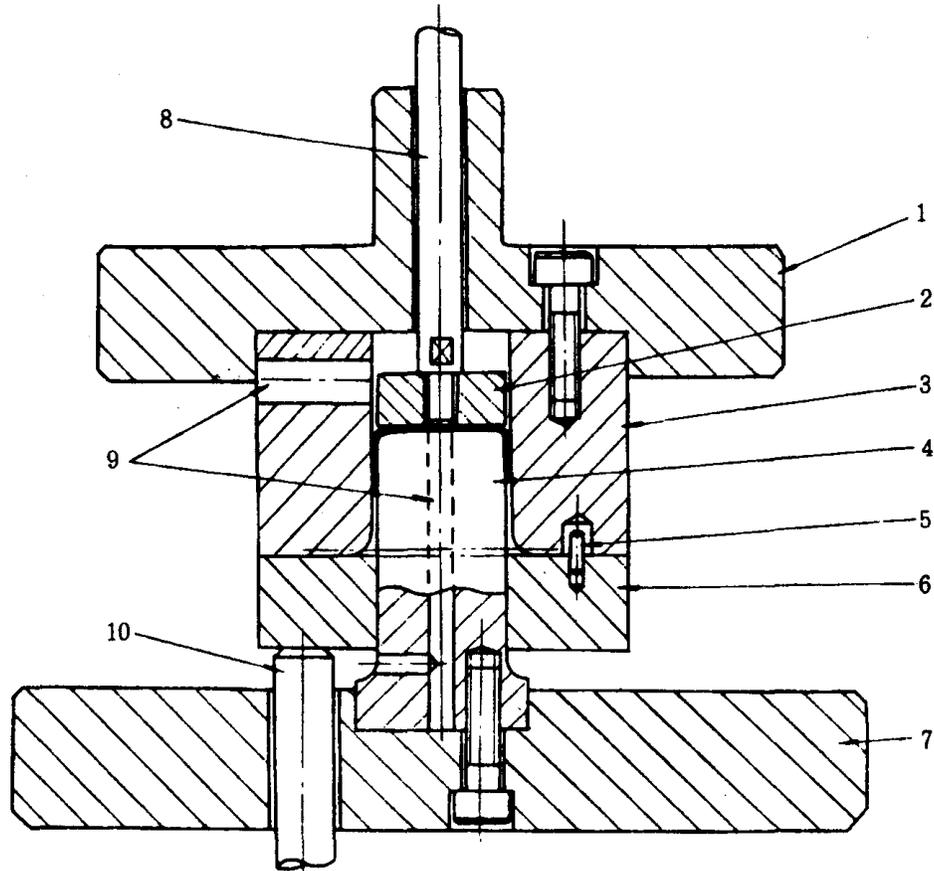
(2) Herramental del embutido sin pisador (Tipo levantamiento)



- | | |
|-----------------|----------------------------|
| 1. Porta punzón | 5. Porta matriz |
| 2. Punzón | 6. Orificio de ventilación |
| 3. Placa guía | 7. Orificio de ventilación |
| 4. Matriz | 8. Pad |

Figura 3.2 Herramental del embutido sin pisador (Tipo levantamiento)

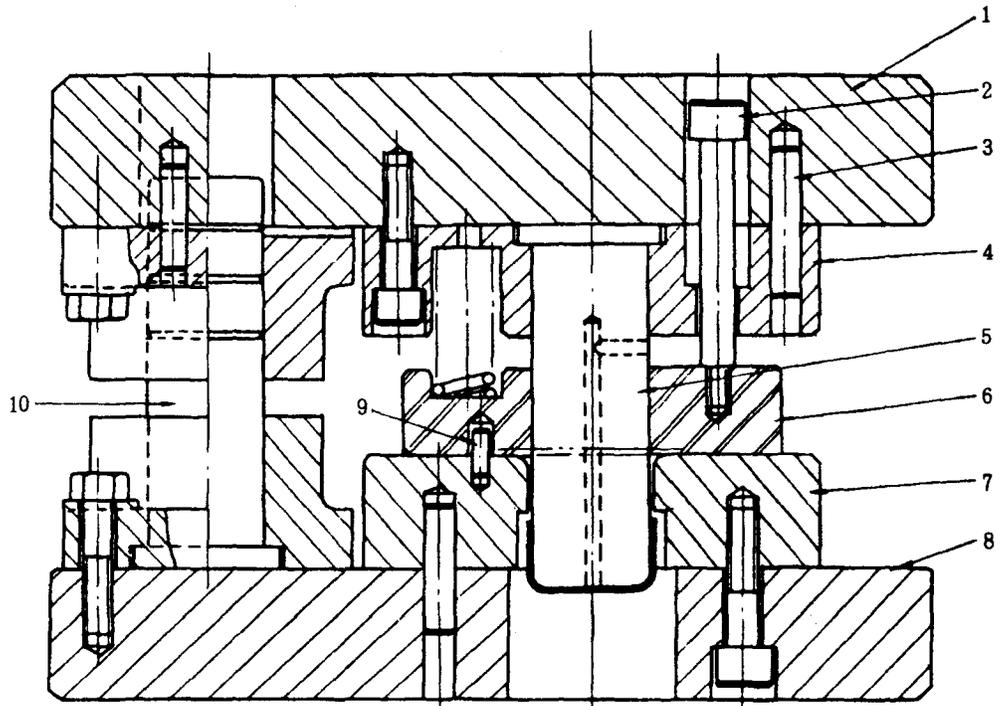
(3) Herramental del embutido con pisador (Herramental inferior con el pisador móvil)



- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Portador del herramental superior | 6. Pisador |
| 2. Placa expulsora | 7. Portador del herramental inferior |
| 3. Matriz | 8. Varilla expulsora |
| 4. Punzón | 9. Orificio de ventilación |
| 5. Perno de localización | 10. Perno de cojín |

Figura 3.3 Herramental del embutido con pisador (Herramental inferior con pisador móvil)

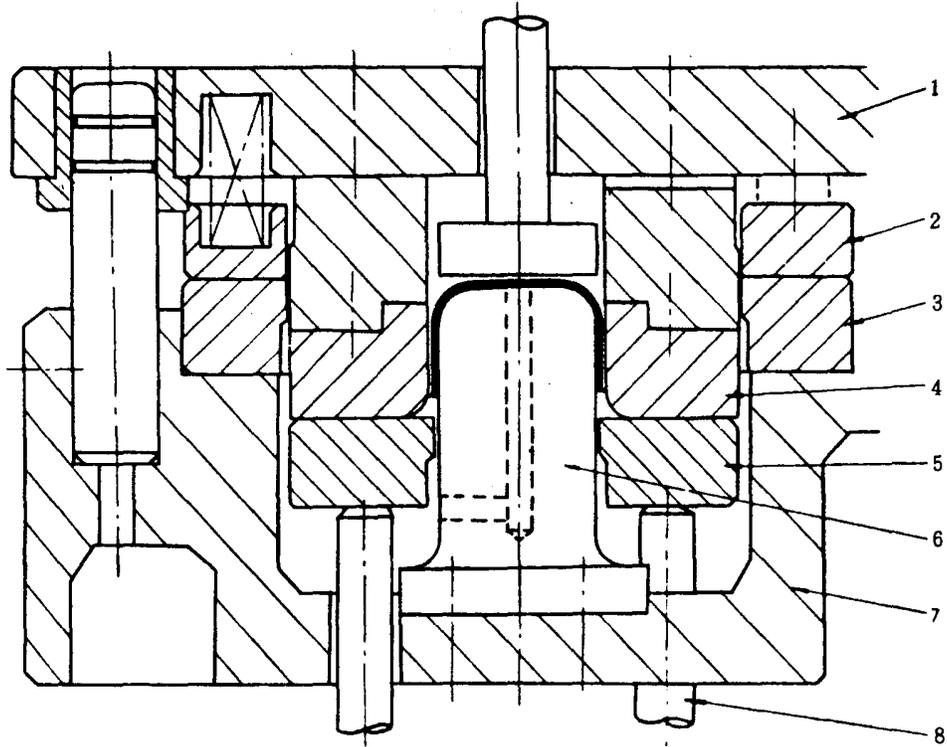
(4) Herramental de embutido con pisador (Herramental superior con el pisador móvil, tipo caída libre)



- | | | | | |
|---|-----------------------------------|---|----|-----------------------------------|
| 1 | Portador del herramental superior | ラ | 6 | Pisador |
| 2 | Portaseparador | イ | 7 | Matriz |
| 3 | Perno dowel | 型 | 8 | Portador del herramental inferior |
| 4 | Placa del punzón | 置 | 9 | Perno de localización |
| 5 | Punzón | イ | 10 | Perno guía |

Figura 3.4 Herramental del embutido con pisador (Herramental superior con pisador móvil, tipo caída libre)

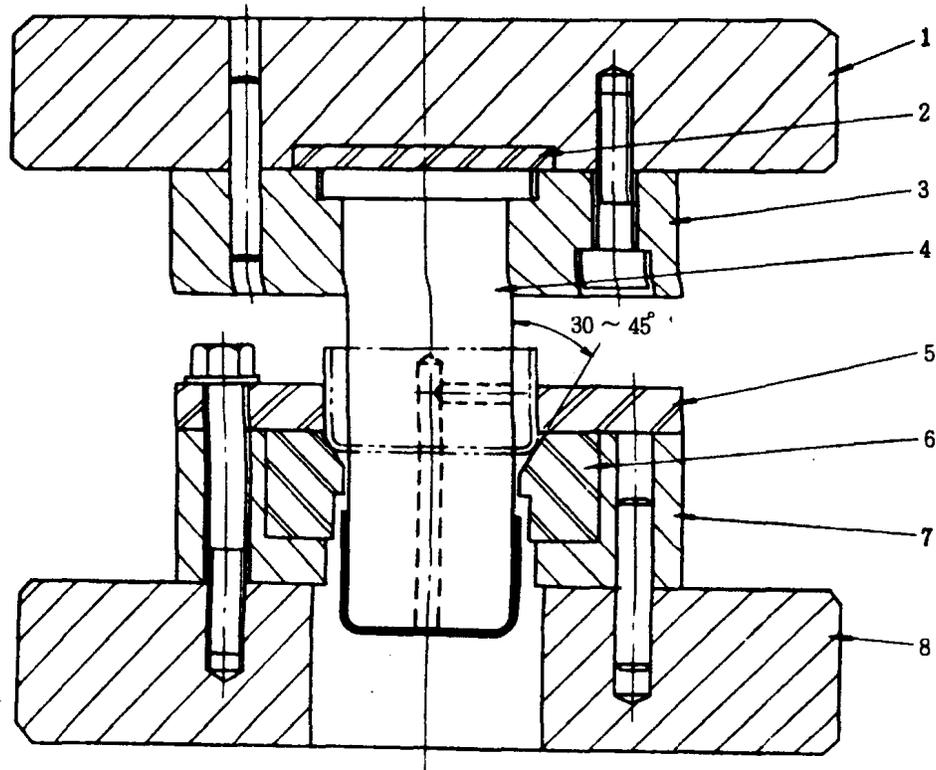
(5) Troquel con herramental de embutido



- | | | | |
|---|---|---|-----------------------------------|
| 1 | Portador del herramental superior | 5 | Pisador |
| 2 | Separador | 6 | Punzón |
| 3 | Matriz de troquelado | 7 | Portador del herramental inferior |
| 4 | Matriz de embutido/Punzón de troquelado | 8 | Perno del cojín |

Figura 3.5 Troquel con herramental del embutido

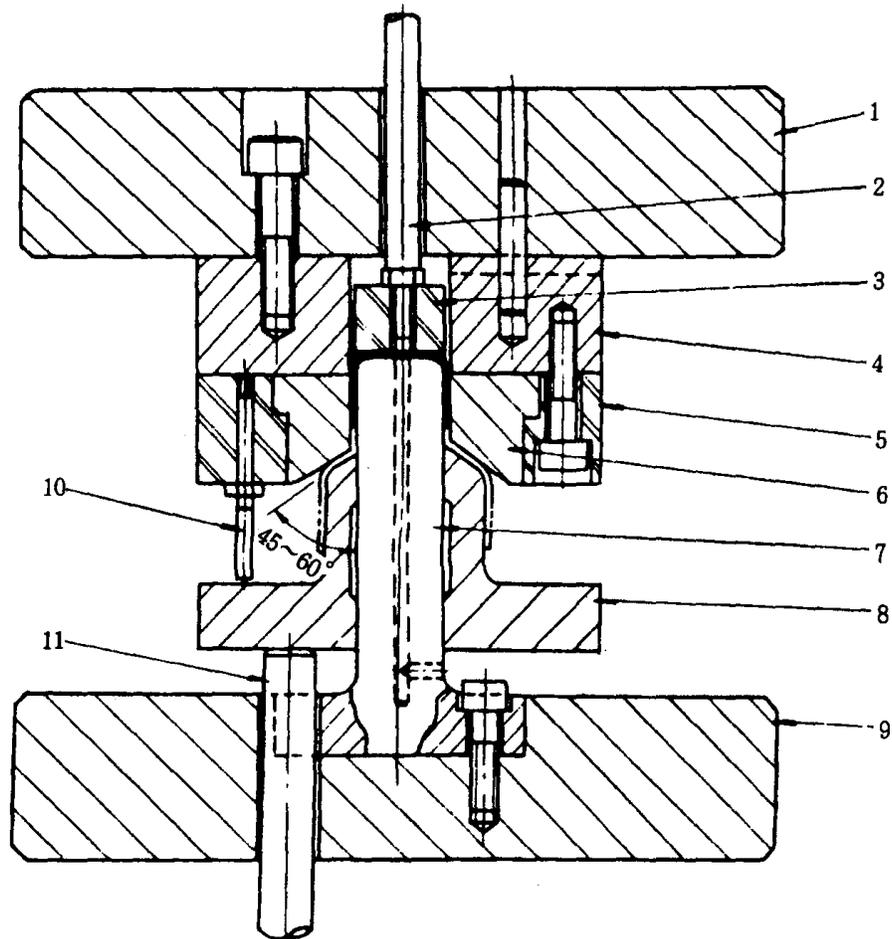
(6) Herramental del reembutido sin pisador (Tipo caída libre)



- | | | | | |
|------|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1. - | 1 | Portador del
herramental superior | 5 | Placa guía |
| 2. ✓ | 2 | Placa de respaldo | 6 | Anillo de matriz |
| 3. ✓ | 3 | Placa del punzón | 7 | Placa de la matriz |
| 4. ✓ | 4 | Punzón | 8 | Portador del
herramental inferior |

Figura 3.6 Herramental del reembutido sin pisador (Tipo caída libre)

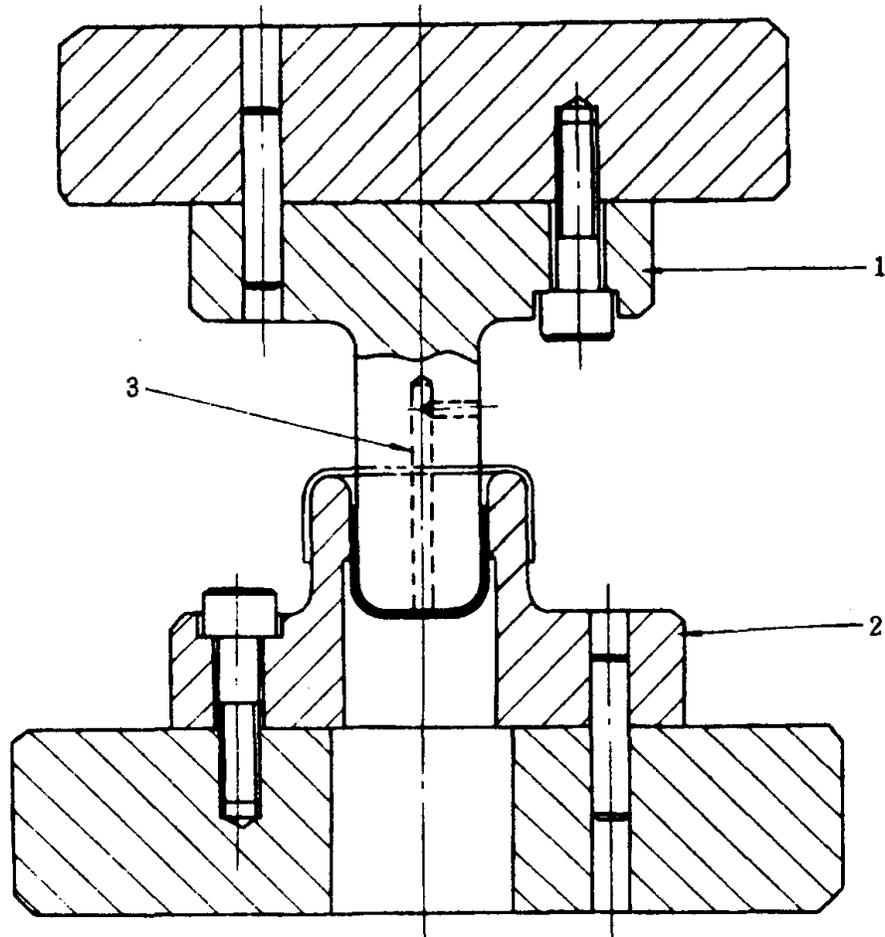
(7) Herramental del reembutido con pisador



- | | | | |
|-----|--|----|--|
| 1 . | 1 Portador del
herramental superior | 7 | Punzón |
| 2 . | 2 Varilla expulsora | 8 | Pisador |
| 3 . | 3 Placa expulsora | 9 | Portador del herramental inferior |
| 4 . | 4 Placa de la matriz | 10 | Tornillo de ajuste para el espacio
del pisador (Perno <i>killer</i>) |
| 5 . | 5 Anillo de fijación | 9 | Perno del cojín |
| 6 . | 6 Anillo de matriz | | |

Figura 3.7 Herramental del reembutido con pisador

(8) Herramental del reembutido invertido sin pisador (Tipo caída libre)

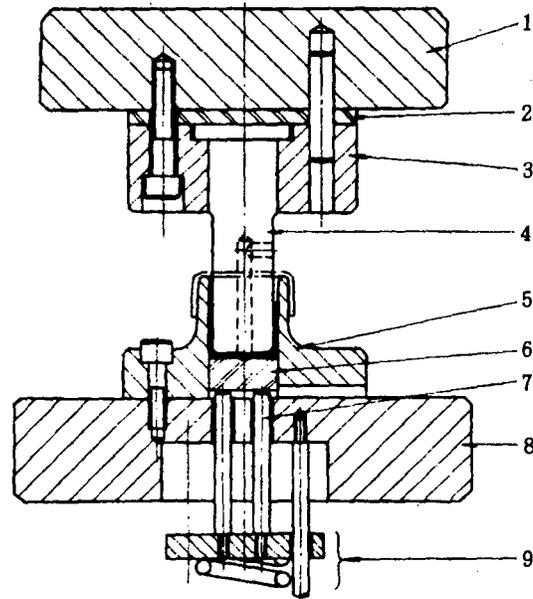


- 1 Punzón
- 1. 2 Matriz
- 2. 3 Orificio de ventilación
- 3.

Figura 3.8 Herramental del reembutido invertido sin pisador (Tipo caída libre)

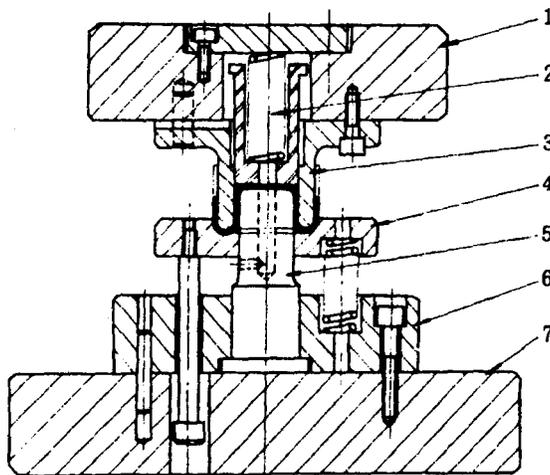


- (9) Herramental del reembutido invertido sin pisador (Tipo levantamiento)
- (10) Herramental del reembutido invertido con pisador



- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| 1 | Portador del
herramental superior | 6 | Placa expulsora |
| 2 | Placa de respaldo | 7 | Perno del cojín |
| 3 | Placa del punzón | 8 | Portador del
herramental inferior |
| 4 | Punzón | 9 | Cojín de resorte |
| 5 | Matriz | | |

Figura 3.9 Herramental del reembutido invertido sin pisador (Tipo levantamiento)



- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | Portador del
herramental superior |
| 2 | Resorte expulsor |
| 3 | Matriz |
| 4 | Pisador |
| 5 | Punzón |
| 6 | Placa del punzón |
| 7 | Portador del
herramental inferior |

Figura 3.10 Herramental del reembutido invertido con pisador

(11) Herramental del embutido de doble acción para piezas grandes en forma irregular

Para embutir las láminas exteriores del automóvil como cofres, puertas, toldos, etc., se requiere una mayor fuerza para evitar arrugas por su forma y tamaño. Para este tipo de transformación se utiliza la prensa de doble acción, en la cual el pisador tiene su propia tracción, en vez de utilizar la prensa de acción sencilla que genera la fuerza del cojín mediante la presión neumática e hidráulica. Se sujeta el material con el pisador ubicado en la corredera exterior de la prensa y se embute el material con el punzón instalado en la corredera interior.

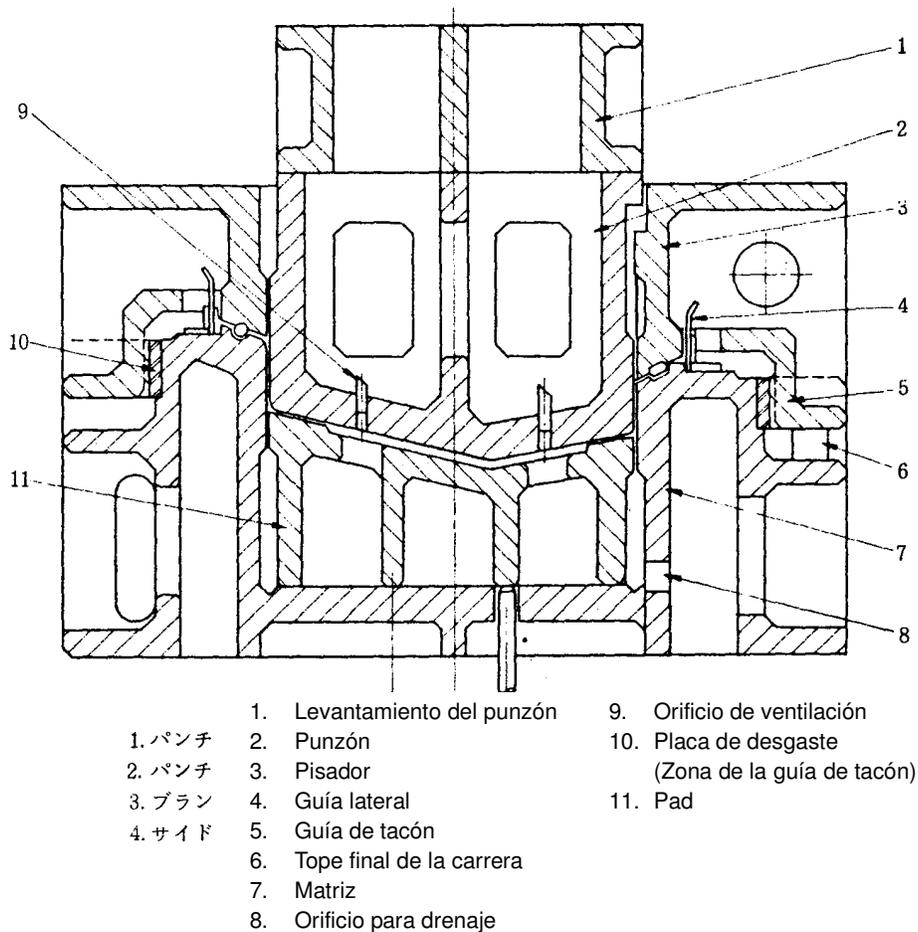


Figura 3.11 Herramental del embutido de doble acción para piezas grandes en forma irregular

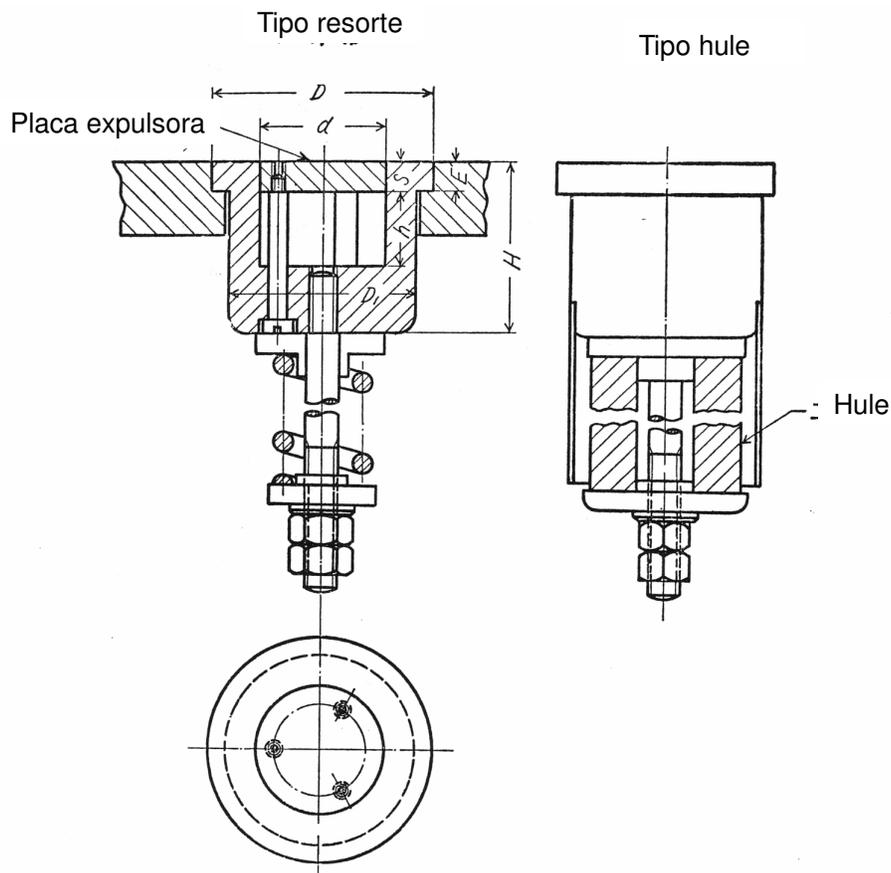
Anexo de referencia

Norma Industrial de Japón

Sistema de expulsión para el herramental de estampado y troquelado

JIS B5011-1955

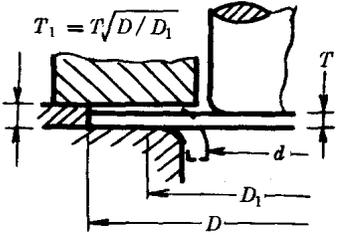
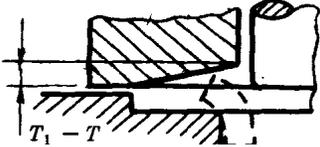
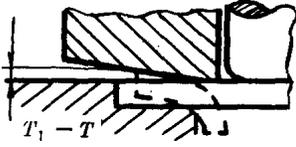
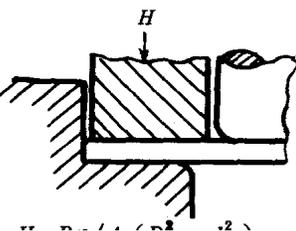
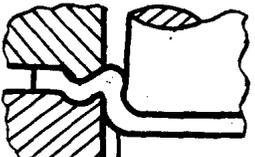
Este sistema se instala en la prensa para realizar las transformaciones como embutido, formación y doblado, así como para expulsar las piezas procesadas.



單位 mm Unidad: mm

#	Dimensión nominal	D_1	d	H	E	S	h
120	120	100	60	95	20	17	40
150	150	130	90	95	20	17	40
180	180	160	120	100	20	17	40
210	210	170	140	130	20	20	60
250	250	230	160	140	25	20	60

Figura: Tipos y características del pisador

Forma	Observación
<p>Tipo fijo (Plano)</p> <p>固定式 (平面)</p>  <p>$T_1 = T\sqrt{D/D_1}$</p>	<p>Es el sistema más sencillo, sin embargo es difícil ajustar la presión. Cuando el espacio entre la matriz y el pisador de la silueta es demasiado pequeño o bien, demasiado grande, se incrementa la fuerza del embutido y se reduce la embutibilidad.</p> <p>En realidad, se recomienda T_1 ligeramente menor que el valor señalado en la figura de la izquierda.</p> <p>T: Espesor de la silueta T_1: Espesor de la pestaña</p> <p>D: Diámetro de la silueta D_1: Diámetro de la pestaña.</p>
<p>Tipo fijo (inclinado)</p> <p>固定式 (テーパ)</p>  <p>$T_1 - T$</p>	<p>La superficie del pisador de la silueta está inclinada para evitar el cambio de presión durante la transformación debido al aumento del espesor del material.</p> <p>El ángulo oblicuo permisible debe de estar entre 0.5 a 1.5 veces del valor teórico ($T_1 - T$).</p>
<p>Tipo fijo (inclinado)</p>  <p>$T_1 - T$</p>	<p>La fuerza de embutido para este tipo es menor que la misma de los otros tipos.</p> <p>Al contrario de la figura anterior, es del tipo que tiene el ángulo oblicuo hacia el exterior. Entre más avance el embutido se incrementa la fuerza del embutido y evita la aparición de arrugas.</p>
<p>Tipo control de presión (plano)</p>  <p>H</p>	<p>Se controla la presión mediante los sistemas hidráulico o neumático, o bien por movimiento de resorte (<i>spring action</i>). En general la fuerza del embutido aumenta en un 20 a 25% más de la presión del pisador de la silueta, aunque depende de la condición superficial y/o del método de lubricación.</p> <p>H: Presión del pisador de la silueta (kg)</p> <p>P: Presión comparativa del pisador de la silueta (kg/cm²)</p>
<p>Otros (caso de colocar frenos)</p> 	<p>Las arrugas se generan por no colocar frenos en el herramental o por tener el radio del punzón más grande que el espesor del material. Esto se puede evitar mediante la aplicación de una alta fuerza de tensión en la dirección del radio. Por eso se emplean métodos como incrementar la fricción debajo del pisador de la silueta colocando frenos o aumentando el tamaño de la silueta.</p>