

3.3.2. OPERACIONES DE DOBLADO

En el trabajo de láminas metálicas el *doblado* se define como la deformación del metal alrededor de un eje recto, como se muestra en la figura 3.62. Durante la operación de doblado, el metal dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira. Estas condiciones de deformación se pueden ver en la figura 3.62(b). El metal se deforma plásticamente así que el doblado toma una forma permanente al remover los esfuerzos que lo causaron. El doblado produce poco o ningún cambio en el espesor de la lámina metálica.

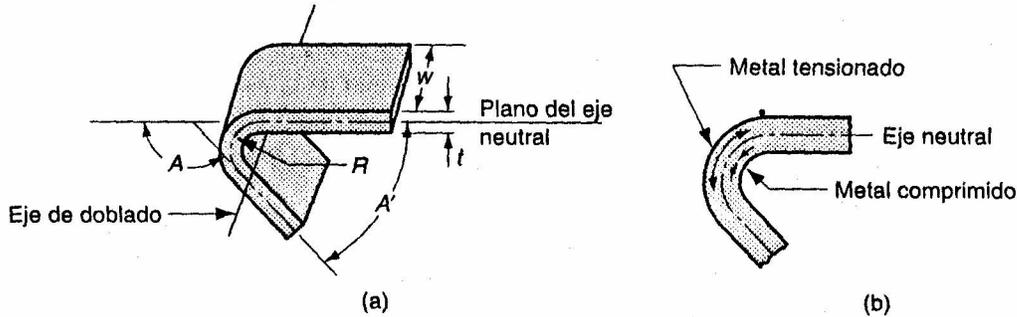


FIGURA 3.62(a) Doblado de lámina metálica; (b) en el doblado ocurre elongación a la tensión y a la compresión.

3.3.2.1. Doblado en v y doblado de bordes

Las operaciones de doblado se realizan usando como herramientas de trabajo diversos tipos de punzones y dados. Los dos métodos de doblado más comunes y sus herramientas asociadas son el doblado en V, ejecutado con un dado en V; y el doblado de bordes, ejecutado con un dado deslizante. Estos métodos se ilustran en la figura 3.63.

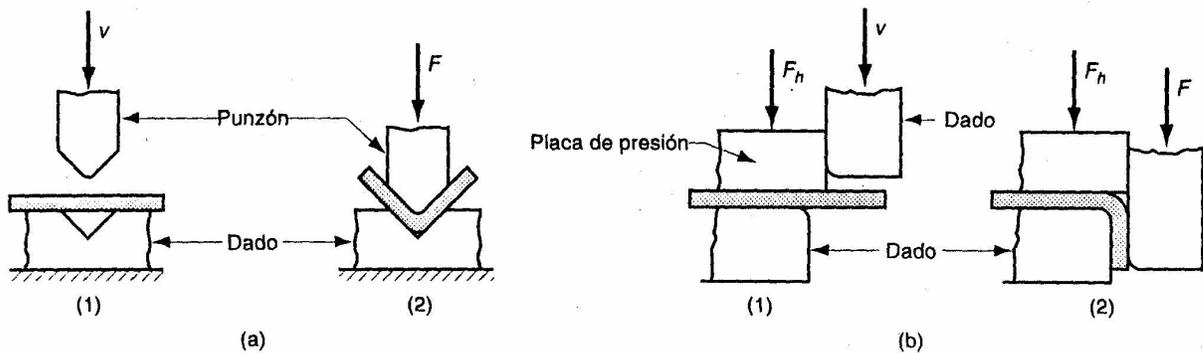


FIGURA 3.63 Dos métodos comunes de doblado: (a) doblado en V y (b) doblado de bordes; (1) antes y (2) después del doblado. Los símbolos v = velocidad, F = fuerza de doblado aplicada, F_h fuerza de sujeción.

En el doblado en V, la lámina de metal se dobla entre un punzón y un dado en forma de V, los ángulos van desde los muy obtusos hasta los muy agudos. El doblado en V se usa generalmente para

operaciones de baja producción y se realizan frecuentemente en una prensa de cortina, los correspondientes dados en V son relativamente simples y de bajo costo.

El doblado de bordes involucra una carga voladiza sobre la lámina de metal. Se usa una placa de presión, que aplica una fuerza de sujeción F_h para sujetar la lámina contra el dado, mientras el punzón fuerza la parte volada para doblarla sobre el borde del dado. En el arreglo que se ilustra en la figura 3.63(b), el doblado se limita a ángulos de 90° o menores. Se pueden diseñar dados deslizantes más complicados para ángulos mayores de 90° . Debido a la presión del sujetador, los dados deslizantes son más complicados y más costosos que los dados en V y se usan generalmente para trabajos de alta producción.

3.3.2.2. Análisis de ingeniería del doblado

Algunos términos importantes del doblado se identifican en la figura 3.62. El metal, cuyo grosor es t se dobla a través de un ángulo, llamado ángulo de doblado A . El resultado es una lámina de metal con un ángulo inducido A' , tal que $A + A' = 180^\circ$. El radio del doblado R se especifica normalmente sobre la parte interna, en lugar de sobre el eje neutro. Este radio del ángulo se determina por el radio de la herramienta que se usa para ejecutar la operación. El doblado se hace sobre el ancho de la pieza de trabajo w .

Tolerancia de doblado Si el radio del doblado es pequeño con respecto al espesor del material, el metal tiende a estirarse durante el doblado. Es importante poder estimar la magnitud del estirado que ocurre, de manera que la longitud de la parte final pueda coincidir con la dimensión especificada. El problema es determinar la longitud del eje neutro antes del doblado, para tomar en cuenta el estirado de la sección doblada final. Esta longitud se llama *tolerancia de doblado* y se puede estimar como sigue:

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba}t) \quad (3.47)$$

Donde

BA = tolerancia de doblado en (mm);

A = ángulo de doblado en grados,

R = radio de doblado, (mm);

t = espesor del material, (mm);

K_{ba} es un factor para estimar el estirado.

Los siguientes valores de diseño se recomiendan para K_{ba} [2]: si $R < 2t < K_{ba} = 0.33$; y si $R \geq 2t$, $K_{ba} = 0.50$. Estos valores de K_{ba} predicen que el estiramiento ocurre solamente si el radio de doblado es más pequeño en relación con el espesor de la lámina.

Recuperación elástica Cuando la presión de doblado se retira, la energía elástica permanece en la parte doblada haciendo que ésta recobre parcialmente su forma original. Esta recuperación elástica es

llamada *recuperación elástica* y se define como el incremento del ángulo comprendido por la parte doblada en relación con el ángulo comprendido por la herramienta formadora después de que ésta se retira. Esto se ilustra en la figura 3.64 y se expresa como:

$$SB = \frac{A' - A'_b}{A'_b} \quad (3.48)$$

Donde

SB = recuperación elástica;

A' = ángulo comprendido por la lámina de metal, en grados;

A'_b = ángulo comprendido por la herramienta de doblado, en grados.

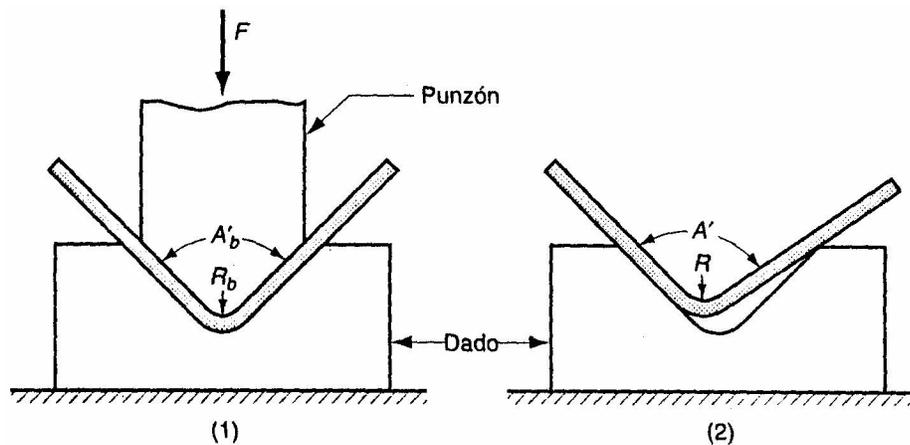


FIGURA 3.64 la recuperación elástica en el doblado se muestra como una disminución en el ángulo de doblado y un incremento del radio de R_b , doblado: (1) durante la operación, el trabajo es forzado a tomar el radio R_b y el ángulo incluido A'_b , ambos están determinados por la herramienta de doblado (punzón de doblado en V); (2) una vez que se retira el punzón, el material regresa al radio R y al ángulo incluido A' . El símbolo F = fuerza de doblado aplicada.

Aunque no tan obvio, ocurre un incremento en el radio de doblado debido a la recuperación elástica. La magnitud de la recuperación elástica se incrementa por el módulo de elasticidad E y la resistencia a la fluencia Y del metal del trabajo.

Se puede lograr una compensación para la recuperación elástica por varios métodos. Dos métodos comunes son el *sobredoblado* y el *fondeado*. En el *sobredoblado*, el ángulo del punzón y su radio se fabrican ligeramente menores que el ángulo especificado en la parte final, de manera que la lámina regrese al valor deseado. El *fondeado* involucra comprimir la parte al final de la carrera deformándola plásticamente en la región de doblado,

Fuerza de doblado La fuerza que se requiere para realizar el doblado depende de la geometría del punzón y del dado, así como de la resistencia, espesor y ancho de la lámina de metal que se dobla,

La fuerza máxima de doblado se puede estimar por medio de la siguiente ecuación, basada en el doblado de una viga simple:

$$F = \frac{K_{bf} TSwt^2}{D} \quad (3.49)$$

Donde

F = fuerza de doblado, (N);

TS = resistencia a la tensión del metal en lámina, (MPa);

w = ancho de la parte en la dirección del eje de doblado, (mm);

t = espesor del material o la parte, (mm);

D = dimensión del dado abierto en (mm), como se define en la figura 3.65.

En mecánica, la ecuación 3.49 se basa en el doblado de una viga simple, y K_{bf} es una constante que considera las diferencias para un proceso real de doblado, Su valor depende del tipo de doblado; para doblado en V, $K_{bf} = 1.33$ y para doblado de bordes, $K_{bf} = 0.33$.

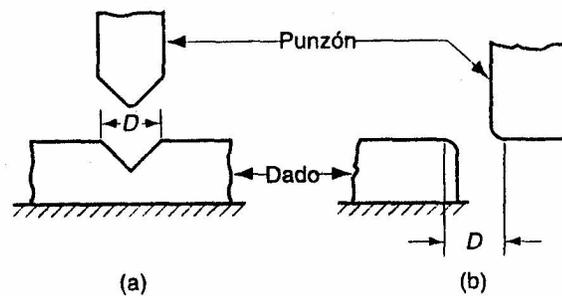


FIGURA 3.65 Dimensión de la abertura del dado D : (a) dado en V, y (b) dado deslizante.

EJEMPLO 3.6 Doblado de lámina metálica

Se dobla una pieza hecha de lámina de metal como se muestra en la figura 3.66. El metal tiene un modulo de elasticidad $E = 205$ GPa, resistencia a la fluencia $Y = 275$ MPa y resistencia a la tensión $TS = 448$ MPa. Determine a) el tamaño inicial de la pieza y b) la fuerza de doblado, si se usa un dado en V con una abertura $D = 25$ mm

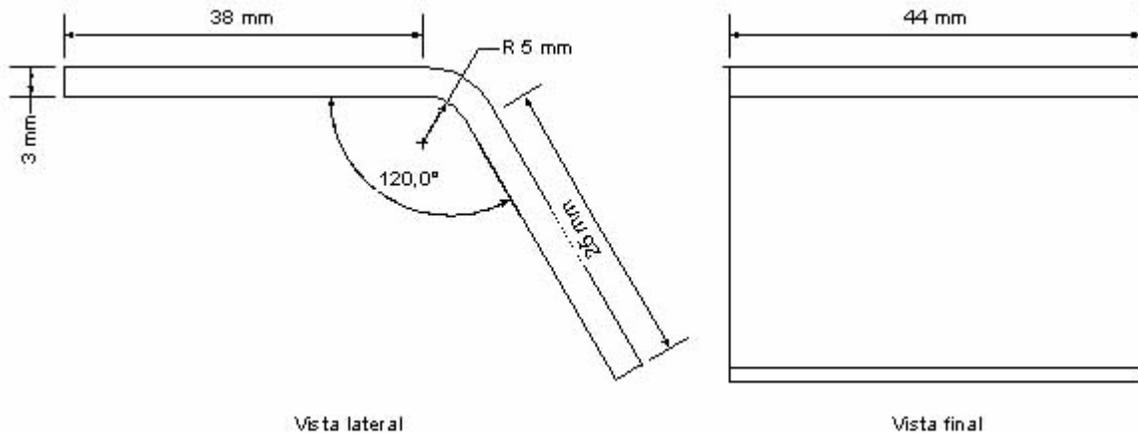


Figura 3.66 Parte de lámina del ejemplo 3.6

Solución:

a) La pieza inicial será 44 mm de ancho. Su longitud será igual a $38 + 25 + BA$. Como se muestra, para un ángulo incluido $A' = 120^\circ$, el ángulo de doblado = 60° . En la ecuación 22.6 el valor de $K_{ba} = 0.33$ ya que $R/t = 5/3 = 1.66$ (menor que 2.0)

$$BA = 2\pi \frac{A}{360} (R + K_{ba}t) = 2 \cdot \pi \frac{60}{360} \cdot (5 + 0.33 \cdot 3) = 5.184 \text{ mm}$$

La longitud de la pieza es entonces 68.184 mm.

b) La fuerza se obtiene de la ecuación 3.49, usando $K_{ba} = 1.33$.

$$F = \frac{K_{bf} T S w t^2}{D} = \frac{1.33 \cdot 448 \times 10^6 \cdot 44 \times 10^{-3} \cdot (3 \times 10^{-3})^2}{25 \times 10^{-3}} = 9438 \text{ N}$$

3.3.2.3. Otras operaciones de doblado

Se dispone de otras operaciones de doblado adicional, además de las de doblado en V y doblado de bordes. Algunas de éstas involucran el doblado sobre ejes curvos en lugar de ejes rectos, o tienen otras características que las diferencian de las operaciones básicas descritas anteriormente.

Formado de bridas, doblez, engargolado y rebordeado El formado de bridas es una operación en la cual el filo de una lámina se dobla en un ángulo de 90° para formar un borde, Se usa frecuentemente para reforzar o dar rigidez a la parte de lámina metálica, El borde se puede formar en un doblez sobre un eje recto, como se ilustra en la figura 3.67(a), o puede involucrar algunos estiramientos o contracciones del metal como en las partes (b) y (c).

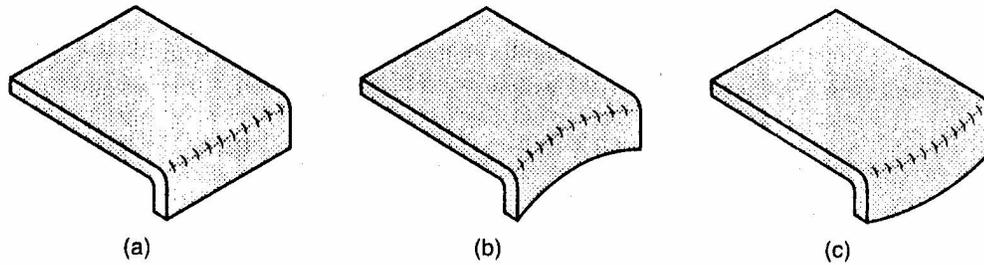


FIGURA 3.67 Formado de bridas: (a) bridado recto, (b) bordeado estirado y (c) bridado contraído.

El *doble* involucra el doblado del borde de la lámina sobre sí misma en más de un paso de doblado. Esto se hace frecuentemente para eliminar el filo agudo de la pieza. Para incrementar la rigidez y para mejorar su apariencia. El *engargolado* o empalme es una operación relacionada en la cual se ensamblan dos bordes de láminas metálicas. El doblar y el engargolado se ilustran en la figura. 3.68(a) y (b).

En el *rebordeado*, también llamado *formado de molduras*, los bordes de la parte se producen en forma de rizo o rollo como se muestra en la figura 3.68(c). Tanto esta operación como el doblar se hacen con fines de seguridad, resistencia y estética. Algunos ejemplos de productos en los cuales se usa el ribeteado incluyen bisagras, ollas, sartenes y cajas para relojes de bolsillo. Estos ejemplos demuestran que el ribeteado se puede ejecutar sobre ejes rectos o curvos.

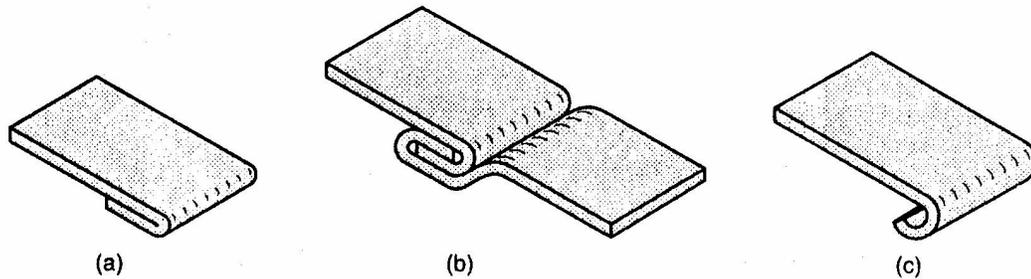


FIGURA 22.17 (a) Doble, (b) engargolado (empalme) y (c) rebordeado.

Operaciones misceláneas de doblado En la figura 3.69 se muestran algunas otras operaciones de doblado para ilustrar varias formas en las que se puede doblar una lámina. La mayoría de estas operaciones se realizan en dados relativamente simples y similares a los dados en V.

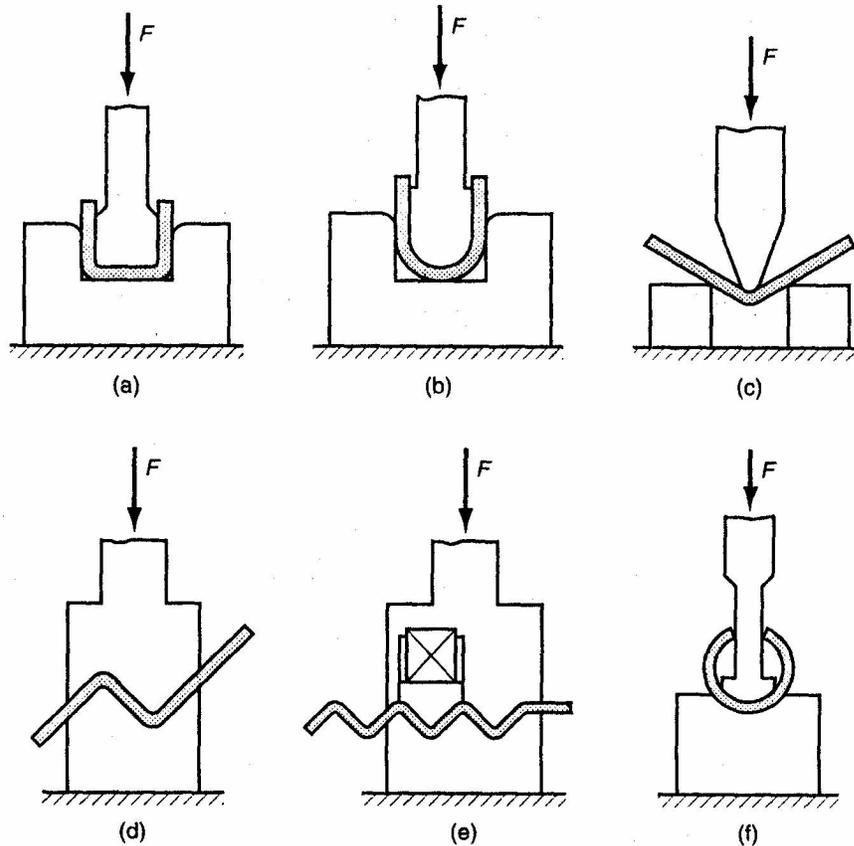
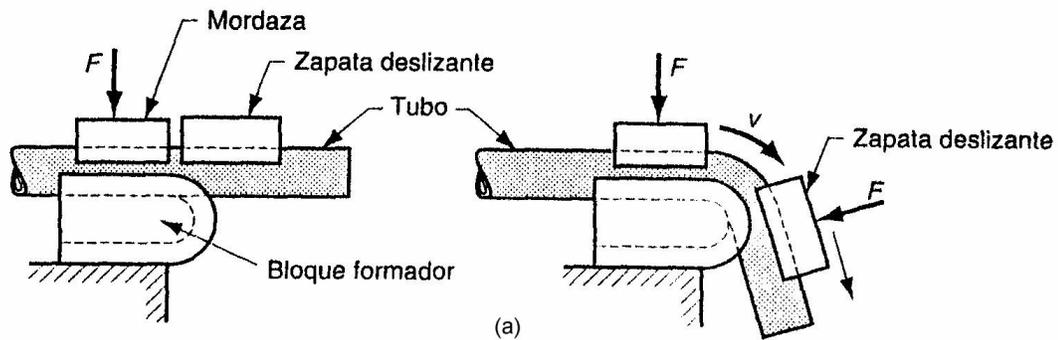


FIGURA 3.69 Operaciones misceláneas de doblado: (a) doblado en canal, (b) doblado en U, (c) doblado al aire, (d) doblado escalonado, (e) corrugado y (f) formado de tubo. F = fuerza aplicada.

3.3.2.4. DOBLADO DE TUBOS

Los tubos se doblan por muchas razones. Un motivo frecuente es la necesidad de transportar líquidos, otra razón es permitir la expansión o contracción de sistemas de tubería. Las espirales para transferencia de calor y los componentes tubulares para calderas requieren doblado. Las piezas tubulares se usan con frecuencia como componentes estructurales en vehículos y máquinas, muebles, rieles, manijas, etc. Los métodos comunes de doblado son los siguientes:

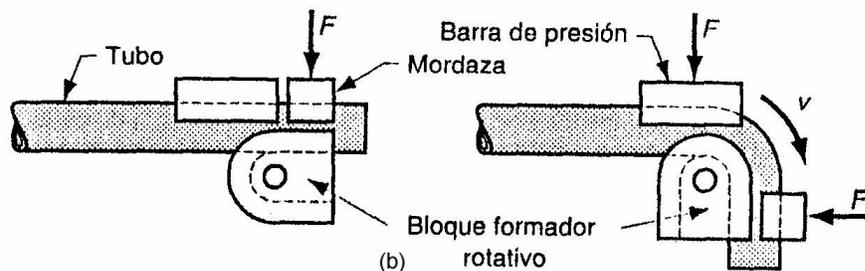
Doblado por compresión La pieza de trabajo se sujeta y dobla alrededor de un dado estacionario con la ayuda de un bloque o un rodillo seguidor. Hay algo más de fuerza de compresión que elongación sobre la pieza de trabajo (aun cuando haya elongación sobre la parte exterior del doblado), y el nombre del método se deriva de este hecho. La figura(a) muestra un diagrama del proceso.



El doblado por compresión es un método común, que con frecuencia se realiza a mano, sobre tubos u otros perfiles de mayores espesores de pared y radios de doblado más grandes. Los tubos de pared delgada usualmente no se doblan por este método.

El radio mínimo a la línea de centro para dobleces por compresión es 4 veces el diámetro del tubo. Con tubos de paredes más delgadas y buen soporte puede hacerse dobleces con radios de sólo $2\frac{1}{2}$ veces el diámetro. Los ángulos de doblado llegan a ser hasta de 170° por doblez. Debido a que hay muy poco alargamiento en la cara exterior, los tubos cromados o pintados pueden doblarse con este método.

Doblado por arrastre. En este método, la pieza de trabajo se sujeta contra un dado que tiene la forma del doblez, como en el doblado por compresión; pero ahora el dado gira jalando la pieza de trabajo por una matriz de presión y, en muchos casos, sobre un mandril, como se muestra en la figura (b). Este método es adecuado para tubos de pared delgada, en especial cuando se doblan en radios pequeños, permite un control más estrecho sobre la pieza de trabajo que cualquier otro método de doblado.

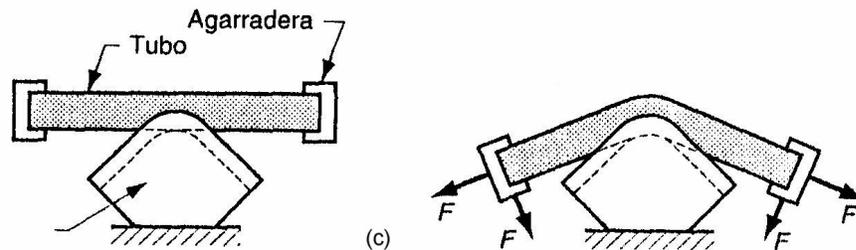


Los dobleces por arrastre se hacen cuando las necesidades dimensionales son estrictas (por ejemplo, en la industria aeronáutica) o cuando se requieren dobleces muy cerrados de tubos de pared delgada. Aunque se pueden lograr radios de doblado iguales al diámetro del tubo, éstos requieren un cuidado extraordinario, un mandril interno de perfecto ajuste así como zapatas y matrices exteriores. El doblado por arrastre es más común que el doblado por compresión cuando se emplea equipo motriz. Pueden hacerse dobleces de hasta 180° . A continuación en la TABLA 3.5 se presentan valores para radios de dobles en función del diámetro del tubo

TABLA 3.5 Radio mínimo de doblado recomendado: doblado de tubos por arrastre [4]

Diámetro exterior en mm	Espeso de pared mm	Radio mínimo a la línea del centro aproximado (múltiplos del diámetro exterior del tubo)			
		Sin mandril	Mandril redondeado	Mandril plano	Zapata y mandril redondeado
13-24	0.9	6½	2½	3	1½
	1.25	5½	2	2½	1¾
	1.65	4	1½	1.5	1
25-39	0.9	9	3	4½	2
	1.25	7½	2.5	3	1¾
	1.65	6	2	2½	1½
40-54	1.25	8½	3½	4½	2¼
	1.65	7	3	3½	1¾
	2.10	6	2½	3	1½
55-79	1.65	9	3½	4	2½
	2.10	8	3	3½	2¼
	2.80	7	2½	3	2
80-100	2.10	9	3½	4½	3
	2.80	8½	3	4	2½

Doblado por prensado con cabezal Con este método, la pieza de trabajo se coloca entre dos soportes y se presiona contra un dado redondo (cabeza o punzón) como se muestra en la figura (c). Los dos soportes giran sobre un pivote conforme el cabeza se mueve hacia adelante manteniendo el soporte de la pieza de trabajo.



Este método, aunque brinda poco control sobre el flujo del metal, es muy rápido. Se emplea en aplicaciones donde se utilizan tubos gruesos o perfiles laminados o extruidos, siempre que se permita alguna distorsión en la sección de la pieza de trabajo y que sea importante tener una rápida producción. Con las máquinas disponibles en la actualidad, el doblado por prensado con cabeza se aplica a tuberías de 10 a 350 mm de diámetro. Este método funciona para dobleces de hasta 165° además, se pueden doblar perfiles extremadamente gruesos.

El radio mínimo de doblado a la línea de centro por este método es 3 veces el diámetro a menos que sean tolerables deformaciones o aplastamientos en la sección doblada (así como en algunas aplicaciones estructurales). Se prefieren los radios de 4 a 6 diámetros.