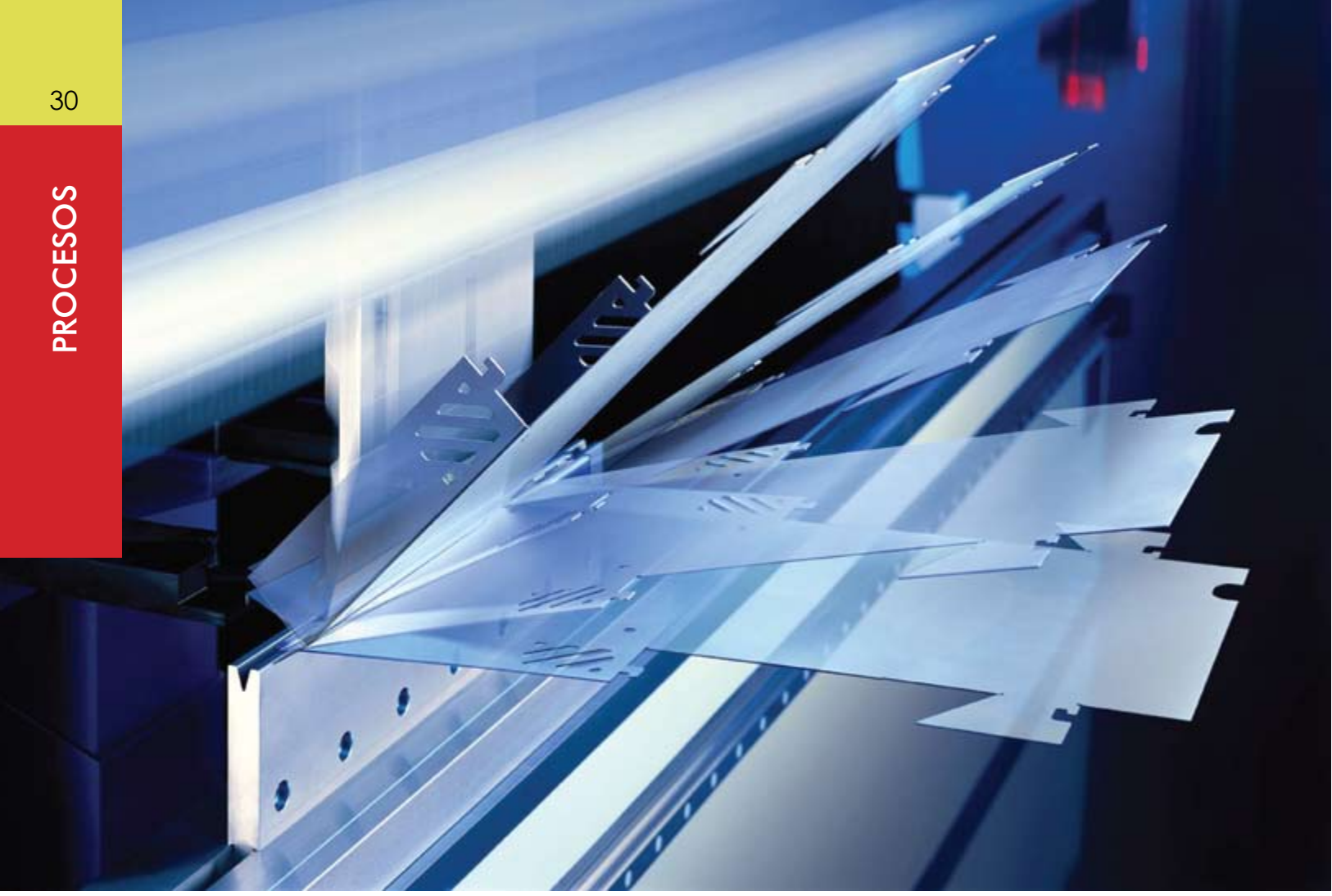


Foto: www.us.trumpf.com

Condiciones Técnicas para un Correcto Doblado

Luisa Fernanda Castro Patiño
Periodista Metal Actual

¿Cómo obtener éxito en el Doblado de Chapa?

Tener en cuenta el radio, la longitud y el espesor del material a mecanizar, así como seleccionar adecuadamente la herramienta de trabajo, son solo algunos de los parámetros a tener en cuenta en el proceso de doblado, más aún cuando la industria presenta retos especiales que, de ser enfrentados con procesos de producción óptimos, abre nuevas oportunidades de negocio para las empresas del sector.

Una de las operaciones más comunes en el conformado de metal por deformación, es el doblado, proceso que, desde una concepción básica, consiste en la fabricación de piezas con rebordes, bucles y ondulaciones, mediante una prensa.

A pesar que el doblado parece ser una operación sencilla, hoy en día la industria trae consigo retos relacionados no sólo con el trabajo de nuevos materiales, sino con la aparición de modernas herramientas (punzones y matrices) que integran diseños variados e inteligentes para la creación de piezas especiales y formas complejas.

En ese sentido, investigaciones sobre el tema de doblado, han demostrado que uno de los problemas por los que atraviesa la industria transformadora de metal, a nivel mundial, está relacionado con las exigencias de los clientes para obtener productos de mayores complejidades y con tolerancias geométricas cada vez más estrechas.

La falta de cuidado en los parámetros de doblado ocasiona defectos o fallas en las piezas elaboradas, tales como: deformaciones no deseadas, falta de precisión de los ángulos de doblado y de geometría, adelgazamiento de las paredes, aplanamiento de las superficies curvadas y la aparición de grietas y arrugas, entre otros.

Estos defectos o anomalías se pueden evitar si se estiman los parámetros o condiciones básicas del proceso de doblado, entre otras, la selección adecuada del conjunto matriz-punzón, el radio, la recuperación, la fuerza y capacidad de doblado, longitud de la chapa, y demás aspectos geométricos, de vital importancia para lograr un nivel de calidad elevado.

En el presente artículo se reseñan estos parámetros y por qué son importantes para optimizar el doblado de chapa, de hecho, si son tenidos en cuenta al momento de trabajar el material, no sólo ayudarán a mejorar los conocimientos técnicos que el operario tiene en el tema, sino a aumentar la productividad de la empresa, una de las mejores herramientas para afrontar los retos que impone el mercado actual.

Parámetros del Doblado

Beddoes, autor del libro *'Principles of Metal Manufacturing Processes'*[1], señala en su texto, tres parámetros fundamentales en el doblado, los cuales ayudan a analizar y/o determinar las propiedades mecánicas del material a trabajar y la precisión en las medidas de la pieza que se desea obtener de dicho proceso, estos son: el radio mínimo, el ángulo de recuperación y la fuerza de doblado.

- *Radio de doblado mínimo:* es la recta o grieta que aparece en la superficie exterior del doblado y se encuentra expresado en función del espesor del material; dicho de otro modo, el radio nunca puede ser menor al grosor de la lámina, dado que puede afectar su resistencia.

Durante el proceso de doblado existen dos tipos de radios: el primero está expuesto a la tracción y se le denomina "exterior" y el segundo, se encuentra en compresión y se le llama "interior"; en ese sentido, el radio mínimo absoluto que puede formarse en la pieza, siempre va a estar limitado por la deformación real que alcanza en el radio exterior, es decir que nunca puede exceder la deformación de fractura que tiene la chapa, de lo contrario puede romperse.

Por lo regular, el radio es establecido por el operario, a través de la práctica de doblez, o se determina a partir de tablas incluídas en manuales, también se describen las características físico-mecánicas de determinada lámina de metal, el siguiente es un ejemplo:

Material	Blando	Duro
Aleaciones de aluminio	0	6t
Cobre al berilio	0	4t
Latón, bajo plomo	0	2t
Magnesio	5t	13t
Aceros inoxidables austeníticos	0.5t	6t
Aceros bajo-carbono, baja aleación y Alta resistencia-baja aleación (HSLA)	0.5t	4t
Titanio	0.7t	3t
Aleaciones de Titanio	2.6t	4t

t= radio mínimo de doblado para diferentes materiales en función del espesor de la chapa a temperatura ambiente. (tomado del texto de Kalpakjian, (1991).

- *Factor de retorno:* es la tendencia que tiene la lámina de metal de recuperar su posición original o primitiva, tan pronto como es retirada la carga que ha producido su deformación. Este fenómeno se origina, debido a la propiedad que poseen los cuerpos de ser elásticos,

En la primera foto se indica que para realizar este tipo de doblez, el operario utilizó un punzón de geometría especial. En la segunda foto se muestra un carro para el transporte de pacientes fabricado a partir del proceso de doblado.

Fotos: Fascination of Sheet Metal

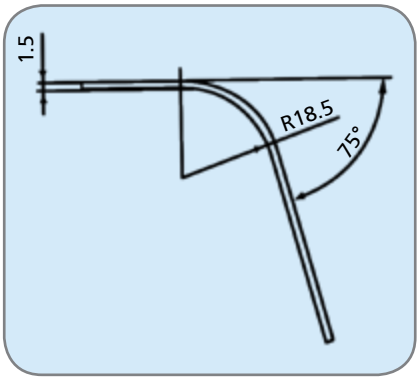
por tal razón, siempre que se escoja un molde o matriz para doblar, se deben tener en cuenta que sus ángulos y radios sean los correctos, de modo que la pieza obtenga las medidas del plano requeridas por el cliente.

Para calcular el factor de retorno se deben tener en cuenta cuatro variables: ángulo y radio de doblado, resistencia y espesor del material. Según expertos en el tema, el ángulo final, después de la recuperación, siempre será menor que el inicial y el radio final, mayor que el radio en estado de carga.

Por lo regular, los anteriores cálculos se realizan mediante programas de simulación y sistemas de Ingeniería Asistida por Computador CAE (*Computer Aided Engineering*, por sus siglas en inglés), a través de la representación del proceso de doblado, mediante un modelo matemático que permite un análisis de estas variables, siendo un método sencillo y económico en cuanto a que reduce, notablemente, los tiempos de producción.

Sin embargo, existen otras técnicas para hallar el radio y el ángulo de una matriz, a través de fórmulas matemáticas y tablas de factores estandarizadas en la industria que, llevadas a la práctica, entregan las medidas exactas que el operario debe aplicar para obtener piezas con las dimensiones exigidas por el cliente.

Ejemplo: ¿Qué radio y ángulo debe aplicarse en la matriz para obtener las siguientes medidas?



Para conocer el radio se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$R1 = K \cdot \left(R2 + \frac{S}{2} \right) - \frac{S}{2}$$

Donde **K**, es el valor que resulta luego de consultar una tabla de factores estandarizada y que en este caso sería 0.89; $\mathbf{R_2}$, el radio de la pieza a fabricar; **S**, el espesor del material y **2**, un valor constante.

$$R1 = 0.89 \cdot \left(18.5 + \frac{1.5}{2} \right) - \frac{1.5}{2} = 16.38$$

Para conocer el ángulo es necesario emplear la fórmula, $X1 = \frac{X2}{K}$, donde **X2** es el ángulo que se desea obtener de la pieza y **K** el valor hallado anteriormente.

$$X1 = \frac{75}{0.89} = 84$$

La solución del anterior ejemplo es que, para obtener un radio de 18.5 en la pieza, teniendo en cuenta el fenómeno de recuperación, es necesario aplicar en la matriz un radio menor, correspondiente a 16.38 y, para lograr un ángulo de 75°, el operario debe trabajar con un ángulo mayor o equivalente a 84°.

Existen otros métodos para controlar el factor de retorno, a través de diferentes técnicas que se explican a continuación:

a) Sobredoblar la pieza en la matriz hasta un ángulo mayor que el deseado (aproximadamente el mismo número de grados de recuperación).

b) Acuñar la región doblada mediante un dispositivo que permite localizar y dirigir el punto de compresión del doblez, proceso que asegura la deformación plástica de la lámina. Esta técnica también se le conoce con el nombre de doblado a fondo y en las prensas mecánicas debe ser altamente controlada por el operario, dado que estas máquinas ejecutan fuerzas elevadas que pueden causar la fractura de la chapa.

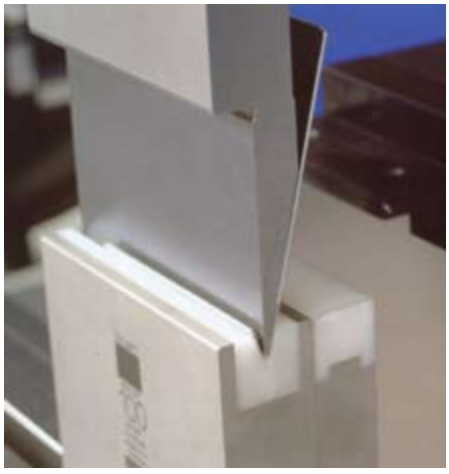


Foto: Fascination of Sheet Metal.

c) Doblar la lámina por estiramiento, proceso que consiste en sujetarla y someterla a tracción, mientras que es doblada. Esta técnica se utiliza para reducir la recuperación en el conformado por estiramiento de las piezas con elevada profundidad, como es el caso de las carrocerías para automóviles.

d) Regolpear la pieza en la matriz original con herramientas especiales, una vez se ha producido la recuperación de la lámina, esta técnica ayudará a reducir este fenómeno a su nivel más bajo.

e) Por último, realizar las operaciones de doblado a temperaturas elevadas, esto ayudará a minimizar la recuperación.

Además de las anteriores recomendaciones es necesario tener en cuenta que, en ciertos momentos y en condiciones especiales, es posible que se genere el fenómeno de recuperación negativa, el cual se da cuando el ángulo final de la pieza es mayor, una vez se ha terminado el proceso.

La recuperación negativa se origina a causa de las grandes deformaciones que el material a experimentado en el área de doblez, sobre todo cuando el operario utiliza procesos como el doblado de fondo, en el cual la presión de la lámina es mayor.

- *Fuerza de doblado:* es la carga que se ejerce sobre la pieza, mediante el punzón, al momento del doblado y el resultado depende de la resistencia del material, las condiciones geométricas de la lámina (la longitud de doblado, y el grosor de la chapa) y de la abertura de la matriz.

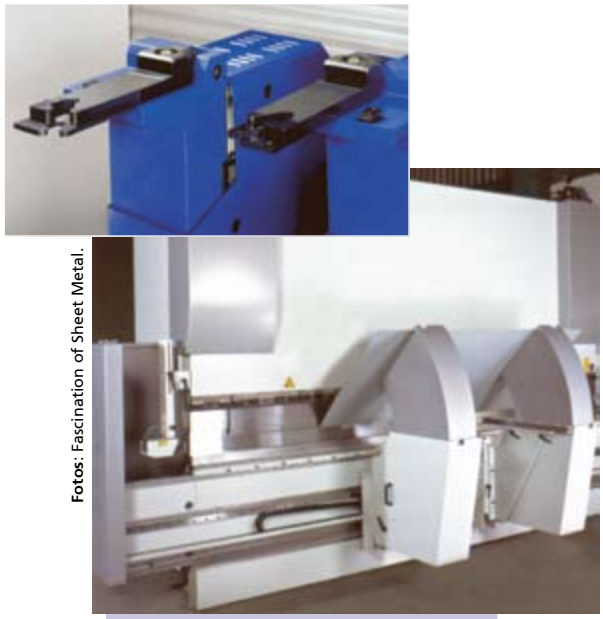
  Para calcular la fuerza de doblado es necesario entonces, aplicar la siguiente fórmula:

$$F = k \frac{l t^2 S_{ut}}{W_d}$$

  Donde *l* es la longitud de doblado; *t*, el grosor de la chapa; *w*, la ranura de la obertura de la matriz; S_{ut} , el esfuerzo de la tracción final y el valor *K*, un factor geométrico que, para la matriz en forma de V, es de 1.2 y 1.33; con dado deslizante y en matrices en U, es de 0.25. Otros estudios consideran un único valor de *K* para cada tipo de plegado, que es igual a 0.33, para el doblado en dado deslizante y para matrices en forma de U, es de 0.66.

- *Capacidad de doblado:* se mide en función de la resistencia mecánica del material o de su capacidad para resistir las fuerzas aplicadas, sin romperse; en este factor influye el radio mínimo de doblez, longitud del material y espesor de la lámina.

  Para calcular la longitud y en general el conformado de una pieza, el operario lo puede hacer de dos formas: haciendo pruebas de doblado y prototipos previos, o conociendo la posición exacta de la fibra neutra.



Fotos: Fascination of Sheet Metal.

Maquinaria especializada para realizar procesos de plegado.

metabo
work. don´t play.

Desbastar
Amolar
Tronzar.

A pocas herramientas se les exige tanto como a una pulidora.

Encuentre siempre la máquina y el disco exacto que necesita en 4 1/2", 5", 7" ó 9"

Contamos con los últimos avances técnicos en equipos de uso industrial, para poder decir:

metabo

• Respaldo total • Repuestos originales
• Servicio técnico especializado
Garantía • Accesorios

Distribuidores autorizados a Nivel Nacional

Importador exclusivo
DURESPO S.A.

Bogotá: Autopista Norte N° 122 -78 PBX:(1) 603 62 62
Itagüí: Autopista Sur N° 29 - 97 PBX: (4) 444 62 62

metabo@durespo.com.co
www.durespo.com.co

En el primer caso, el operario debe tener presente que, si después de ser doblada la pieza, la aplana para conocer su desarrollo y proceso de transformación, éste habrá variado notablemente, pues las zonas dobladas del material estuvieron sometidas a fuerzas de tracción y en consecuencia, de estiramiento y por ende, es muy difícil calcularlo.

La fibra neutra, es la línea de material, donde las moléculas no se han modificado como consecuencia de las fuerzas de tracción o compresión a las que el material ha estado sometido cuando se dobla, por eso este factor es la mejor opción para calcular el desarrollo de la pieza.

Este fenómeno sólo se produce en las zonas donde hubo doblez, puesto que en las regiones planas, las fibras permanecen inalterables antes, durante y después del plegado. Vale anotar que la fibra neutra no siempre se encuentra en el centro de la chapa, sino que toma una posición diferente, según el espesor del material y el radio de doblado.

Existen otros factores variables que influyen en el cálculo de la fibra neutra como por ejemplo: las diferencias centesimales que se hallen en el espesor de la chapa, la lubricación de las misma al ser doblada y las tolerancias, mas o menos ajustadas, entre el punzón y la lámina.

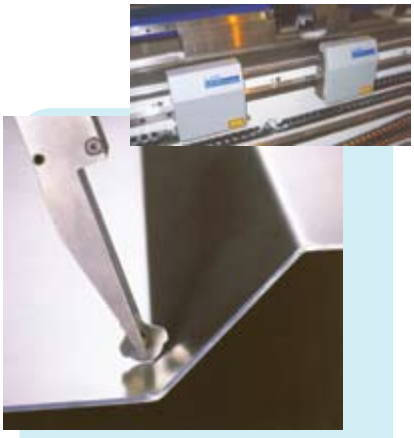


Foto: Fascination of Sheet Metal

El punzón y la matriz son clave para un plegado de calidad.

Debido a lo anterior, los expertos recomiendan mantener las mismas condiciones de trabajo durante todo el tiempo de producción, con el fin de reducir los efectos negativos que puedan aparecer sobre la pieza.

Equipamiento del Doblado

Las prensas son las máquinas-herramientas utilizadas en el doblado, algunas de ellas integran componentes y/o deformaciones especiales, con el objetivo de plegar piezas de longitudes mayores; de hecho, las constantes exigencias de los clientes en cuanto a la calidad, no sólo en el material, sino en el producto terminado, han causado un aumento en la tecnología, propia de estos equipos, y en el herramental utilizado en dicho proceso (punzón-matriz).

Las matrices más comunes en la industria son las que tienen varias ranuras en V (ver figura a y b), característica física que afecta, en gran medida, la rigidez de estas herramientas, provocando influencia negativa en la fuerza del doblado y en el desplazamiento del punzón, dos factores que, a su vez, se traducen en falta de precisión en la pieza. Por tal razón, y para evitar este tipo de inconvenientes, en la actualidad, algunas empresas del sector optan por utilizar en sus procesos productivos, matrices con una sola ranura en V.

En cuanto a los punzones, los más comunes se caracterizan por tener secciones simples, algunos de ellos con una parte cóncava que ayuda a eliminar posibles choques de la herramienta contra el material de trabajo. También se encuentran los llamados "cuellos de ganso" (Ver figura c y d) que, aunque menos comunes en la industria, se utilizan con propósitos muy especiales, particularmente, para el doblez de láminas en forma de U.

Es importante mencionar que la gran mayoría de fabricantes de prensas y las empresas que las utilizan, poseen adaptadores especiales para los punzones de doblado, es por esto

Figura a

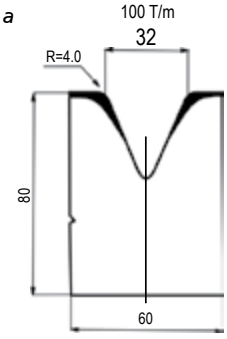


Figura b

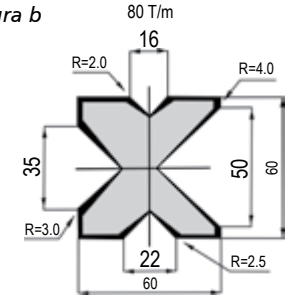


Figura c

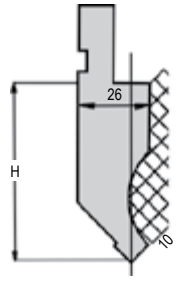
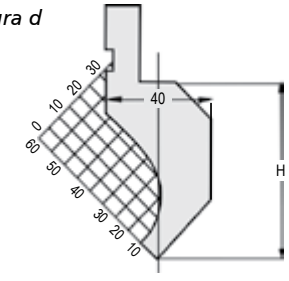


Figura d



que en el mercado no existe una estandarización de este tipo de herramientas y, por lo regular, sólo se acoplan en las máquinas para la cual fueron diseñados.

De otro lado, y debido al surgimiento de nuevos tipos de acero de alta resistencia, las empresas requieren cada vez más herramental de alta calidad que pueda resistir las fuerzas que se generan durante el doblado; sin embargo, el buen funcionamiento de un punzón o matriz,

no sólo está dado por sus niveles de calidad, sino por el buen uso que el operador haga de ellos durante el proceso de trabajo. A continuación se reseñan algunas recomendaciones al respecto.

- Al doblar materiales duros, tenga en cuenta que el radio de la punta del punzón y los radios de los hombros en los dados de la matriz deben ser templados y permanecer intactos; mientras más profunda sea la zona de templado mucho mejor, pues cualquier ruptura en esta área conducirá al rápido deterioro de las superficies de trabajo, reducción en la precisión dimensional de la pieza y, por consiguiente, a un aumento en los costos del herramental.

- Recuerde que los ángulos de las herramientas son los que permiten realizar sobredobleces para compensar la recuperación elástica en el material, por eso, asegúrese que el herramental que planea usar incluya una arista, tanto en el punzón como en el dado de la matriz, que brinde capacidad adecuada para llevar a cabo dicha operación.

- Debido a que los aceros duros tienen alta resistencia a la tracción, la cantidad de recuperación elástica, probablemente, será mucho mayor en comparación con la que se da en el doblez de materiales suaves como el aluminio; por tal razón, tenga en cuenta que un herramental común nunca será capaz de alcanzar este parámetro.

- Considere la opción de utilizar segmentos modulares pequeños de herramental para trabajar materiales gruesos, ya que éstos permiten un cambio en las herramientas de manera más rápida y segura, más aún cuando alcanzan radios grandes de punta; además estos componentes eliminan la necesidad de requerir personal adicional y/o carretillas elevadoras para levantar los punzones y matrices durante el proceso de ajuste de la prensa.

Para concluir, es importante señalar que, llevar a cabo un buen doblado de lámina depende en un 90 por ciento de cuidar cada uno de los parámetros y recomendaciones citadas a lo largo de este artículo, sin duda existen otros factores que influyen durante este proceso, incluso los que la misma experiencia en este tipo de operaciones ofrece; en todo caso, lo más importante es realizar un trabajo "bien hecho".

Citas

1) El texto traduce: Los principios de los procesos de fabricación de los metales y fue escrito por Beddoes, J. en el año 1999 en la ciudad de Londres.

Fuentes:

- **Helberth Ramírez.** Ingeniero Haefele. **helberth.ramirez@haefele.de**
- Técnicas del Doblado, ASCAMM, Centre Tecnologic.
- Contribución al estudio del proceso de doblado al aire de chapa. Modelo de predicción de ángulo de recuperación y del radio de doblado final. Maria Luisa García-Romeu de Luna. Universidad de Girona.