



⑥ Soluciones de plegado – Parte III – Plegado al aire

En entrega anterior (2), se mencionaron las 9 reglas básicas o reglas de referencias que se deben conocer para trabajar la chapa, las que denominamos el ABC del plegado. En esa entrega se mencionaron las mismas relacionadas con el plegado al aire, sin entrar en detalles.

En este espacio pretendemos, dar una explicación ampliada sobre el procedimiento de selección del herramental para plegado al aire.

PLEGADO AL AIRE

En el Plegado a Fondo y Acuñado, el radio de la punta del punzón establece el valor del radio interior de la pieza curvada, por lo que el mismo se puede insertar directamente en las fórmulas de deducción de curvado. Pero para el caso de Plegado al Aire, la determinación del radio interior del plegado agrega cierta complejidad, porque este método produce un radio interior de forma diferente.

En el Plegado al aire, el Radio interior es un porcentaje de la abertura de la matriz (la que determina el radio interior de plegado en la pieza).

Aquí es donde aparece otro cálculo muy utilizado por los técnicos, **la Regla del 20%**, para determinar el radio interior de plegado en función de la abertura de la matriz, el tipo de material y el espesor de chapa. Para que esta regla se cumpla, se debe cumplir también que el espesor del material equivalga a un cierto porcentaje de la abertura de la matriz.

Un valor porcentual estándar preciso es imposible determinar, teniendo en cuenta la cantidad de materiales con muchas aleaciones de hoy en día, no obstante, existen datos empíricos testados para los grupos de materiales más usados, las que podemos utilizar como referencia y punto de partida.

Valores de referencia para aplicar la Regla del 20%. Rango de valor a multiplicar por la abertura de la matriz para calcular el radio interior de plegado.

- En acero inoxidable **AISI 304**, de Resistencia a la flexión **54Kg/mm²**, asumir rango de **20 - 22%**;
- Para acero laminado en frío, **AISI 1060**, de Resistencia a la flexión **48,5Kg/mm²**, asumir rango de **15-17%**;
- Para aluminio blando **serie H**, asumir un rango de **13-15%**;
- **AW5052 (5052 H32)**, de Resistencia a la flexión **21Kg/mm²**, asumir rango de **9-11%**.

NOTAS:

1. Cuando se usa esta regla, primero empezaremos usando el valor medio del porcentaje. Por ejemplo, en el caso de acero inoxidable 304, usaremos como primer valor de cálculo, el valor medio 21%, es decir, multiplicaremos la abertura de la matriz por 0,21 y luego reajustaremos este de ser necesario, siempre recomendado utilizar un valor dentro del rango mencionado.
2. Si el material a utilizar es diferente a los 3 mencionados, puede buscar la resistencia a la tensión de este material y compararla con los valores de referencia, y modificar el rango de porcentaje en la misma proporción que difiere la Resistencia a la flexión entre ellos



1. Cálculo del radio interior de plegado.

Cuando se hizo referencia a la “Elección de la matriz ideal”, en la publicación anterior, mencionamos la regla más general y más difundida, la que expresa que: **“Para un cálculo preliminar y rápido siempre se piensa en 8 veces el espesor (8 x E), pero para mayor precisión adoptando una decisión de fuerza ideal de plegado se debe tener en cuenta otras relaciones en función del espesor de la chapa, como se muestra en la siguiente tabla”.**

Rango espesores	0,5 – 2,6	3 – 8	9 – 10	> 10
V recomendada	6 x Espesor	8 x Espesor	10 x Espesor	12 x Espesor

La regla de 8xE, es una regla empírica antigua basada en las experiencias con el acero laminado en frío de una resistencia a la tensión de 55Kgf/mm², que establece que la mejor práctica es elegir un ancho de abertura de matriz que sea 8 veces el espesor del material. Generalmente, con esta regla se obtienen los mejores resultados, se facilita el conformado y se alcanza la estabilidad del ángulo de doblez al trabajar dentro de los requerimientos de tonelaje.

Aplicando esta regla descubrirá que puede obtener un radio interior aproximadamente igual al espesor del material.

De todos modos, “8xE” es sólo una referencia, y el factor puede aumentar o disminuir con el espesor del material. A veces, el ancho de la abertura de la matriz es igual al espesor del material multiplicado por 6 (6xE), otras veces 10 (10xE) o 12xE, como ya les mostramos en la tabla anterior. Muchas veces para poder hacer un ala más pequeña requerimos de bajar esta relación de abertura matriz, opción aceptada con sus correspondientes inconvenientes: aumenta el tonelaje necesario para hacer el plegado, disminuye el radio interior de curvado, y dependiendo del tipo de material pueden producirse agrietamientos en la línea de curvado.

La regla de 8xE es una buena regla general que mantiene los tonelajes en valores bajos y las partes estables, al menos hasta cierto punto. Sin embargo, desafortunadamente, con esta regla no se toma en cuenta los diferentes tipos de materiales y su comportamiento variado, para el caso de materiales especiales como el HARDOX y sus similares, se debe prestar especial atención a las recomendaciones del fabricante en cuanto al Radio Mínimo de plegado para evitar fisuras del material durante el plegado.

La regla del 20%, define el radio interior en un plegado al aire en una matriz específica. A diferencia de la regla de 8xE, esta regla puede relacionarse (factorizarse) de acuerdo con el tipo de material.

Si hacemos uso de los valores porcentuales de la regla del 20%, para el caso de acero inoxidable AISI 304, los cálculos de Radio Interior de plegado en función de la abertura de la matriz, serán los siguientes, asumiendo el uso de matrices con V12, V16 y V24 para un espesor de 2mm.

Regla 21%	Ecuación	Radio interior del doblez
Rint. del doblez con V12	V12 x 0,21	2,52 mm
Rint. Del doblez con V16	V16 x 0,21	3,36 mm
Rint. Del doblez con V24	V24 x 0,21	5,04 mm



Si el material no coincide con ninguno de los referenciados en el recuadro, digamos que nuestro material tiene el doble de la resistencia mecánica que el AISI 1060, por ejemplo, 97Kg/mm², entonces su valor porcentual estimado será dos veces mayor que el acero laminado en frío, por lo que podemos decir que su rango sería entre 30 - 32%, por lo que en este caso el valor a multiplicar por la abertura de la matriz inicialmente sería de del 31% (0,31).

NOTA: La regla del 20% simplemente describe el radio interior resultante al doblar al aire, y se usa para calcular las deducciones del doblado. Sin embargo, usualmente no es un medio para calcular la abertura de la matriz, porque no toma en cuenta los límites de tonelaje soportado o la recuperación elástica del material, aunque nos puede acercar a un valor aceptable.

Como resultado, de los cálculos anteriores, vemos que para espesor de 2mm, con V12mm el Radio Interior de plegado sigue siendo inferior al espesor del material, por lo que la formulación de 6 veces el espesor (6xE) se cumple tal y como se muestra en la tabla de selección de la matriz, mejor que la formulación general de 8 veces el espesor (8xE). Incluso en este caso, si se requiere que el radio interior fuese igual al espesor podríamos usar una matriz de V10mm, pero..... antes debemos de verificar otros parámetros que pueden limitar este cambio, como es los Ton/m que soporta la matriz en comparación con los que necesitaríamos para plegar la chapa con una V inferior.

Sin embargo, como ya mencionamos anteriormente, como en este cálculo no se ha considerado la recuperación elástica del material ni los límites de tonelaje de los utillajes o la máquina, este valor de abertura de matriz obtenido puede ser pequeño, y podría sobrecargar seriamente la plegadora o el utillaje, por lo que se debe chequear estos antes de tomar la decisión de usar esta matriz.

Espesor 2mm
AISI 304. Rm= 54Kg
Radio interior 2mm

Por Regla del 20% es posible: V10 x 0,21 = Radio Interior (2,1)

$$\text{Por fuerza: } \text{Ton} = \frac{K \times E^2 \times \sigma_m \times L}{V} = \frac{1.6 \times 2^2 \times 54 \times 1}{10} = 34,56 \text{ T/m}$$

Con este valor obtenido tenemos que analizar si es posible el uso de una matriz de V10mm para hacer esta pieza o no, por lo que debemos de verificar los siguiente:

- ¿Nuestra máquina tiene el tonelaje suficiente para hacer el plegado?, es decir, puede hacer 34.56T/m.
- ¿La matriz que utilizaremos es capaz de soportar los 34.56T/m?

Por regla general los utillajes estándar pueden soportar esos tonelajes por metro, pero es muy importante que chequee siempre ello antes de proceder a usarlos.

En el caso de la capacidad de la máquina también debe verificarse. Continuando con el ejemplo usado para los cálculos, si asumimos que cuenta con una plegadora capaz de hacer como máximo 50T en 2 metros, y su pieza mide 2m, no podrá hacer la pieza en esa plegadora utilizando la matriz V10, porque requerirá en total una máquina capaz de hacer al menos 69,12T como mínimo, no obstante, si su pieza solo tiene una longitud de 1m o menos no tendrá problema para hacerla.



De igual forma, para conocer la máxima longitud que se puede plegar con estas condiciones, utilizaremos una sencilla formulación:

$$\text{Máxima longitud} = \frac{\text{Tonelaje máximo de la máquina}}{\text{Tonelaje/m con la matriz}} = \frac{50T}{34.56T/m} = 1.4m$$

Por tanto, 1.4m sería aproximadamente la máxima longitud que podría plegar con V10 en esa máquina.

Asegúrese de que el radio de doblez interior que se quiera obtener sea al menos el equivalente al 63% del espesor.

A diferencia del Plegado a Fondo y Acuñado, donde el radio mínimo suele ser inferior al espesor, en el plegado al aire (agudo), hay un radio mínimo que se puede producir por la formación del aire, el mejor valor a obtener debe ser el 63% del espesor del material, ese valor puede subir o bajar en función de la resistencia a la flexión del material, pero nunca debe ser inferior a 1 vez el espesor.

El 63% suele ser un valor muy práctico.

En el plegado al aire, el radio exterior de plegado no entra en contacto con la matriz, y este forma parte de un tanto por ciento de la abertura de la matriz.



Pero para el caso que nos ocupa (plegado al aire), que lo que se busca es una relación 1 a 1, entre el espesor del material y el radio interior del plegado, sí es factible, siempre que los requerimientos de tonelajes estén acordes a lo que soporta el herramental y pueda hacer la plegadora que utilizaremos en esta operación.

Esta regla del 63% también es una buena directriz para la selección del punzón.

En el plegado al aire, el radio de la punta del punzón no crea el radio interior del plegado. Sin embargo, el radio de la punta del punzón siempre debe ser al menos un 63% del espesor del material, que es la etapa donde el plegado se vuelve agudo; y por supuesto, se necesita asegurarse de que el ángulo de la matriz sea mayor que el ángulo del punzón. Esto último no es requisito indispensable, pero si recomendado para evitar fracturas en la matriz por exceso de penetración o fuerza en el caso de que el ángulo de esta sea inferior al del punzón.

Por ejemplo: Si está trabajando con un espesor de 2mm. Si multiplicamos este por 0,63, obtendremos como resultado un Radio Interior de plegado de 1,26mm.

Para este material (2mm de espesor), este es el radio interior mínimo que se puede generar en plegado al aire. Esto quiere decir que, aunque el Radio de la punta del punzón fuera inferior a 1,26mm, el radio interior del plegado seguiría siendo de 1,26mm, es decir, el 63% del espesor de la chapa, por lo tanto, no es necesario utilizar en sus cálculos ni cambiar el radio de la punta del punzón para uno inferior si quiere obtener un radio interior de plegado inferior al 1,26mm en este caso, porque no influiría en él.

Resumiendo, un radio de la punta del punzón inferior al 63% del espesor del material a plegar no influye en disminuir el radio mínimo interior del plegado.



Siguiendo con el ejemplo anterior, Espesor a plegar 2mm, Radio de punta del punzón: 0,8mm (dimensión mucho más pequeña que el 63% del espesor = 1,26mm), a pesar de que el radio del punzón es de tan solo 0,8mm, de todos modos, el radio mínimo interior del plegado seguirá siendo de 1,26mm.

Citaremos otro ejemplo, Espesor 3mm, por la regla del 63%, el Rint de plegado mínimo será de 1,89mm.

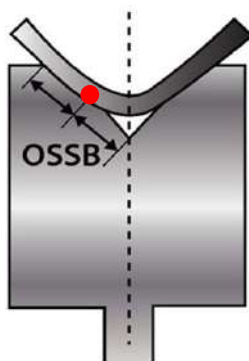
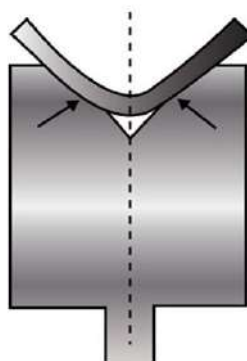
Por tanto, cualquier punzón que se use en este plegado al aire agudo, con un radio de punta inferior a este valor de 1,89mm, hablemos de valores estándares como R1,5 ó R0,8 ó R0,5, producirán un plegado con un Rint mínimo de 1,89mm.

RESUMEN

En los plegados a Fondo y Acuñado, el radio del punzón si influye en el Rint de plegado, y en estos casos puede usar este valor de radio del punzón en sus cálculos.

Pero en el caso de plegado al aire, no es así, el Radio Interior del plegado puede ser un tanto por ciento de la abertura de la matriz y **si este es un plegado al aire agudo, el radio interior del plegado será un 63% del espesor a plegar.**

2. Abertura ideal de la matriz por cálculos geométricos



- la tangente al doblado, trazada desde donde empieza el radio, debería de estar idealmente a la mitad de la cara de la matriz. (●)
- En este caso, la mitad de la cara de la matriz debería ser igual a lo que acotaremos como **OSSB**.

donde **OSSB** (OutSide SetBack), es la distancia desde el vértice exterior del plegado hasta el punto tangente al radio exterior del plegado.

Si realizamos un análisis geométrico, de cómo determinar la abertura ideal de la matriz (una en que el plegado ocurra a la mitad de su cara), entonces debemos de usar la siguiente formulación:

$$\text{Abertura perfecta de la matriz} = (\text{Radio exterior del plegado} \times 0.7071) \times \text{Factor}$$

(Nota: Esta formulación fue tomada de una publicación de www.thefabricator.com)

Donde:

- **Radio exterior del plegado** se obtiene como la suma del radio interior deseado y el espesor del material.
- **Factor** sería igual a 4, si quisiéramos usar un valor lo más cercano posible a un valor geométricamente perfecto, si hablamos en términos prácticos, pero sin tener en cuenta la recuperación elástica.



Como no asumir recuperación elástica, sería una suposición no realista, debemos incrementar ligeramente este **Factor**.

Valores más realistas para este **Factor** son:

Espesor	Factor
< 3mm	4.85
3-6mm	5.85
> 6mm	No se aplica esta formulación

Este método para seleccionar la abertura de la matriz mantiene las relaciones consistentes si el radio es grande y el material fino, o si el material es grueso y el radio es pequeño.

Para este ejemplo, de radio interior deseado de 2mm y espesor de la chapa de 2mm, se obtendría un radio de plegado exterior de 4mm.

Abertura perfecta de la matriz = (Radio exterior del plegado x 0.7071) x Factor

Abertura perfecta de la matriz = (4 x 0.7071) x 4.85 = 13.7mm

A partir de este cálculo obtenido, y de la probabilidad de que en su taller no tenga una abertura de matriz equivalente, se deba tomar la decisión de buscar la matriz más cercana existente al valor calculado, por lo que teniendo los valores estándares de las mismas, posiblemente deberá escoger entre una V12 ó V14.

IMPORTANTE: Elegir una abertura de matriz disponible lo más cercana al cálculo, mantendrá su radio de doblez interior lo más cerca posible del valor asumido, por tanto, esto puede suponer que el tonelaje en exceso no será un problema si se usa una abertura inferior, no obstante, es recomendado siempre realizar los cálculos de tonelajes por metro con la matriz seleccionada.

3. Calcule los requerimientos de tonelaje.

Ahora que ya se han determinado por las diferentes reglas la abertura ideal de la matriz, y radio interior de plegado, así como el Radio de la punta del punzón, se necesita verificar que no se exceda el tonelaje disponible de la plegadora o del herramental.

Para el material que hemos venido ejemplificando, los requerimientos de tonelaje por abertura de la matriz son acordes a la siguiente tabla, a partir de la cual se puede decidir que matriz de las existentes en el taller podemos utilizar teniendo en cuenta el criterio de esfuerzo capaz de soportar el utillaje o de la capacidad de la máquina.

E (mm)	2			Rm	60Kg/mm ²
V (mm)	12	14	16	20	24
F (T/m)	31.4	25.7	21.4	15.7	13.6
Ri (mm)	1.8	2.1	2.4	3	3.6

Puede seguirnos en nuestra web: www.indocamaquinaria.com

Youtube: https://www.youtube.com/channel/UCNdgyC1ddwRQ76X_2rJn7gg

Instagram: <https://www.instagram.com/indocamaquinaria/?hl=es>