



Escola Universitària d'Enginyeria
Tècnica Industrial de Barcelona
Consorci Escola Industrial de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Memoria



"DISEÑO DE UNA MATRIZ PROGRESIVA PARA CHAPA"

PFC presentado para optar al título de Ingeniero
Técnico Industrial especialidad MECÁNICA
por **Marcos Ferreiro López**

Barcelona, 15 de Junio de 2011

Tutor proyecto: Miquel Serra Gasol
Departamento de Ingeniería Mecánica (D712)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

ÍNDICE

Índice	1
Resumen	5
Resum	6
Abstract	7
Capítulo 1: Objetivo	9
1.1. Definición del proyecto	9
1.2. Alcance del proyecto	10
Capítulo 2: Estudio de la pieza.....	11
2.1. Descripción de la pieza	11
2.2. Material de la pieza	12
Capítulo 3: Proceso de fabricación.....	14
3.1. Selección del proceso de fabricación	14
3.1.1. Generación y planteamiento de las posibles alternativas	14
3.1.2. Selección de la alternativa más adecuada.....	15
3.1.3. Selección del tipo de matriz progresiva	16
3.1.4. Matriz progresiva de cortar y doblar	16
3.1.5. Componentes de la matriz progresiva	17
3.2. Optimización de la banda de chapa.....	18
3.2.1. Distancia de separación entre piezas	18
3.2.2. Separación entre una pieza y el borde del fleje	18
3.2.3. Determinación del paso	19
3.2.4. Rendimiento de la banda de chapa	19
3.2.5. Disposición de piezas sobre la banda de chapa.....	19
3.3. Etapas del proceso de fabricación	22
Capítulo 4: Diseño de la matriz progresiva.....	23
4.1. Placa base inferior	25
4.2. Placa matriz.....	26
4.3. Guías de banda	27
4.4. Placa pisadora.....	28
4.5. Placa guiapunzones.....	29
4.6. Placa portapunzones	30

4.7.	Placa sufridera	31
4.8.	Placa base superior	32
4.9.	Vástago	33
4.10.	Punzones.....	34
4.10.1.	Punzón de posicionamiento	34
4.10.2.	Punzón coliso pequeño	35
4.10.3.	Punzón coliso grande	35
4.10.4.	Punzón redondeo 5mm.....	36
4.10.5.	Punzón redondeo 2mm.....	36
4.10.6.	Punzón doblado.....	37
4.10.7.	Punzón corte.....	37
4.11.	Elementos normalizados.....	38
4.11.1.	Columnas guía	38
4.11.2.	Casquillos guía	39
4.11.3.	Muelles	39
4.11.4.	Topes guía	39
4.11.5.	Tornillos.....	39
4.11.6.	Pasadores	40
Capítulo 5:	Cálculos.....	41
5.1.	Fundamentos de corte de la chapa	41
5.1.1.	Descripción de un proceso de corte	41
5.1.2.	Fenómenos que se manifiestan durante el corte de la chapa.....	42
5.1.3.	Efectos producidos en la pieza por el corte de la chapa.....	43
5.1.4.	Dimensiones de las piezas troqueladas	44
5.2.	Fuerzas producidas en el corte de la chapa	44
5.2.1.	Fuerza de corte.....	45
5.2.2.	Fuerza de extracción.....	46
5.2.3.	Fuerza de expulsión.....	46
5.2.4.	Resistencia de los punzones al pandeo.....	47
5.3.	Tolerancia de corte	48
5.4.	Fundamentos de doblado de chapa	50
5.4.1.	Operación de doblado	50
5.4.2.	Descripción del proceso de doblado	51
5.4.3.	Fenómenos producidos en la pieza por el doblado de la chapa	52
5.4.4.	Determinación de la fibra neutra.....	53
5.4.5.	Cálculo de la longitud inicial de la pieza	55

5.4.6.	Ángulo de doblado.....	55
5.4.7.	Holgura entre punzón y matriz	58
5.5.	Fuerza de doblado	58
5.6.	Elección de los muelles	59
5.7.	Fuerza de la prensa.....	61
5.8.	Posición del vástago.....	62
Capítulo 6: Presupuesto		65
Capítulo 7: Prensa.....		66
7.1.	Tipos de prensas	66
7.1.1.	Prensas de accionamiento mecánico	66
7.1.2.	Prensas de accionamiento hidráulico.....	67
7.2.	Selección de la prensa	68
Capítulo 8: Sistema de alimentación		70
8.1.	Tipos de sistemas de alimentación.....	70
8.1.1.	Avance manual	70
8.1.2.	Avance semiautomático.....	71
8.1.3.	Avance automático	71
8.2.	Sistema automático de alimentación	72
8.2.1.	Alimentador	73
8.2.2.	Devanadora.....	74
8.2.3.	Aplanadora.....	75
Capítulo 9: Sistema de evacuación.....		76
Capítulo 10: Mantenimiento.....		78
10.1.	Factores de error	78
10.1.1.	Diseño de la matriz progresiva.....	79
10.1.2.	Prensa	79
10.1.3.	Materia prima	79
10.1.4.	Tipo de transformación: corte.....	80
10.1.5.	Tipo de transformación: doblado	80
10.1.6.	Geometría de la pieza	81
10.1.7.	Mantenimiento deficiente	81
10.2.	Pruebas de matriz	82
10.3.	Matrices en producción	85
10.3.1.	Tamaño de la pieza a obtener.....	85
10.3.2.	Grado de precisión requerido.....	85
10.3.3.	Características del material a transformar.....	85

10.3.4.	Calidad y precisión de la matriz.....	85
10.3.5.	Número de piezas a producir	86
10.4.	Mantenimiento general	86
10.5.	Mantenimiento preventivo	87
10.6.	Revisión de componentes	89
10.6.1.	Revisión de punzones.....	89
10.6.2.	Revisión de la placa matriz.....	89
10.6.3.	Revisión de la placa pisadora.....	89
10.6.4.	Revisión de la placa base inferior	90
10.6.5.	Revisión de muelles	90
10.6.6.	Revisión de elementos guía	90
10.7.	Mantenimiento correctivo	91
10.8.	Reparación y recambios	91
10.9.	Limpieza, engrase y control	92
Capítulo 11:	Medidas de seguridad	93
11.1.	Riesgos	93
11.2.	Protección de máquinas y herramientas.....	94
11.3.	Protección de los operarios	95
Capítulo 12:	Normativa.....	96
Capítulo 13:	Medio ambiente	97
Capítulo 14:	Bibliografía	98

RESUMEN

En este proyecto se describe el proceso de diseño de una matriz progresiva para la fabricación en serie de una pieza de chapa de acero.

Se realizará un estudio de dicha pieza y del proceso adecuado para fabricarla. El proceso de fabricación escogido será mediante una matriz progresiva, por lo que se estudiará la optimización de la banda de chapa, para obtener el mayor rendimiento, y las etapas de conformado de la chapa, para obtener la pieza.

Se hará el diseño de la matriz progresiva, tanto con elementos que se tengan que fabricar y necesiten sus respectivos planos, como con elementos normalizados. El diseño de la matriz estará justificado por los cálculos previos realizados.

Una vez hecho el diseño de la matriz progresiva, se realizará el presupuesto de esta, que incluirá los costes de ingeniería, los de los elementos normalizados, los de los elementos a fabricar y los de puesta en marcha.

Finalmente, se describirán las máquinas necesarias para el proceso de fabricación con matriz progresiva, así como las medidas de seguridad y el mantenimiento que tiene que tener la matriz.

RESUM

En aquest projecte, es descriu el procés de disseny d'una matriu progressiva per a la fabricació en sèrie d'una peça de xapa d'acer.

Es realitzarà un estudi d'aquesta peça i del procés adequat per a fabricar-la. El procés de fabricació escollit serà mitjançant una matriu progressiva, per la qual cosa s'estudiarà l'optimització de la banda de xapa, per a obtenir el major rendiment, i les etapes de conformat de la xapa, per a obtenir la peça.

Es farà el disseny de la matriu progressiva, tant amb elements que s'hagin de fabricar i necessitin els seus respectius plànols, com amb elements normalitzats. El disseny de la matriu estarà justificada per els càlculs previs realitzats.

Una cop fet el disseny de la matriu progressiva, es realitzarà el pressupost d'aquesta, que inclourà els costos d'enginyeria, els dels elements normalitzats, els dels elements a fabricar y els de la posada en marxa.

Finalment, es descriuran les màquines necessàries per al procés de fabricació amb matriu progressiva, així com les mesures de seguretat i el manteniment que ha de tenir la matriu.

ABSTRACT

This project describes the process of designing a progressive mould for the mass production of a piece of sheet steel.

There will be a study of this piece and the appropriate process to make it. The manufacturing process chosen will be a progressive mould, so we will study the optimization of the metal strip, for maximum performance, and the stages of forming the sheet, for getting the piece.

The progressive mould design will do, with elements that have to manufacture and require their respective plans, and standardized items. The mould design will be justified by previous calculations.

Once the design of progressive mould is done, there will be its budget, including engineering costs, costs of the standard elements, the cost of the items to manufacture and launch costs.

Finally, we will illustrate the machinery needed for the process of progressive mould manufacturing, the safety measures and maintenance

CAPÍTULO 1:

OBJETIVO

1.1. Definición del proyecto

El objeto del proyecto es el diseño de una matriz progresiva para la fabricación en serie de una pieza del sector de deportes y ocio, para una producción anual estimada de 600.000 piezas durante 2 años.

Se justifica el diseño de una matriz progresiva para fabricar la pieza debido a la gran producción requerida.

La matriz resultante deberá garantizar la homogeneidad de las piezas en la producción y ser capaz de reducir al mínimo el número de piezas defectuosas. Tendrá que ser económicamente y energéticamente rentable, para ello deberá alcanzar la amortización de forma rápida y tener un gran rendimiento. Deberá estar dotada de un funcionamiento automatizado y será de fácil mantenimiento y montaje. Sus componentes serán de gran resistencia mecánica y siempre que sea posible se utilizarán elementos normalizados. Por último se deberá cumplir la normativa CE.

Cabe destacar que en el diseño y la fabricación tanto de la pieza como de la matriz progresiva se tendrán en cuenta aspectos medioambientales para minimizar al máximo el posible impacto al medio ambiente.

1.2. Alcance del proyecto

En el proyecto se realizará el diseño de la pieza, el diseño de la matriz progresiva, la descripción de los componentes de la matriz y el presupuesto de la matriz. También se adjuntarán los cálculos realizados y los planos necesarios.

También, se incluirán la descripción de las máquinas necesarias para el proceso de fabricación con matriz progresiva, el mantenimiento de la matriz, las medidas de seguridad y los aspectos medioambientales que aseguren minimizar al máximo el posible impacto medioambiental.

CAPÍTULO 2:

ESTUDIO DE LA PIEZA

2.1. Descripción de la pieza

La pieza a fabricar (*figura 1*) es un selector de placas de 120x42mm y 2mm de espesor. Tiene tres colisos y un doblado a 90° en un extremo.

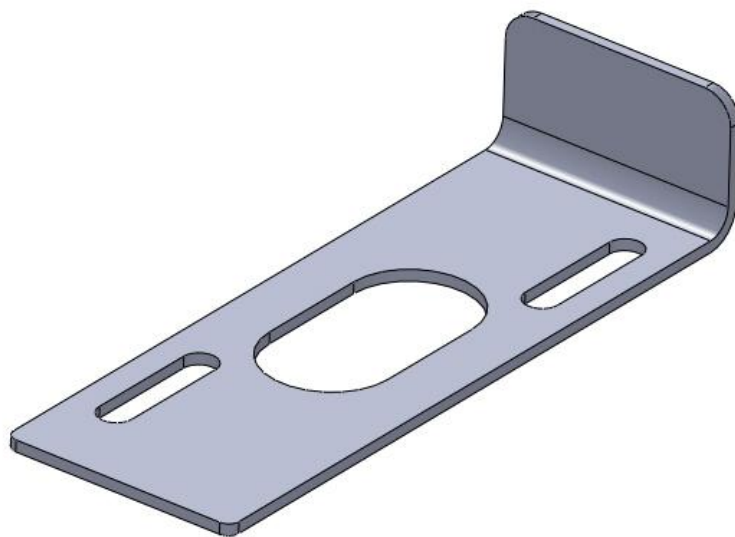


Figura 1. *Pieza.*

Su función es la de aumentar el peso a ejecutar en las máquinas de poleas (*figura 2a*) que se utilizan en los gimnasios. Con un movimiento manual, el usuario empuja la pieza, que es guiada con los colisos y unos tornillos hasta introducirse en el hueco del peso a añadir (*figura 2b*).



Figura 2a. Ejemplo de máquina de poleas.



Figura 2b. Posición del selector de placas.

2.2. Material de la pieza

El material de la pieza tiene que tener una resistencia media a la rotura ya que la pieza no soportará grandes cargas, pero si soportará una carga puntual en el extremo de esta. Dependiendo de la máquina en la que se utilice, esta carga será como máximo de 5kg. Dado que la carga se sitúa en el extremo de la pieza, en el espacio que sobresale un poco del resto de pesas, también será necesario que el material tenga una resistencia media al corte.

Dado que la fabricación de la pieza se hará mediante una matriz progresiva, en la que se realizarán operaciones de corte y de doblado, sería interesante que el material de la pieza no fuese excesivamente resistente para una fácil conformación de la pieza.

Por todo esto, se ha decidido que la pieza se fabrique en chapa de acero laminado y recocido con un 0,2% de carbono, con una resistencia al corte de 32Kp/mm^2 (314N/mm^2) y una resistencia a la rotura de 40Kp/mm^2 (392N/mm^2) (*tabla 1*).

El suministrador del acero será *ThyssenKrupp Aceros y Servicios S.A.* con el acero F-1120 (W. Nr. 1.0044). Para más información véase *Anexo B: Catálogos: Aceros: AISI 1020 (F-1120)*.

Además, es necesario que la pieza esté protegida contra la corrosión de manera adecuada, ya que el lugar de utilización será un gimnasio, en los que el ambiente suele ser bastante húmedo. Por esto, a la chapa de acero se le hará un cincado.

Tabla 1. Resistencia a la rotura y al corte de los materiales laminados más corrientes.

MATERIALES	Resistencia a la rotura en Kg/mm ²		Resistencia al corte en Kg/mm ²		Peso específico en Kg/dm ³
	Recocido	Crudo	Recocido	Crudo	
Acero laminado con 0,1% de C.	31	40	25	32	7.8 - 7.9
Acero laminado con 0,2% de C.	40	50	32	40	
Acero laminado con 0,3% de C.	44	60	35	48	
Acero laminado con 0,4% de C.	56	70	45	56	
Acero laminado con 0,6% de C.	70	90	56	72	
Acero laminado con 0,8% de C.	90	110	72	90	
Acero laminado con 1.0% de C.	100	130	80	105	
Acero laminado Inoxidable	65	75	52	60	
Acero laminado al sicilio	56	70	45	56	
Aluminio	7.5 - 9	16 - 18	6 - 7	13 - 15	2,7
Anticorodal	11 - 13	32 - 36	9 - 10	25 - 29	2,8
Avional (Duraluminio)	16 - 20	38 - 45	13 - 16	30 - 36	2,8
Aluminio en aleación (Siluminio)	12 - 15	25	10 - 12	20	2,7
Alpaca laminada	35 - 45	56 - 58	28 - 36	45 - 46	8.3 - 8.45
Bronce	40 - 50	50 - 75	32 - 75	40 - 60	8.4 - 8.9
Cinc	15	25	12	20	7.1 - 7.2
Cobre	22 - 27	31 - 37	18 - 22	25 - 30	8.9 - 9
Estaño	4 - 5		3 - 4		7,4
Fibra			17		
Latón	28 - 37	44 - 50	22 - 30	35 - 40	8.5 - 8.6
Oro			18	30	19.3 - 19.35
Plata laminada	29	29	23,5	23,5	10,5
Plomo	2,5 - 4		2 - 3		11,4

Tabla 2. Composición química (% en peso) del acero F-1120.

Acero	C	Si	P	S
F-1120	0,18-0,23	≤0,4	≤0,04	≤0,05

CAPÍTULO 3:

PROCESO DE

FABRICACIÓN

3.1. Selección del proceso de fabricación

3.1.1. Generación y planteamiento de las posibles alternativas

Para fabricar grandes series de piezas de chapa existen dos alternativas:

a) Matriz simple. Es una matriz que ejecuta una sola fase de todo un proceso productivo, por lo que si hay varias fases, como es nuestro caso, tendrá que haber tantas matrices simples como operaciones a realizar.

- Ventajas:
 1. Fácil diseño
 2. Baja inversión económica
 3. Posibilidad de reutilización de la matriz

- Inconvenientes:
 1. Díficil automatización del proceso
 2. Mayor mano de obra
 3. Necesidad de varias matrices simples
 4. Necesidad de varias prensas
 5. Coste de pieza elevado
 6. Menor producción

b) Matriz progresiva. Matriz concebida para ejecutar automáticamente y simultáneamente las diferentes fases de un proceso. La fabricación de piezas mediante estas matrices se efectúa a partir de una tira de material continua, que entra por un costado de la matriz y va avanzando por el interior; y, simultáneamente, se van ejecutando las distintas fases del proceso hasta obtener la pieza final.

- Ventajas:
 1. Fácil automatización del proceso de fabricación
 2. Reducción de la mano de obra
 3. Utilización de una sola matriz
 4. Utilización de una sola prensa
 5. Mayor producción
 6. Coste de pieza bajo
 7. Mayor aprovechamiento del material
- Inconvenientes:
 1. Mayor complejidad en el diseño
 2. Coste elevado

3.1.2. Selección de la alternativa más adecuada

Al ser una gran producción (1.200.000 piezas), y al tratarse de un proceso de fabricación en el que hay varias operaciones distintas, lo más recomendable es escoger la alternativa de la matriz progresiva, ya que si se escogiera la alternativa de la matriz simple, habría que realizar una matriz por cada operación, es decir, habría que realizar el diseño de varias matrices. Además, el coste aumentaría, ya que habría que utilizar más prensas, con lo que aumentaría la mano de obra y disminuiría la producción.

Con la matriz progresiva se abarataría el coste de la pieza, se tendría un alto grado de automatización en el proceso de fabricación, se reduciría la mano de obra, se conseguiría un mayor aprovechamiento del material y se conseguiría una mayor producción.

Por lo tanto, la alternativa más adecuada para este proceso de fabricación es diseñar una matriz progresiva.

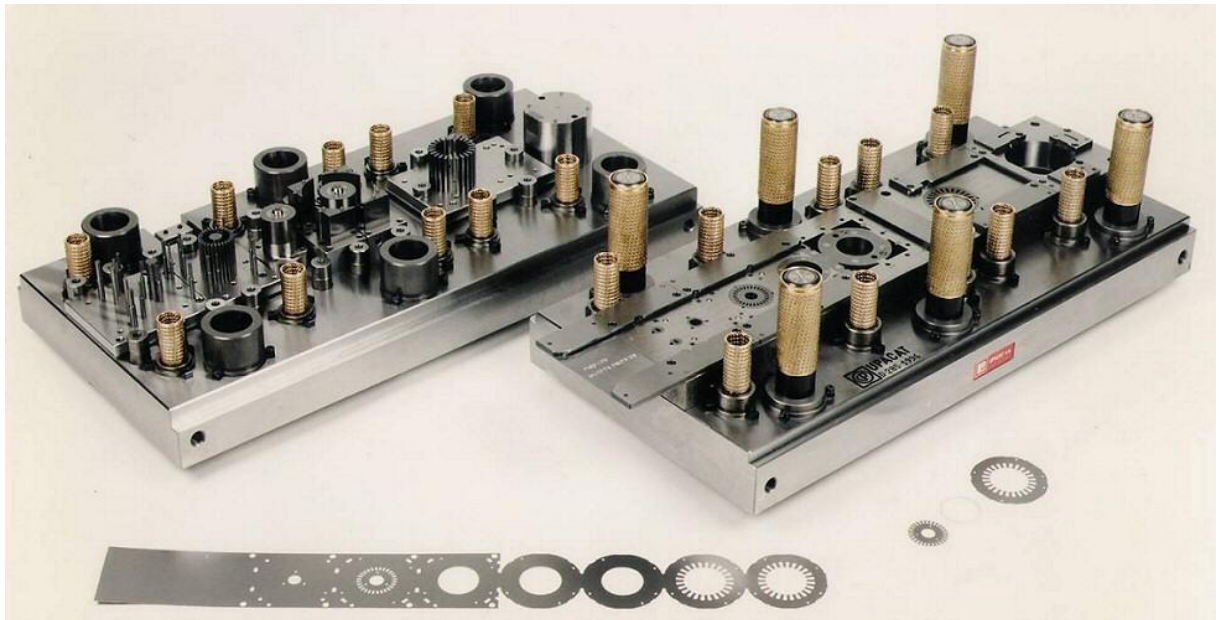


Figura 3. *Ejemplo de una matriz progresiva.*

3.1.3. Selección del tipo de matriz progresiva

Según las operaciones que realizan, las matrices progresivas se clasifican en:

- Matrices progresivas de corte
- Matrices progresivas de cortar y doblar
- Matrices progresivas de cortar y embutir
- Matrices progresivas mixtas

Para fabricar nuestra pieza, únicamente se tienen que realizar operaciones de corte y doblado por lo que se diseñará una matriz progresiva de cortar y doblar.

3.1.4. Matriz progresiva de cortar y doblar

Las matrices progresivas de cortar y doblar llevan elementos cortantes que perfilan la pieza antes de ser doblada, por lo que además de la dificultad propia de la operación de corte, habrá que añadir la de doblado y los factores que de ello se deriven.

En las operaciones de doblado hechas con matriz progresiva, deberemos poner especial atención en los siguientes puntos:

1. Centrar la banda mediante punzones piloto.
2. Prever un paso en vacío cuando existan doblados conflictivos.
3. Los doblados deberán tener salida para desplazarse posteriormente.
4. Cuidar que las fuerzas de doblado estén repartidas en la matriz.
5. Impedir el movimiento de la pieza durante su doblado.
6. Siempre que se pueda, hacer los doblados en sentido favorable a las fibras del material.
7. Tener siempre en cuenta el factor de retorno del material.
8. Evitar los radios de doblado inferiores al espesor de la chapa.

Las partes de la pieza que vayan dobladas, nunca deben presentar ralladuras o laminaciones en su superficie, puesto que equivaldría a un adelgazamiento en el espesor de la chapa, o un estiramiento excesivo del material, que daría lugar a piezas con un desarrollo erróneo en las partes dobladas. Para evitarlo, las caras de los punzones y la placa matriz en contacto directo con la chapa deben estar cuidadosamente rectificadas y pulidas impidiendo así el gripado de su superficie, por las partículas de material que quedan adheridas.

3.1.5. Componentes de la matriz progresiva

A continuación se nombran los componentes que van a formar parte de la matriz progresiva y en el *Capítulo 4* se detallaran de forma exhaustiva:

- 1 placa base inferior
- 1 placa matriz
- 1 placa pisadora
- 1 placa guíapunzones
- 1 placa portapunzones
- 1 placa sufridera
- 1 placa base superior
- 2 guías de banda
- 8 punzones de corte
- 1 punzón de doblado
- 4 columnas guía
- 8 casquillos guía
- 8 topes guía
- 8 muelles

- 1 vástago
- 22 tornillos
- 12 pasadores

3.2. Optimización de la banda de chapa

3.2.1. Distancia de separación entre piezas

La separación (S) que hay que dejar entre piezas deberá tener un valor mínimo que garantice, por una parte, cierta rigidez de la tira de material, pues ésta es condición indispensable para el buen funcionamiento de una matriz progresiva. La deformación de una tira de fleje por decaimiento o falta de rigidez, debido a una mínima separación entre las piezas cortadas, no trae más que problemas y continuos paros de máquina por avances erróneos del fleje, que frecuentemente acaban provocando averías de la matriz.

Además, la separación entre piezas deberá proveer suficiente material para el corte correcto de las piezas, sin que la figura de una interfiera sobre la otra, pues éstas saldrían incompletas y, por lo tanto, defectuosas. Del mismo modo, debe considerarse que una separación excesiva influiría de manera negativa en los costes de material, pues su desperdicio sería mayor.

La separación mínima entre piezas puede calcularse aplicando la siguiente fórmula:

$$S = 1,5 \cdot e \quad (1)$$

Por lo que la separación mínima que habrá que dejar entre piezas será:

$$S = 3mm \quad (2)$$

3.2.2. Separación entre una pieza y el borde del fleje

La separación mínima entre una pieza y el borde del fleje se calcula de la misma manera que la separación entre piezas:

$$S = 3mm \quad (3)$$

3.2.3. Determinación del paso

El paso (p) es la distancia que hay entre dos puntos homólogos de dos piezas situadas de forma consecutiva sobre un fleje de una anchura que viene determinada por la pieza a procesar. De ese modo, el valor del paso es la medida que avanza el fleje de material dentro de la matriz, entre dos golpes o ciclos consecutivos de la prensa.

El paso de un fleje de material puede calcularse aplicando la fórmula:

$$p = S + a \quad (4)$$

Donde:

S = separación entre piezas (mm)

a = anchura de la pieza (mm)

3.2.4. Rendimiento de la banda de chapa

El rendimiento es el parámetro que determina el grado de aprovechamiento del material. Es un factor muy importante tanto por motivos económicos como medioambientales. Un mayor rendimiento se traduce en un mayor beneficio económico y un menor consumo de recursos energéticos y materia prima, así como un menor impacto ambiental.

Se puede calcular el rendimiento con la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento} = \frac{(\text{Superficie de la pieza})}{(\text{Superficie unitaria de la banda de chapa})} \cdot 100 \quad (5)$$

Se tiene que tener en cuenta que la superficie de la pieza se refiere a la superficie interior del contorno de la pieza, es decir, no se tienen en cuenta los agujeros interiores.

3.2.5. Disposición de piezas sobre la banda de chapa

Uno de los aspectos más importantes a valorar en todo proceso productivo es el que hace referencia a la materia prima necesaria para la fabricación del producto.

En el caso de la matricería estamos hablando de chapa metálica, debidamente cortada en tiras o preparada en bobinas de una anchura determinada. Los costes de material, donde se incluyen también su parte de desperdicio, inciden de manera muy importante en el coste final de un producto.

Así, siempre que la forma de una pieza no presente grandes irregularidades, se considera un rendimiento óptimo de utilización del material cuando éste es aprovechado en un porcentaje cuyo valor oscila en torno al 75% – 80%. Es

importante tener en cuenta este detalle puesto que se puede obtener un ahorro importante de material, especialmente si se trata de producir grandes series o también, piezas de gran tamaño. La elección del formato de chapa, en plancha o en bobina, y la disposición de las piezas a cortar permiten optimizar los costes de material, repercutiendo notablemente en el coste final del producto.

Atendiendo a la forma geométrica de las piezas, existen varias disposiciones de éstas sobre el fleje de material:

- Normal
- Oblicua
- Invertida

Y dependiendo de la cantidad de piezas a fabricar:

- Simple
- Múltiple

Debido a la forma geométrica de la pieza a fabricar, lo más recomendable es utilizar una disposición normal, que puede ser horizontal o vertical.

A continuación se discute que opción es más rentable:

a) Disposición normal horizontal

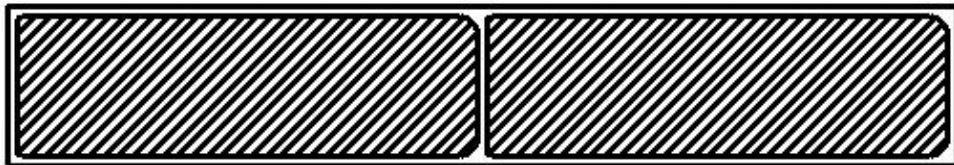


Figura 4. Disposición normal horizontal de la pieza (contorno exterior).

Utilizando la ecuación (4) se obtiene el paso:

$$p = 143mm \quad (6)$$

Superficie unitaria de la banda de chapa:

$$S_{paso} = 6864mm^2 \quad (7)$$

Utilizando el programa *SOLIDWORKS* se obtiene que la superficie de la pieza es:

$$S_{pieza} = 5867,55mm^2 \quad (8)$$

Por lo que el rendimiento se obtiene a partir de la ecuación (5):

$$\text{Rendimiento} = 85,48\% \quad (9)$$

b) Disposición normal vertical

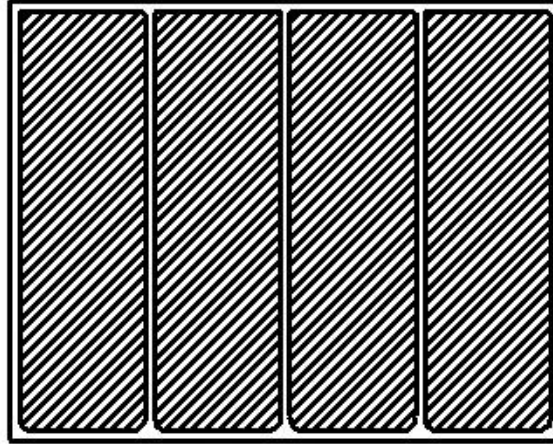


Figura 5. Disposición normal vertical de la pieza (contorno exterior).

Utilizando la ecuación (4) se obtiene el paso:

$$p = 45\text{mm} \quad (10)$$

Superficie unitaria de la banda de chapa:

$$S_{\text{paso}} = 6570\text{mm}^2 \quad (11)$$

El rendimiento se obtiene a partir de la ecuación (5):

$$\text{Rendimiento} = 89,31\% \quad (12)$$

Aunque las dos opciones tienen un buen rendimiento, el de la disposición normal vertical es mayor (89.31%), por lo que se escogerá esta opción para la fabricación de la pieza.

3.3. Etapas del proceso de fabricación

La fabricación de la pieza consta de 7 etapas:

1. La banda de chapa entra en la matriz y se realiza la primera etapa, en la que se punzonan los dos agujeros de posicionamiento.
2. En la segunda etapa se centra la banda de chapa con los pilotos centradores que van unidos al punzón y se punzonan los dos colisos pequeños.
3. En la tercera etapa se punzona el coliso grande.
4. La cuarta etapa, es una etapa de descanso, en la que no se le hace nada al material para evitar fatigarlo, debido a la poca distancia entre los punzones que se habría dejado en caso de no hacer esta etapa.
5. En la quinta etapa se corta el borde de arriba y el de abajo, para preparar el material para el doblado.
6. En la sexta etapa se realiza la operación de doblado.
7. En la séptima etapa se corta el trozo de chapa que une una pieza con la anterior, de modo que se obtiene la pieza final.

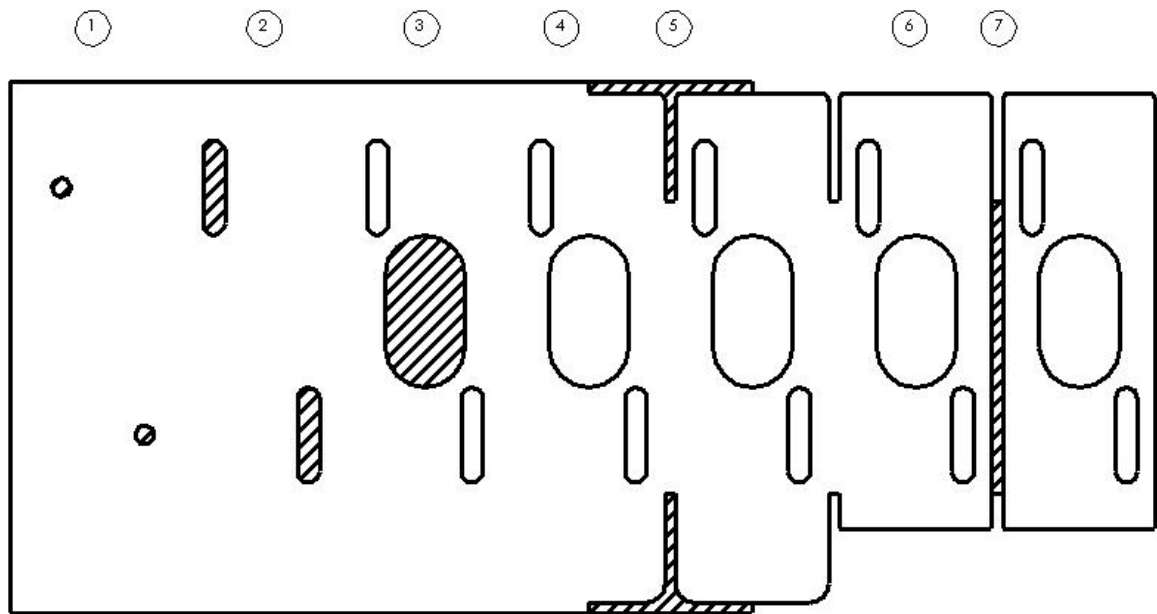


Figura 6. Esquema de la banda de chapa con las 7 etapas.

CAPÍTULO 4:

DISEÑO DE LA

MATRIZ PROGRESIVA

Todos los elementos constructivos que forman la matriz tienen que diseñarse para que cumplan con el trabajo que deben realizar.

Los materiales empleados para fabricar dichas piezas, así como los tratamientos térmicos y los acabados, son aspectos muy importantes a tener en cuenta que deben tratarse con atención si de verdad queremos obtener los mejores rendimientos a lo largo de la vida del utillaje. También hay que dedicar una atención especial a los distintos elementos normalizados que con más frecuencia se utilizan en la construcción de las matrices.

Los objetivos prioritarios de todos los componentes de la matriz son:

1. Hacer que su funcionamiento sea correcto.
2. Que la durabilidad sea adecuada.
3. Que las piezas fabricadas sean de calidad.

Para que se cumplan estos objetivos hay que cumplir con:

- Buen diseño de la matriz
- Buena construcción
- Buenos materiales de construcción
- Buenos tratamientos térmicos
- Buen mantenimiento

La matriz (figura 7) se compone de dos partes principales: una fija, que se sujeta a la mesa de la prensa, y la otra móvil, solidaria con el cabezal de la máquina.

La parte móvil de la matriz se desplaza 13,5 mm hasta que la placa pisadora pisa la banda de chapa y después se desplaza 8mm más, comprimiéndose los muelles entre la placa guiapunzones y la placa portapunzones, para realizar el proceso de corte y doblado de la chapa. Después, la parte móvil vuelve a su posición inicial para acabar un ciclo y empezar otro.

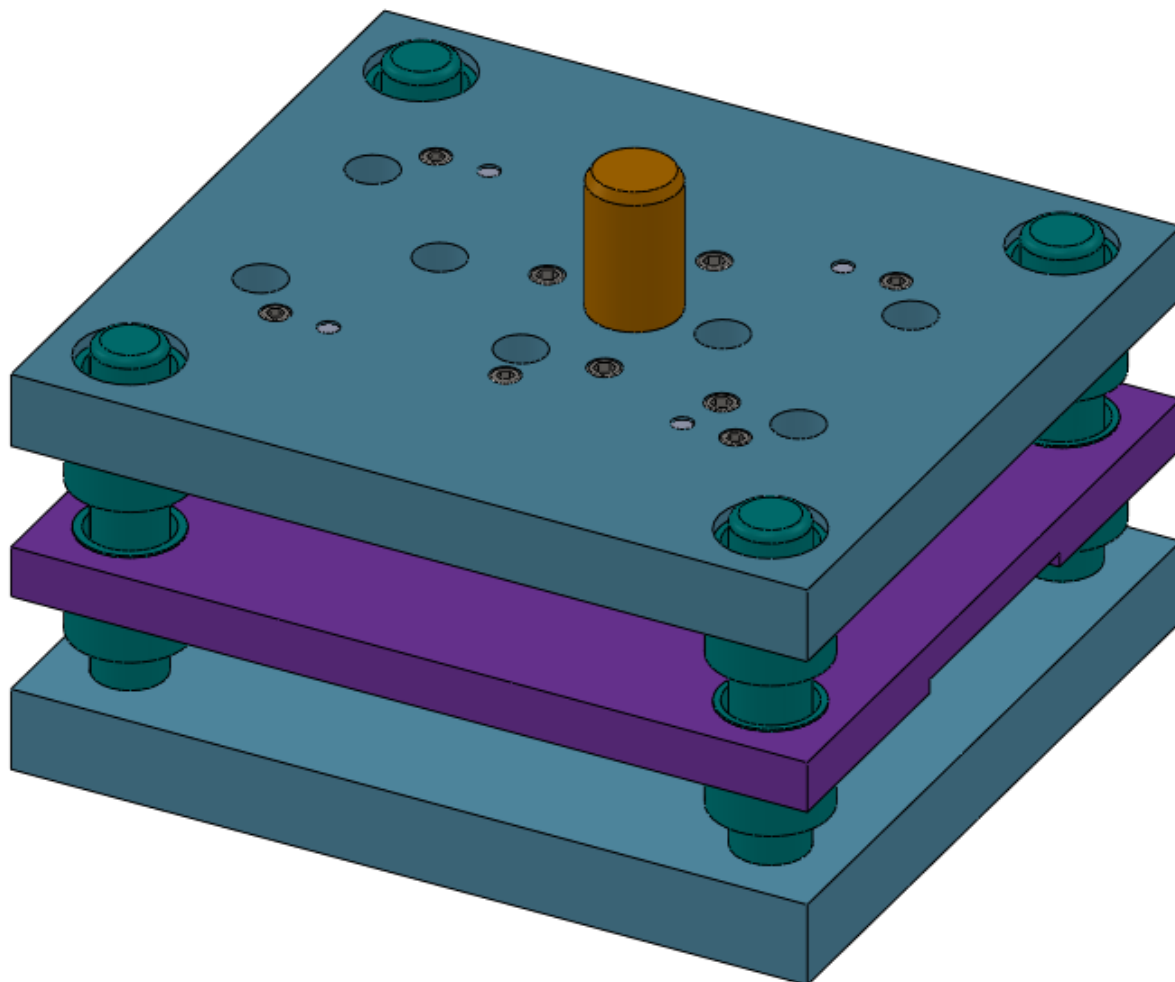


Figura 7. Matriz progresiva.

En los siguientes apartados se describen todos los elementos de la matriz progresiva. Para ver las dimensiones de cada elemento véase su respectivo plano en el documento *Planos* y, en el caso de que se trate de un elemento normalizado, véase el *Anexo C*.

4.1. Placa base inferior

La placa base inferior tiene la misión de soportar el utillaje, apoyarlo sobre la mesa de la prensa y absorber los esfuerzos que se producen sobre la matriz durante el proceso de trabajo.

Al igual que la placa base superior y la placa guiapunzones, la placa base inferior proviene del conjunto Portamatrices Modelo C de la empresa VAP.

La placa base inferior es de acero F-1120 (W. Nr. 1.0402) y tiene unas medidas de 400x450x47. Ya tiene realizados los agujeros de las 4 columnas que irán clavadas en la placa. Dichas columnas no tienen el mismo diámetro, 2 de ellas son $\varnothing 40$ y las otras 2 $\varnothing 42$ para que no se haga el montaje de la matriz progresiva al revés.

Sobre esta placa se tienen que mecanizar los perímetros de corte sobredimensionados de los punzones, ya que es por donde caerán los recortes de material sobrante.

Se tendrán que realizar 6 agujeros roscados para que 6 tornillos M8 DIN 7991 unan las guías de banda, la placa matriz y la placa base inferior.

Se taladrarán 4 agujeros $\varnothing 10$ para ajustar 4 pasadores DIN 6325.

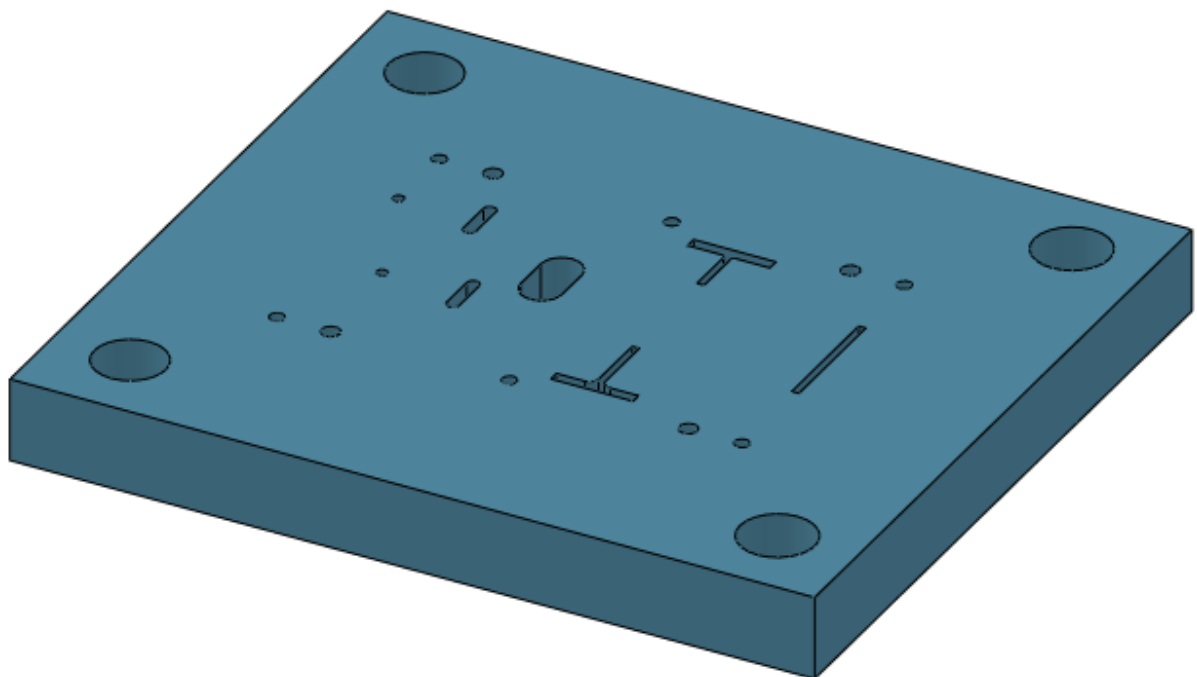


Figura 8. *Placa base inferior.*

4.2. Placa matriz

La placa matriz, junto con los punzones, es la parte más importante de un utillaje. Está provista de una serie de agujeros cuya forma y situación sobre la placa se corresponden con la de los punzones. El plano superior de la placa viene a ser la parte activa de la matriz, por lo que siempre debe estar perfectamente rectificada y sin melladuras, pues de ello depende la fabricación de un producto en óptimas condiciones.

La placa matriz es de acero F-5220 (W. Nr. 1.2510) y tiene unas medidas de 200x350x27.

Se puede aproximar el espesor recomendado para la placa matriz como 15 veces el espesor de la banda de chapa, lo que daría un espesor recomendado de 30mm. Se ha escogido un espesor de 27mm porque es el que más se acerca en las placas suministradas por empresas matriceras.

Se taladrarán 4 agujeros Ø10 para ajustar 4 pasadores DIN 6325 y 6 agujeros Ø8,5 para que pasen 6 tornillos M8 DIN 7991.

Se tiene que rectificar el plano superior de la plana y las aristas formadas entre el plano superior de la placa y el perímetro de corte deben estar siempre perfectamente afiladas.

Los agujeros de los perímetros de corte tienen un ángulo de salida de 1º a partir de 6mm por debajo del plano superior de la placa, para que los recortes de material sobrante puedan caer.

Se ha de someter a la placa matriz a un tratamiento térmico de temple y revenido para que obtenga una dureza 60-62 HRc.

Véanse las recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-5220 en el apartado *THYRODUR 2510* del *Anexo B*.

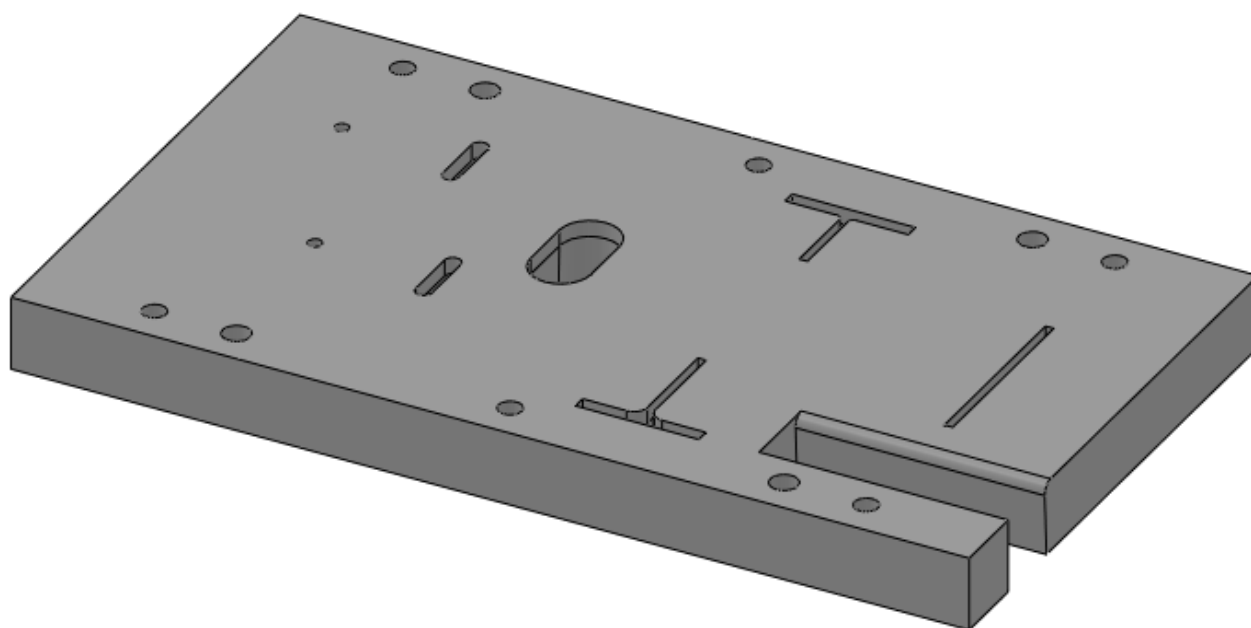


Figura 9. Placa matriz.

4.3. Guías de banda

Las guías de banda consisten en dos reglas prismáticas, cuyo espesor es ligeramente superior al del fleje a matricular. Estas reglas van enclavijadas paralelas entre sí con la finalidad de guiar longitudinal y transversalmente la tira de chapa en su desplazamiento por el interior de la matriz.

Las dos guías de banda son de acero F-1140 (W. Nr. 1.1730) y tienen unas medidas de 29,5x350x5.

Tienen un chaflán de 30° por el lado que entra la banda de chapa para facilitar la entrada de esta y, su perfil tiene la forma adecuada para que no pueda salirse el fleje de material.

En ambas guías se tienen que taladrar 2 agujeros Ø10 para ajustar 4 pasadores DIN 6325 y 3 agujeros cónicos a 90° para que se apoyen las cabezas de los 3 tornillos M8 DIN 7991

Se han de someter a las guías de banda a un tratamiento térmico de temple y revenido para que obtenga una dureza 48-50 HRc.

Véanse las recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-1140 en el apartado *SAE 1045* del *Anexo B*.

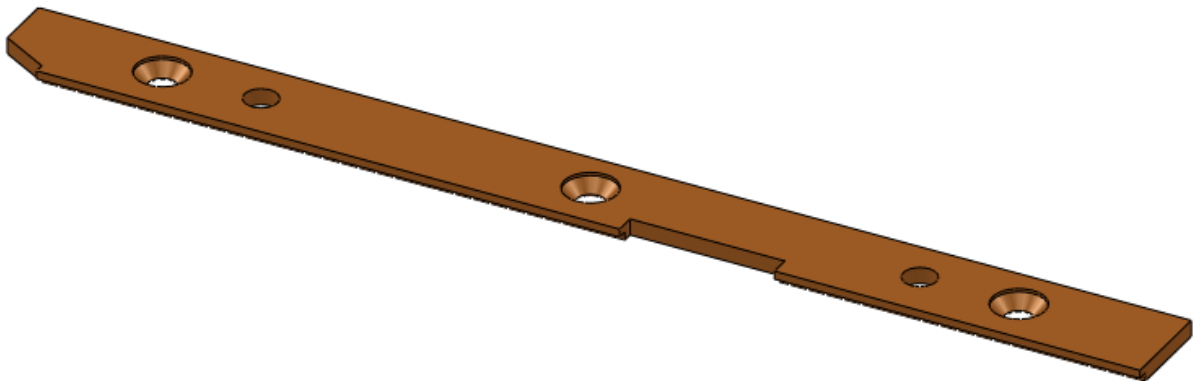


Figura 10. *Guía de banda superior.*

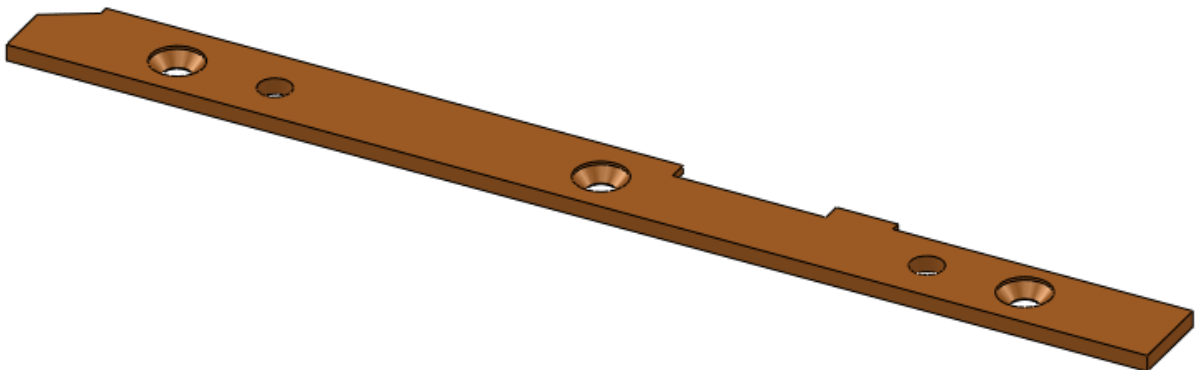


Figura 11. *Guía de banda inferior.*

4.4. Placa pisadora

La placa pisadora tiene la función de guiar los punzones y facilitar la extracción de la chapa, así como la de mantener la chapa plana y sujeta durante su transformación. Con estas 3 premisas se evita el pandeo de los punzones y las ondulaciones de la banda de chapa. El pisado de la chapa se realiza gracias a los muelles situados entre la placa guiapunzones y la placa portapunzones. Al bajar la parte móvil del utillaje, la placa pisadora cede y sujeta la chapa mientras trabajan los punzones. En el instante en que el cabezal inicia su carrear de ascenso, la placa pisadora deja de hacer presión sobre la chapa, liberándola hasta que se produce el siguiente ciclo.

La placa pisadora es de acero F-1140 (W. Nr. 1.1730) y tiene unas medidas de 139x350x14.

Se tienen que mecanizar los perímetros de corte, se tienen que taladrar 4 agujeros Ø8 para ajustar 4 pasadores DIN 6325 y se tienen que realizar 6 agujeros roscados para 6 tornillos M8 DIN 912 que unen la placa pisadora con la placa guiapunzones.

Véanse las recomendaciones sobre mecanizado del acero F-1140 en el apartado SAE 1045 del Anexo B.

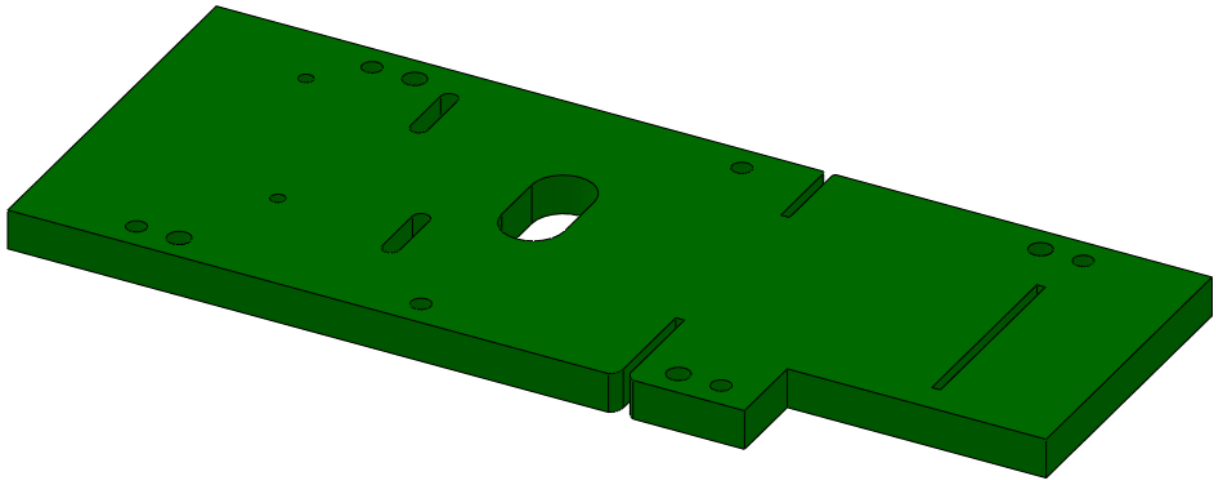


Figura 12. *Placa pisadora.*

4.5. Placa guiapunzones

La placa guiapunzones está guiada mediante casquillos y columnas y sirve de soporte a la placa pisadora y a los componentes del sistema elástico de pisado. También tiene la función de guiar los punzones durante su recorrido y evitar su pandeo.

Al igual que la placa base inferior y la placa base superior, la placa guiapunzones proviene del conjunto Portamatrices Modelo C de la empresa VAP.

La placa guiapunzones es de acero F-1120 (W. Nr. 1.0402) y tiene unas medidas de 400x450x29. Ya tiene realizados los agujeros de las 4 casquillos con los que la placa será guiada a través de las columnas guía.

Se tienen que mecanizar los perímetros de corte, taladrar 4 agujeros Ø8 para ajustar 4 pasadores DIN 6325, taladrar 6 agujeros Ø8,5 y hueco para la cabeza de los 6 tornillos M8 DIN 912 que unen la placa pisadora con la placa guiapunzones y realizar 8 agujeros roscados M16 para los topes guía que guían los muelles.

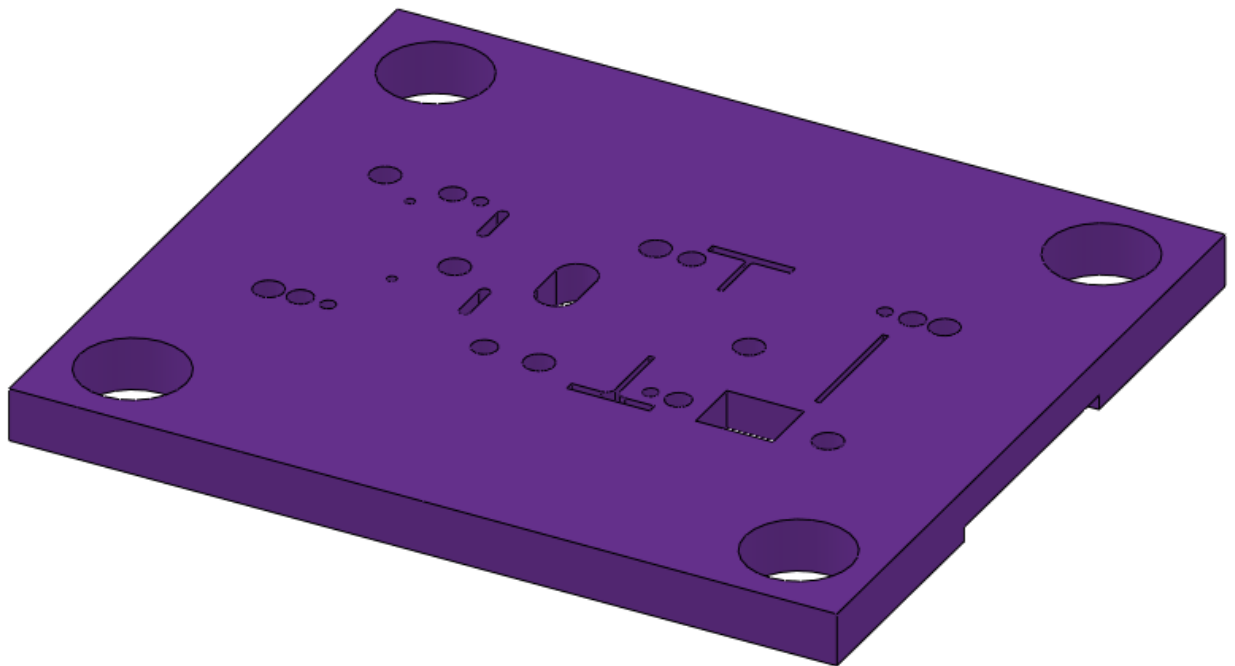


Figura 13. *Placa guiapunzones.*

4.6. Placa portapunzones

La placa portapunzones es el componente de la matriz que lleva alojados los punzones, de forma que estos se desplazan solidarios a la placa según el movimiento rectilíneo alternativo de trabajo que describe la máquina.

Existen diversos métodos de anclaje y posicionado de los punzones en la placa. Los principales condicionantes a tener en cuenta para adoptar uno u otro sistema hacen referencia al tamaño y la forma de los propios punzones, y a la práctica de un método que permita su rápido intercambio acortando tiempos improductivos.

La placa portapunzones es de acero F-1140 (W. Nr. 1.1730) y tiene unas medidas de 200x350x27.

Se recomienda que la placa portapunzones tenga un espesor de $\frac{1}{3}$ de la longitud de los punzones, por lo que su espesor se ha considerado de 27mm.

Se han de mecanizar los huecos donde los punzones van alojados. De los 9 punzones que se colocarán en la placa portapunzones, 4 de ellos se fijarán mediante 1 tornillo a la placa base superior, 3 se fijarán mediante cabeza mecanizada y 2 se fijarán mediante cabeza cónica.

Se tienen que taladrar 4 agujeros $\varnothing 12$ para ajustar 4 pasadores DIN 6325 y 8 agujeros $\varnothing 38$ para alojar los muelles.

Se tienen que realizar 6 agujeros roscados para los 6 tornillos M10 DIN 912 que unen la placa portapunzones, la placa sufridera y la placa base superior.

Véanse las recomendaciones sobre mecanizado del acero F-1140 en el apartado SAE 1045 del Anexo B.

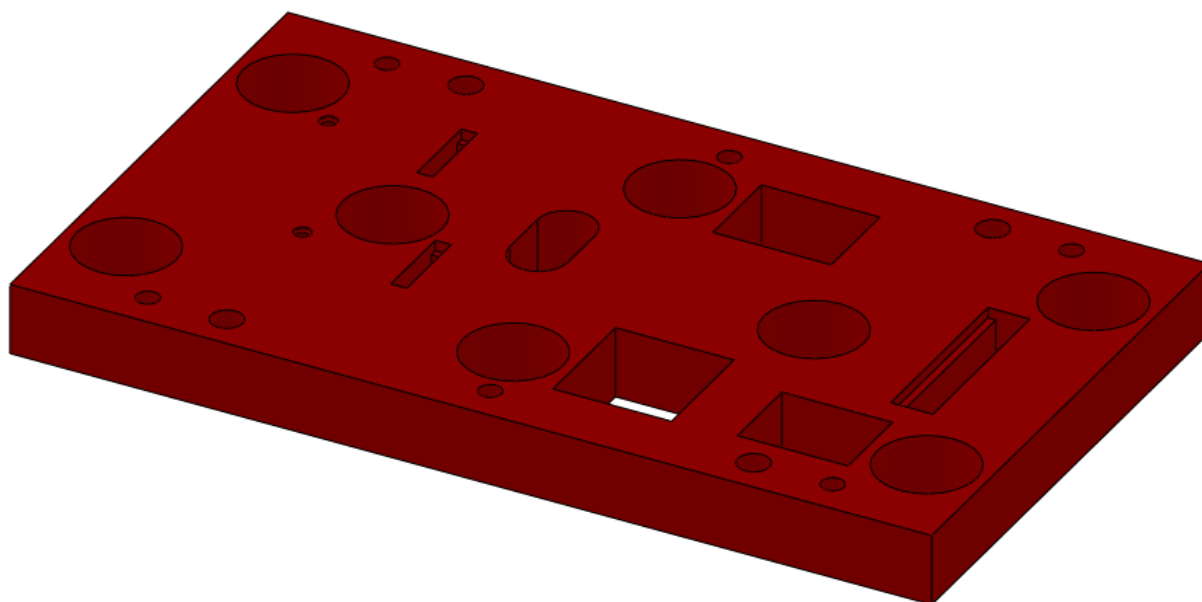


Figura 14. *Placa portapunzones.*

4.7. Placa sufridera

La placa sufridera se utiliza como apoyo para evitar el recalado o clavado de los punzones en la placa base superior, absorbiendo sobre su superficie los sucesivos impactos que recibe de los elementos que golpean sobre ella. Estos impactos se producen cada vez que los punzones cortan o doblan la chapa.

La placa sufridera es de acero F-5220 (W. Nr. 1.2510) y tiene unas medidas de 200x350x12.

Se taladrarán 4 agujeros Ø12 para ajustar 4 pasadores DIN 6325, 6 agujeros Ø10,5 para que pasen los 6 tornillos M10 DIN 912 que unen la placa portapunzones la placa sufridera y la placa base superior, 4 agujeros Ø12,5 para que pasen los 4 tornillos M12 DIN 912 que unen los punzones atornillados con la placa base superior y 8 agujeros Ø20 donde pasan los topes que guían los muelles.

Se ha de someter a la placa sufridera a un tratamiento térmico de temple y revenido para que obtenga una dureza 56-58 HRc.

Véanse las recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-5220 en el apartado *THYRODUR 2510* del *Anexo B*.

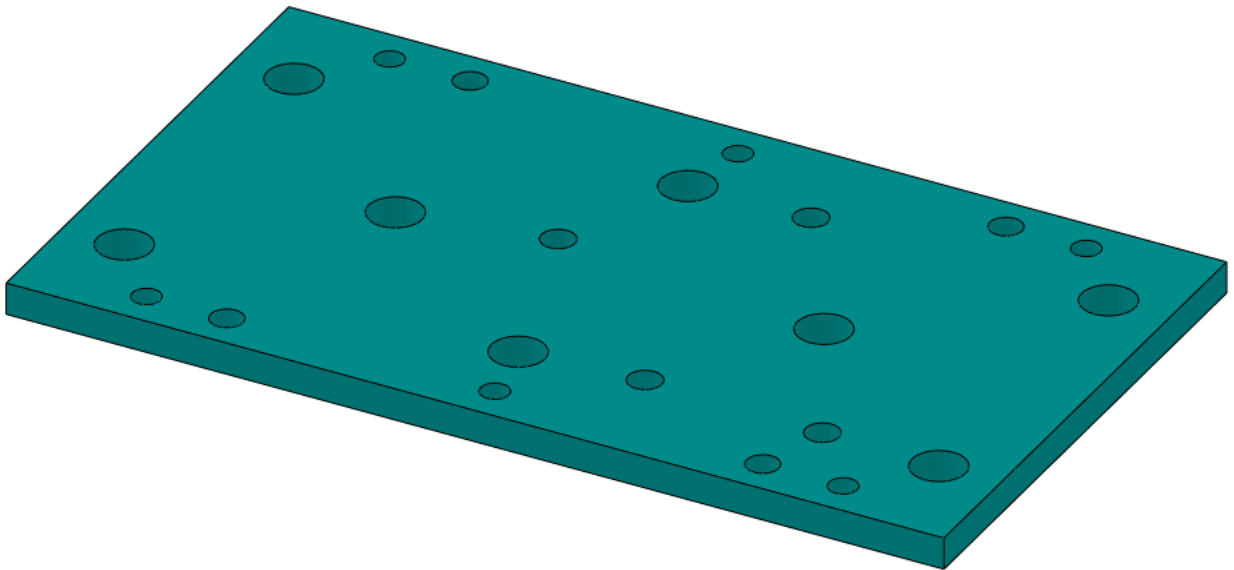


Figura 15. *Placa sufridera.*

4.8. Placa base superior

La placa base superior constituye el soporte sobre el cual van enclavijados mediante tornillos y pasadores, formando un único bloque, todos los elementos de la parte móvil del utillaje. Lleva un agujero roscado para sujetar el utillaje, mediante un vástago, al cabezal de la prensa.

Al igual que la placa base inferior y la placa guiapunzones, la placa base superior proviene del conjunto Portamatrices Modelo C de la empresa VAP.

La placa base superior es de acero F-1120 (W. Nr. 1.0402) y tiene unas medidas de 400x450x42. Ya tiene realizados los agujeros de las 4 casquillos con los que la placa será guiada a través de las columnas guía.

Se tienen que taladrar 4 agujeros Ø12 para ajustar 4 pasadores DIN 6325, 8 agujeros Ø28,5 donde se alojará la cabeza de los topes guía, 6 agujeros Ø10,5 y hueco para la cabeza de 6 tornillos M10 DIN 912 y 4 agujeros Ø12,5 y hueco para la cabeza de 4 tornillos M12 DIN 912.

Se tiene que realizar 1 agujero roscado M30 para un vástago DIN 9859.

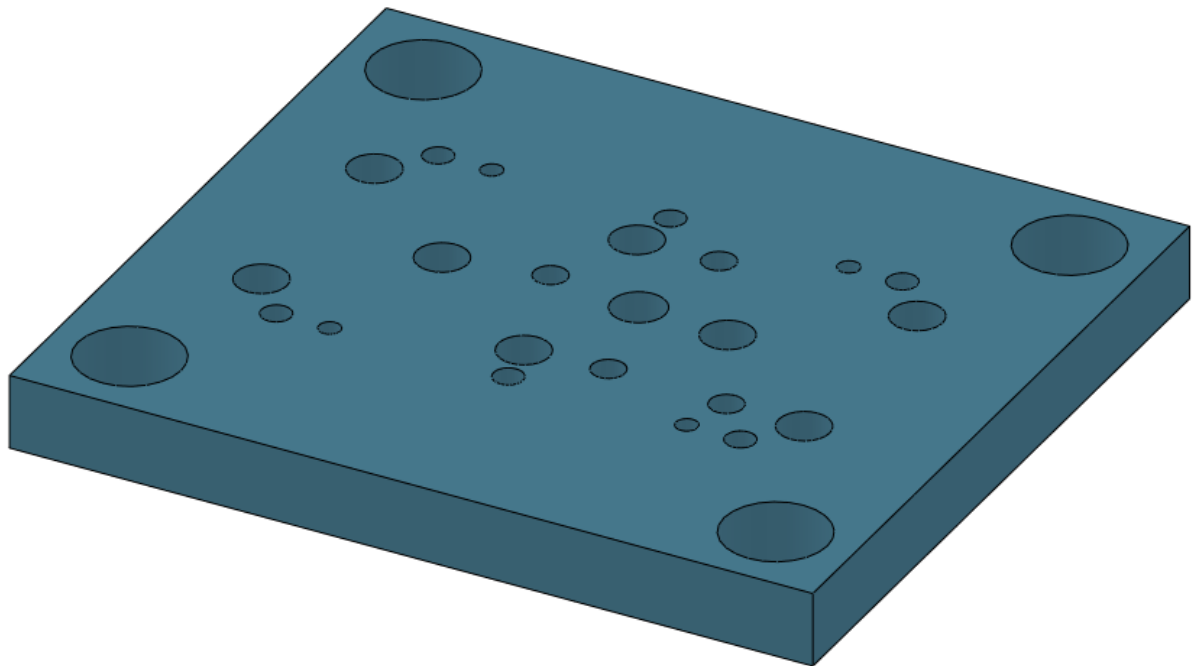


Figura 16. *Placa base superior.*

4.9. Vástago

El vástago sirve para fijar la parte móvil del utillaje al cabezal de la prensa.

En las matrices grandes la placa base superior puede ir atornillada directamente al cabezal de la prensa; en nuestro caso, la matriz se puede considerar de tamaño medio-pequeño por lo que se acoplará al cabezal de la prensa mediante un vástago.

El vástago ha de tener un diámetro igual al del correspondiente alojamiento en el cabezal de la prensa y de acuerdo con la potencia de la prensa.

A continuación se muestra una tabla con la recomendación del diámetro del vástago dependiendo de la fuerza de la prensa:

Tabla 3. *Diámetro recomendado para el vástago.*

Fuerza de la prensa (Tn)	5	8	10	15	20	30	40	60
Diámetro del vástago (mm)	25	25	30	35	35	40	40	45

La fuerza que realizará la prensa será superior a 57 toneladas, por lo que se decide escoger un vástago DIN 9859 con diámetro de 50mm y rosca M30 de la empresa *FIBRO*.

Para más información sobre las características del vástago véase el apartado *Vástagos DIN 9859* del *Anexo C*.



Figura 17. *Vástago.*

4.10. Punzones

Los punzones son los principales elementos activos de un utillaje. Su misión consiste en cortar la chapa según la sección de su plano de trabajo, que, generalmente se corresponde con la figura o forma que se desea obtener.

Para lograr el trabajo óptimo de los punzones, es preciso que sus extremos estén perfectamente afilados, sin melladuras ni cantos romos.

En la matriz diseñada hay 7 punzones distintos, 6 de corte y 1 de doblado.

Todos los punzones, a excepción del punzón de posicionamiento, son de acero F-5220 (W. Nr. 1.2510), tienen una longitud de 80mm y tienen un tratamiento térmico de temple y revenido para obtener una dureza 62-64 HRc.

Véanse las recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-5220 en el apartado *THYRODUR 2510* del *Anexo B*.

En los siguientes apartados se describen las características de cada punzón.

4.10.1. Punzón de posicionamiento

Hay dos punzones de posicionamiento, que recortan un agujero de Ø5mm cada uno, con la finalidad de que en el siguiente paso los pilotos centradores centren la chapa gracias a esos agujeros hechos previamente.

Este punzón está normalizado y es el punzón de corte DIN 9861 PDR de la empresa VAP.

El punzón es de acero rápido (HSS), tiene una cabeza cónica, una longitud de 80mm y una dureza de 45±5 HRc en la cabeza y 62-64 HRc en la caña.

Para más información sobre las características del punzón de posicionamiento véase el apartado *Punzones de corte DIN 9861 PDR* del *Anexo C*.



Figura 18. *Punzón de posicionamiento.*

4.10.2. Punzón coliso pequeño

Hay dos punzones coliso pequeño, que tienen una doble función, ya que cuentan, cada uno, con un piloto centrador clavado en el plano inferior del punzón. Por un lado, el punzón centra la chapa gracias al piloto centrador incorporado y, por el otro lado, una vez el piloto ya ha centrado la chapa, el perfil de corte del punzón corta la chapa con la forma del coliso pequeño.

Tienen la cabeza mecanizada de forma que se puedan sujetar en la placa portapunzones.

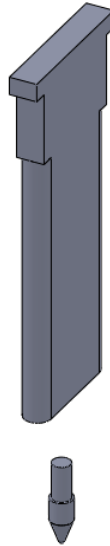


Figura 19. *Punzón coliso pequeño y piloto centrador.*

4.10.3. Punzón coliso grande

Este punzón realiza el corte del coliso grande.

Se le ha de realizar un agujero ciego roscado para que quede atornillado a la placa base superior mediante un tornillo M12 DIN 912.



Figura 20. *Punzón coliso grande.*

4.10.4. Punzón redondeo 5mm

Este punzón recorta el borde de la pieza que ha de tener 5mm de radio.

Se le ha de realizar un agujero ciego roscado para que quede atornillado a la placa base superior mediante un tornillo M12 DIN 912.

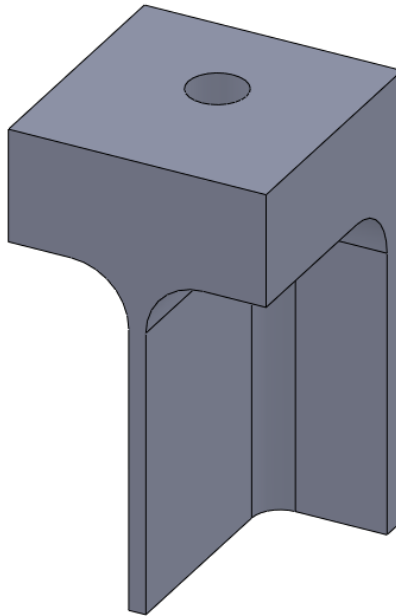


Figura 21. *Punzón redondeo 5mm.*

4.10.5. Punzón redondeo 2mm

Este punzón recorta el borde de la pieza que ha de tener 2mm de radio.

Se le ha de realizar un agujero ciego roscado para que quede atornillado a la placa base superior mediante un tornillo M12 DIN 912.

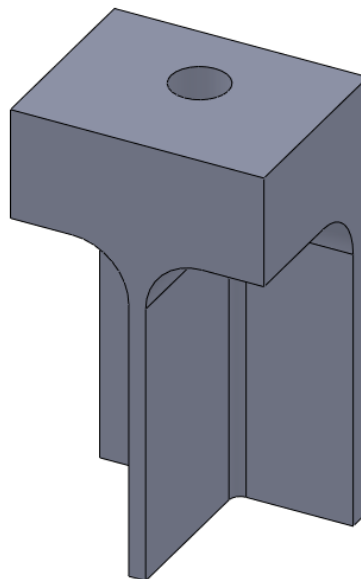


Figura 22. *Punzón redondeo 2mm.*

4.10.6. Punzón doblado

Este punzón tiene como objeto doblar la pieza 93° para que posteriormente, con la recuperación elástica del material, el doblado de la pieza sea de 90° (véase el apartado 1.5.6 *Ángulo de doblado* del Anexo A).

Al realizar un doblado en forma de L, el punzón, trabaja una sola parte de su perfil, por lo que queda sometido a una mayor carga de flexión lateral que en muchas ocasiones puede llegar a romperlo o deformarlo.

Por este motivo, el punzón se ha talonado en el lado opuesto a la zona de doblado, de forma que actúe como reacción a las fuerzas laterales e impida el desplazamiento lateral del punzón, ya que el talón se introduce en la matriz antes de que el punzón actúe.

Se le ha de realizar un agujero ciego roscado para que quede atornillado a la placa base superior mediante un tornillo M12 DIN 912.

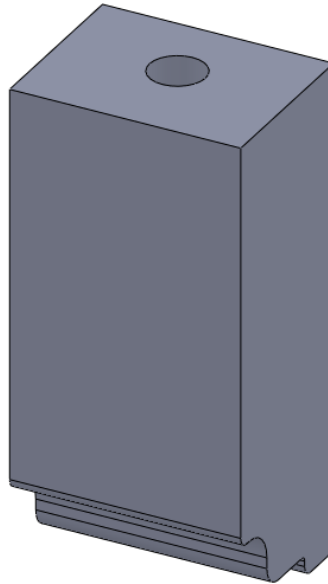


Figura 23. *Punzón doblado.*

4.10.7. Punzón corte

Este punzón realiza el paso final del proceso de fabricación, que consiste en cortar el trozo de chapa que separa la pieza ya finalizada del fleje.

Tiene la cabeza mecanizada de forma que se puedan sujetar en la placa portapunzones.

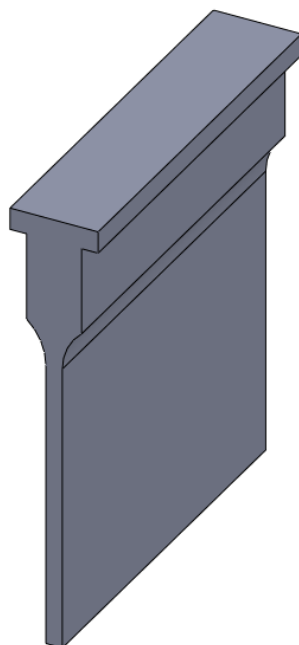


Figura 24. *Punzón corte.*

4.11. Elementos normalizados

La utilización de elementos normalizados en el diseño de la matriz progresiva representa una simplificación en cuanto a disponibilidad y almacenaje de las herramientas de trabajo, con su consiguiente ahorro económico.

En cuanto al mantenimiento de los utillajes, el uso de elementos normalizados reduce significativamente los costes y minimiza de forma considerable los tiempos muertos de máquina, pudiéndose prever el aprovisionamiento de recambios cuando todavía está en funcionamiento la línea de producción.

Además del portamatrices, el vástago y el punzón de posicionamiento, descritos anteriormente, hay otros elementos normalizados que se han utilizado para el diseño de la matriz progresiva y que se comentan en los siguientes apartados.

Para una mayor información sobre las características de estos elementos normalizados, véase su respectivo apartado en el *Anexo C*.

4.11.1. Columnas guía

Las columnas guía son piezas cilíndricas que forman parte del sistema de guiado y alineado de un utillaje. De dimensiones robustas, estos elementos aseguran una perfecta alineación de la parte móvil respecto a la parte fija del útil.

Las columnas estarán clavadas en la placa base inferior.

Se necesitan 4 columnas de longitud 240mm, 2 de ellas Ø40 y las otras 2 Ø42.

Las columnas escogidas para el diseño de la matriz son del tipo columna lisa G3 de la empresa *VAP*, que son de acero 1.7264 y tienen una dureza 60-62 HRc.

4.11.2. Casquillos guía

Al igual que las columnas guía, los casquillos guía son piezas cilíndricas que forman parte del sistema de guiado y alineado de un utillaje.

Se necesitan 8 casquillos guía, 4 que vayan clavados en la placa portapunzones y 4 en la placa base superior.

De los casquillos escogidos, 4 son del tipo Casquillo guía CV3B (2 de Ø48x65 y 2 de Ø50x65) y los otros 4 del tipo CV4B (2 de Ø48x60 y 2 de Ø50x60).

Estos casquillos guía son de acero 1.7264 y tienen una dureza 60-62 HRc.

4.11.3. Muelles

Los muelles utilizados en matricería son de tipo helicoidal, trabajan a compresión y tienen su principal aplicación en las matrices dotadas de sistema elástico para pisado de la chapa. También se utilizan para trabajos de extracción de la chapa.

Después de los cálculos realizados (véase el apartado *1.9 Elección de los muelles del Anexo A*), los muelles escogidos son 8 muelles DIN 17225 A38x50 de la empresa *INMACISA*.

Estos muelles son de acero al cromo vanadio y tienen una constante k de 578 N/mm.

4.11.4. Topes guía

Los topes guía son unos tornillos que se utilizan como guía de los elementos elásticos de las matrices con pisador para reducir la torcedura de los muelles durante su flexión. A la vez, cuando la matriz está abierta, son los elementos responsables de mantener la parte móvil del utillaje formando un solo bloque.

Se necesitan 8 topes guía, que serán del tipo Modelo TGM M16x60 de la empresa *INMACISA*.

Estos topes guía son de acero aleado y tienen una dureza de 46-48 HRc.

4.11.5. Tornillos

Los elementos de fijación que normalmente se utilizan en matricería son tornillos de rosca métrica de cabeza cilíndrica allen, aunque en ocasiones, y por el mínimo espesor de los elementos a sujetar, se utilizan también tornillos allen de cabeza cilíndrica de altura reducida, o tornillos allen de cabeza cónica.

Se utilizarán 6 tornillos DIN 7991 M8x60 de acero 12.9 y 16 tornillos DIN 912 (6 M8x25, 6 M10x70 y 6 M12x55) de acero 8.8 de la empresa *Hard Grup*.

4.11.6. Pasadores

Los pasadores son unas columnillas cilíndricas que tienen como misión posicionar los distintos elementos sobre los que van montados, dentro de un agujero escariado y ajustados a presión.

Se utilizarán 12 pasadores DIN 6325 (4 Ø10x70, 4 Ø8x32 y 4 Ø12x80) de acero aleado indeformable templado con dureza 60 ± 2 HRc de la empresa *HardGrup*.

CAPÍTULO 5:

CÁLCULOS

En los siguientes apartados se encuentran los resultados más importantes para el proyecto, así como fundamentos y teoría previa para mejor comprensión de los mismos.

Los cálculos detallados se encuentran en el *Anexo A*.

5.1. Fundamentos de corte de la chapa

5.1.1. Descripción de un proceso de corte

El proceso de corte consiste en la separación, mediante punzón y matriz, de una parte del material a lo largo de una línea definida por el perímetro de ambos elementos.

1. Una vez montada la matriz en la prensa y estando en su posición de reposo o punto muerto superior, la chapa a cortar se coloca en la matriz (figura 25: secuencia 1).
2. Al accionar la máquina, el cabezal inicia su carrera de descenso y el pisador ejerce la presión necesaria para sujetar la chapa mientras dure el proceso (figura 25: secuencia 2).
3. Instantes antes de que el cabezal de la prensa alcance el final de su recorrido, el punzón presión la chapa y ejerce un esfuerzo capaz de seccionar limpiamente las fibras del material (figura 25: secuencia 3).
4. Cuando la prensa ha llegado a su punto muerto inferior el punzón se halla alojado dentro de la matriz, habiendo cortado la chapa (figura 25: secuencia 4).

5. En la última fase del proceso el cabezal de la prensa vuelve a su posición inicial, liberando la chapa y extrayendo el recorte de material adherido al punzón en el preciso instante en que éste se esconde en el pisador (figura 25: secuencia 5).
6. Al llegar a la posición de reposo, la prensa está lista para iniciar un nuevo ciclo (figura 25: secuencia 6).

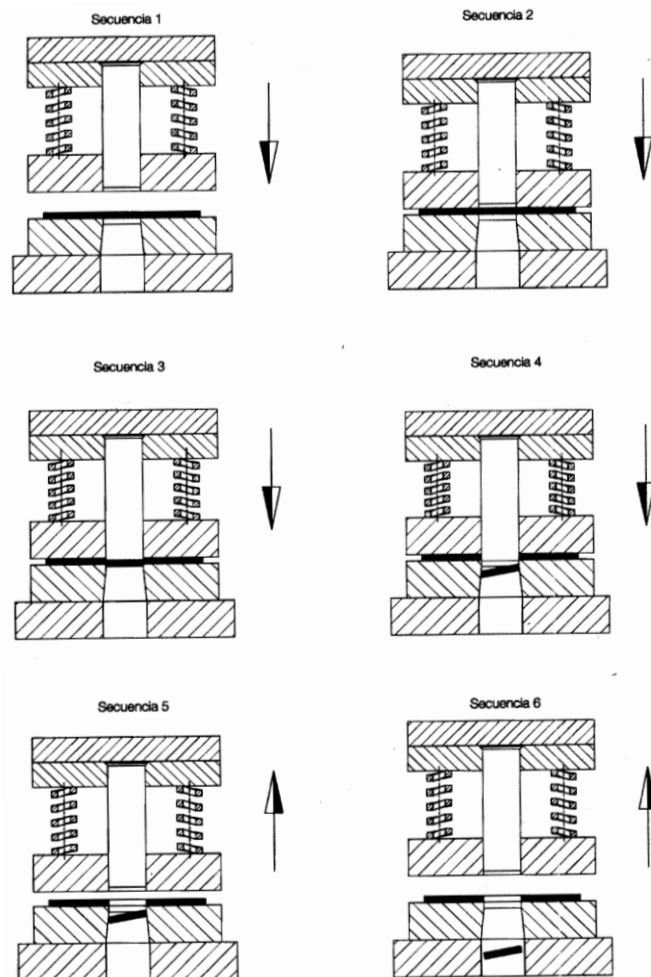


Figura 25. Descripción de un proceso de corte con pisado de la chapa.

5.1.2. Fenómenos que se manifiestan durante el corte de la chapa

En el transcurso de un procedimiento de corte el material a procesar permanece estático, aunque deben tenerse en cuenta los cambios físicos que se producen en la chapa, pues de ello depende el resultado final del proceso.

1. El punzón incide sobre la chapa imprimiendo un esfuerzo perpendicular al sentido de las fibras del material (figura 26: secuencia 1).
2. Al continuar presionando, se produce un endurecimiento del material en la zona de corte por efecto de la compactación del

material cercano a los filos de corte del punzón y la matriz (figura 26: secuencia 2).

3. Las fibras continúan siendo comprimidas y la rotura del material se produce una vez que el punzón ha penetrado en, aproximadamente, un tercio del espesor de la chapa. En este instante, las fibras están seccionadas, pero la chapa continúa formando una única masa (figura 26: secuencia 3).
4. El punzón atraviesa el material en todo su espesor, momento en el que se separa completamente la porción de chapa comprimida entre los filos del punzón y la matriz (figura 26: secuencia 4).

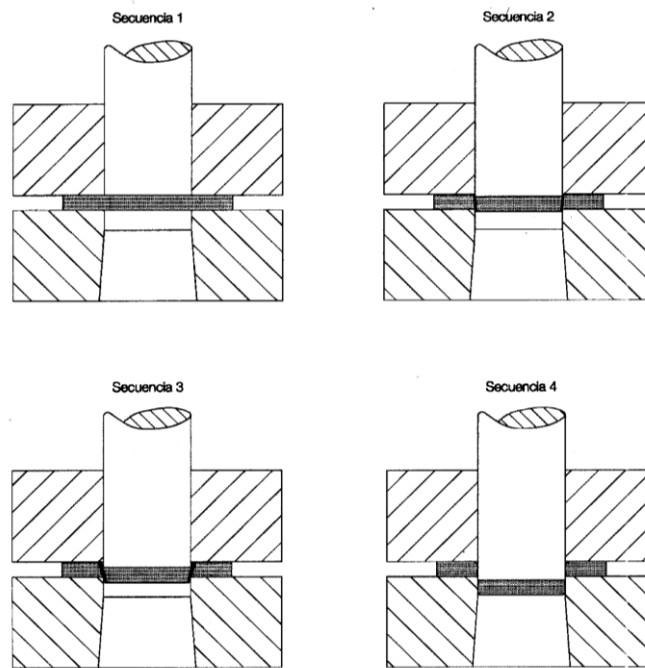


Figura 26. Fenómenos que se manifiestan durante el corte de chapa.

5.1.3. Efectos producidos en la pieza por el corte de la chapa

Las piezas correctamente cortadas presentan en su pared de corte, sea cual fuere su espesor, una franja laminada o brillante de una anchura equivalente, aproximadamente, a un tercio del mismo espesor de material a cortar. Esta franja aparece en la cara opuesta a las rebabas de la pieza como consecuencia del rozamiento generado por la penetración del material en la matriz o bien por el rozamiento producido por la penetración del punzón en el material, según sea la operación de corte o de punzonado. La franja brillante o laminada se manifiesta hasta el punto donde se produce la rotura de las fibras del material.

En los dos tercios restantes de la pared del material, se produce una zona rugosa debida a la rotura o desgarro de éste, formándose un ángulo ficticio con respecto a la pared de corte de entre 10° y 60° , una vez fueron seccionadas las fibras del material. En esta zona rugosa y por efecto de la rotura, la medida nominal de la pieza matrizada suele ser menor (alrededor de un 5% del espesor), oscilando sus valores entre unas pocas centésimas y varias décimas de milímetro.

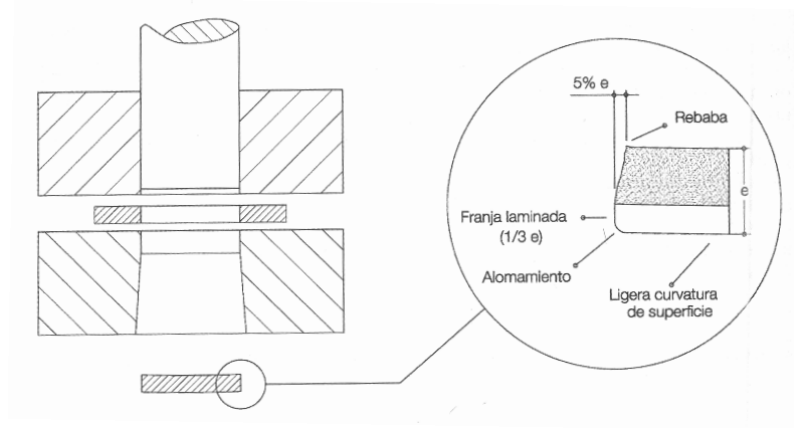


Figura 27. Detalle del ángulo de rotura del material.

5.1.4. Dimensiones de las piezas troqueladas

El diámetro máximo que puede troquelarse en una chapa viene únicamente limitado por la potencia y dimensiones de la prensa en que ha de realizarse la operación. En cambio, el diámetro mínimo depende del material y espesor de la chapa.

El diámetro mínimo que puede troquelarse en una chapa de acero al carbono dulce viene dado aproximadamente por:

$$D_{min} = 0,8 \cdot e \quad (13)$$

Donde:

e = espesor de la chapa (2 mm)

Se substituye el espesor en la ecuación (13) y se obtiene:

$$D_{min} = 1,6mm \quad (14)$$

5.2. Fuerzas producidas en el corte de la chapa

El corte de una chapa se produce mediante la fuerza generada por la prensa sobre una matriz o útil de trabajo. En consecuencia, para llevar a buen término el desarrollo de un proceso de matrizado, es imprescindible conocer desde un principio todas las componentes que intervienen en dicho proceso.

Los esfuerzos a considerar generados por el corte de la chapa son:

- Fuerza de corte
- Fuerza de extracción
- Fuerza de expulsión

5.2.1. Fuerza de corte

Se llama así al esfuerzo necesario para lograr separar una porción de material de una pieza de chapa, mediante su cizalladura.

La fuerza necesaria para cortar una pieza de chapa depende del material a cortar, de las dimensiones de este corte y del espesor de la chapa:

$$F_c = \sigma_c \cdot P \cdot e \quad (15)$$

Donde:

σ_c = resistencia a la cizalladura (32 kp/mm²; 314 N/mm²)

P = perímetro del punzón

e = espesor de la chapa (2 mm)

Habrá que calcular la fuerza de corte que necesita cada punzón:

a) Punzón de posicionamiento:

$$F_c = 1005,31kp \quad (16)$$

Como hay dos punzones de posicionamiento:

$$F_c = 2010,62kp \quad (17)$$

b) Punzón coliso pequeño:

$$F_c = 3766,40kp \quad (18)$$

Como hay dos punzones coliso pequeño:

$$F_c = 7532,80kp \quad (19)$$

c) Punzón coliso grande:

$$F_c = 6983,68kp \quad (20)$$

d) Punzón redondeo de 2 mm:

$$F_c = 10129,92kp \quad (21)$$

e) Punzón redondeo de 5 mm:

$$F_c = 11245,44kp \quad (22)$$

f) Punzón corte:

$$F_c = 9344,00kp \quad (23)$$

La fuerza de corte total será la suma de las fuerzas de corte de cada punzón:

$$F_c = 47246,46kp = 463,49kN \quad (24)$$

5.2.2. Fuerza de extracción

Se llama así al esfuerzo que se requiere para separar los punzones del trozo de chapa adherida a estos, una vez ha sido efectuado el corte.

La fuerza de extracción depende de la naturaleza del material a cortar, de su espesor, de la forma de la figura y del material circundante a su perímetro de corte.

La fuerza de extracción se puede aproximar a un 10% de la fuerza de corte:

$$F_{ext} = F_c \cdot 0,1 \quad (25)$$

La fuerza de extracción total será la suma de las fuerzas de extracción de cada punzón:

$$F_{ext} = 4724,65kp = 46,35kN \quad (26)$$

5.2.3. Fuerza de expulsión

Al finalizar un proceso de corte, la pieza recién cortada tiene tendencia, por expansión o por rozamiento, a quedarse adherida en el interior de la matriz. Este hecho se produce mientras que la pieza no traspasa la vida de la matriz, puesto que esta zona no tiene inclinación ninguna. Al producirse el corte siguiente, la última pieza cortada empujará a la anterior, obligando a ésta a bajar por el interior de la matriz. Y así sucesivamente hasta que la primera pieza caiga por gravedad, ante la imposibilidad de quedarse adherida a la vida de la matriz.

Esta adherencia o rozamiento de las piezas en el interior de la matriz representa un esfuerzo adicional a tener en cuenta, que llamaremos fuerza de expulsión y que debe calcularse sobre un 1,5% del valor de la fuerza de corte:

$$F_{exp} = F_c \cdot 0,015 \quad (27)$$

La fuerza de expulsión total será la suma de las fuerzas de expulsión de cada punzón:

$$F_{exp} = 708,71kp = 6,95kN \quad (28)$$

5.2.4. Resistencia de los punzones al pandeo

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos y, que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión (figura 28).

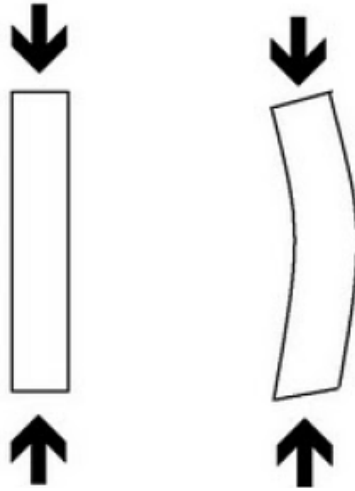


Figura 28. Fenómeno de pandeo.

Debido a su forma de trabajar, los punzones están sometidos a un esfuerzo de pandeo igual a la fuerza de cizalladura que realizan.

La longitud máxima de un punzón para evitar el fenómeno de pandeo se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$L_{max} = \sqrt{\pi^2 \cdot E \cdot I / F_c} \quad (29)$$

Donde:

L_{max} = longitud máxima del punzón

E = modulo de elasticidad (21407 kp/mm²; 210 kN/mm²)

I = momento de inercia (mm⁴)

F_c = fuerza de corte del punzón

Para conocer la longitud máxima que pueden tener los punzones bastará con calcular el pandeo del punzón más desfavorable, en nuestro caso, es el punzón de posicionamiento porque es el más esbelto con un diámetro de 5mm.

Utilizando la ecuación (29) se obtiene la longitud máxima de pandeo del punzón de posicionamiento:

$$L_{max} = 80,30 \text{ mm} \quad (30)$$

La longitud máxima que pueden tener los punzones es de 80,30mm, por lo que se decide que la longitud que tendrán los punzones sea de 80mm, ya que es una medida común en los punzones.

Puede parecer que se deja poco margen entre la longitud real y la longitud máxima del punzón, y que esto puede acarrear algún problema, pero hay que tener en cuenta que la longitud máxima se ha calculado como si el punzón fuera de diámetro constante y solo se le aplicaran las fuerzas en los extremos. La cabeza del punzón es más ancha y está sujeta por la placa portapunzones y el punzón es guiado por la placa guíapunzones.

5.3. Tolerancia de corte

La tolerancia de corte de una matriz es la holgura que se deja entre punzón y matriz de un mismo perfil, con el objetivo de aliviar la expansión del material, producida por efecto de la presión de los elementos cortantes sobre la chapa.

En un proceso de corte sólo pueden producirse piezas de calidad aplicando correctamente los valores de tolerancia entre el punzón y la matriz. Además, aparte del resultado final del producto fabricado, las herramientas de corte pueden sufrir desgastes prematuros o roturas por la nula o incorrecta aplicación de la tolerancia.

Una tolerancia de corte demasiado grande permite una fluencia excesiva de la chapa entre el punzón y la matriz, de tal forma que no existe la compactación necesaria de las fibras para que se produzca su rotura. Así, las piezas aparecen con un perfil poco definido, con notables rebabas y pequeños desprendimientos de material (figura 29). Esas partículas metálicas acaban incrustadas alrededor de la arista de corte del punzón y la matriz, provocando melladuras e incluso la rotura de las herramientas cortantes.

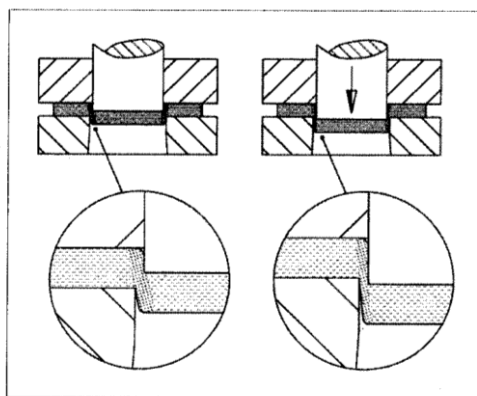


Figura 29. Aplicación de una tolerancia de corte excesiva.

Una tolerancia nula o insuficiente impide la expansión del material presionado entre el punzón y la matriz (figura 30). De este modo, las piezas matricadas suelen presentar una excesiva laminación de la pared de corte. Además, por la falta de fluencia de la chapa y el aumento de presión de los elementos de corte

se generan fuerzas de sentido radial sobre las herramientas, hecho que suele acabar con la rotura de éstas.

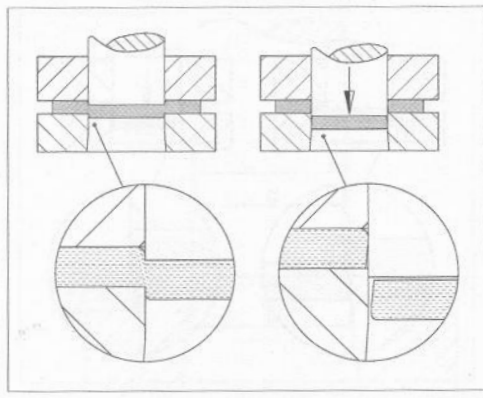


Figura 30. *Aplicación de una tolerancia de corte insuficiente.*

La aplicación correcta de los valores de tolerancia permite conseguir piezas de perfil perfectamente definido y sin rebabas (figura 31). Los esfuerzos producidos en una matriz con una tolerancia de corte correcta, no generan desprendimientos de material ni incrustaciones por la expansión del material. La presión del material que se produce sobre las paredes de corte es la adecuada, sin sobreesfuerzos por excesiva laminadura ni holguras inapropiadas o demasiado acusadas.

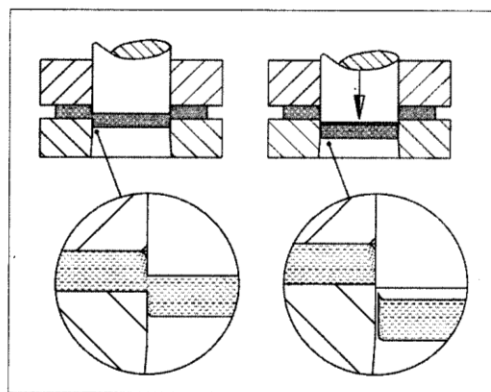


Figura 31. *Aplicación correcta de la tolerancia de corte*

La holgura que se tiene que dejar entre punzón y la matriz de un mismo perfil depende de la resistencia al corte del material de la chapa, y del espesor (tabla 4).

Tabla 4. Factor de tolerancia en función de la resistencia al corte.

Resistencia al corte (Kg/mm ²)	Factor de tolerancia
<10	0,01·e
11-25	0,03·e
26-39	0,05·e
40-59	0,07·e
60-99	0,09·e
>100	0,10·e

La resistencia al corte de la chapa es de 32 kg/mm², por lo que la tolerancia de corte se calculará:

$$T_c = 0,05 \cdot e \quad (31)$$

El espesor de la chapa es de 2mm, así que utilizando la ecuación 43 se obtiene:

$$T_c = 0,1mm \quad (32)$$

La tolerancia se aplicará en el punzón o en la matriz dependiendo del tipo de corte a efectuar sobre la chapa.

Si se trata de cortar el perímetro exterior de una pieza, la matriz deberá tener la medida nominal. Así, habrá que restar el valor de la tolerancia al punzón y éste será más pequeño que la medida de la pieza.

Si se desea hacer un punzonado interior, el punzón tendrá la medida nominal y a la matriz deberemos sumarle el valor de la tolerancia.

5.4. Fundamentos de doblado de chapa

5.4.1. Operación de doblado

La operación de doblado consiste en modificar una chapa lisa formando dos o más planos distintos y en consecuencia, un ángulo o ángulos de aristas más o menos definidas entre ambos planos. El proceso de doblado es una operación que generalmente se realiza mediante punzón y matriz, aunque la producción de piezas de gran formato suele efectuarse en prensas plegadoras.

Para una correcta operación de doblado, se han de tener en cuenta el radio de curvatura y la elasticidad del material.

5.4.2. Descripción del proceso de doblado

1. El punzón y la parte móvil de la matriz permanecen estáticos en el punto muerto superior, mientras que en la parte inferior se posiciona una chapa plana lista para ser doblada (figura 32: 1ª secuencia).
2. El punzón inicia la carrera de descenso, hasta hacer contacto con la chapa e iniciar el doblado de la misma (figura 32: 2ª secuencia).
3. Al final de la carrera de descenso el punzón alcanza el punto muerto inferior, y la pieza queda doblada (figura 32: 3ª secuencia).
4. Después del doblado, la parte superior de la matriz retrocede hasta alcanzar el punto muerto superior, mientras que el extractor inferior saca la pieza fuera de la boca de la matriz. En ese momento el ciclo de trabajo ha finalizado y la matriz está preparada para doblar una nueva pieza (figura 32: 4ª secuencia).

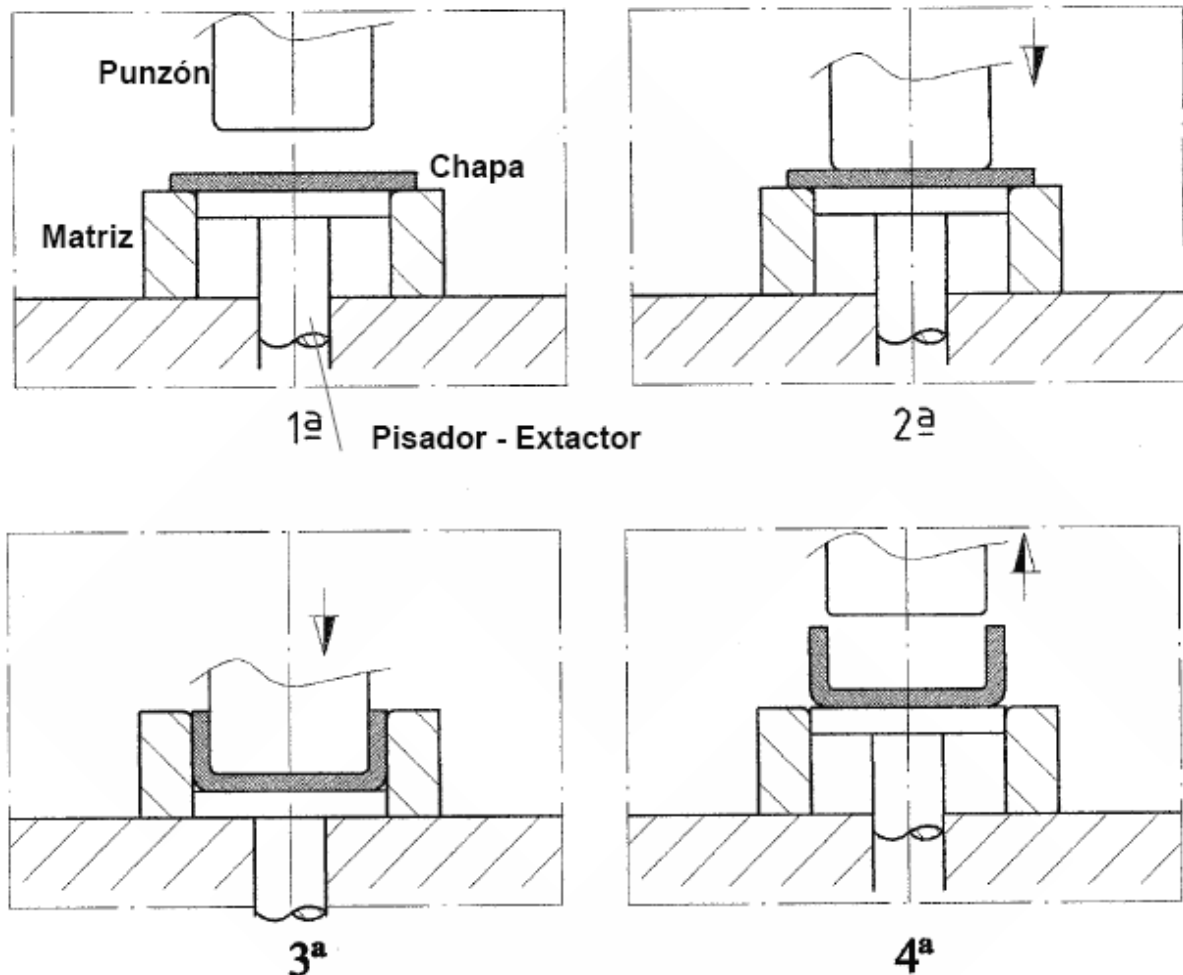


Figura 32. Descripción del proceso de doblado

5.4.3. Fenómenos producidos en la pieza por el doblado de la chapa

- Estiramiento de las fibras:

Además de la deformación propia del proceso, el doblado de una chapa metálica genera en la arista producida un pequeño desplazamiento molecular, que se traduce, esencialmente, en una compresión del material en torno al perímetro interior de la sección de la chapa y simultáneamente, en un estiramiento de las fibras del material en el perímetro exterior de dicha sección.

La naturaleza del material y sus características mecánicas, así como su espesor, el valor del radio de arista y el ángulo de doblado, son los principales condicionantes del desplazamiento molecular a que se verá sometida la pieza a doblar (figura 33).

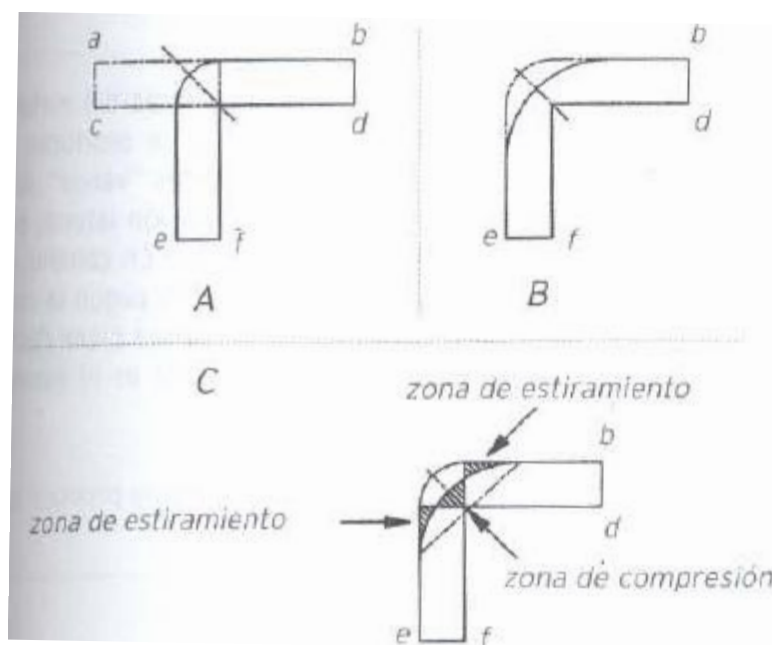


Figura 33. Desplazamiento molecular.

El adelgazamiento en la arista de una chapa doblada puede llegar a ser, en algunos casos, de hasta un 50% del espesor original. En los procesos en que los adelgazamientos en arista superen estos valores, existe el riesgo de sufrir la rotura de las fibras, con su consiguiente pérdida de resistencia, e incluso el seccionado del propio material.

Según lo expuesto anteriormente, se desprende que deberá rechazarse, siempre que se pueda, el doblado en arista viva o de radio menor al espesor del material a doblar. En nuestro caso, el radio de doblado de la pieza es el doble que el espesor.

- Expansión lateral:

Como consecuencia de las deformaciones por estiramiento de las fibras del material y por la propia redistribución de sus moléculas, las piezas dobladas, se producen unas crestas en los extremos de la arista del doblé con sus correspondientes vanos (figura 34). Así, en la cara interior del doblé, la compresión de las fibras provoca su expansión lateral, con el consiguiente aumento del ancho primitivo de la pieza (dilatación lateral). En cambio, en la cara exterior del doblé, el estirado de las fibras produce una contracción según la cual se forman unos vanos o zonas de pérdida de volumen en la geometría de la pieza doblada. Ambas deformaciones, crestas y vanos, son más acusadas cuanto mayor es el espesor y cuanto más agudo es el ángulo de la pieza doblada.

La formación de crestas y vanos deberá tenerse en cuenta de modo especial en aquellas piezas cuyas tolerancias de forma y posición lo precisen y también en aquellas piezas que formen parte de un subconjunto, como pueden ser, por ejemplo, el caso de una bisagra o de una tapa basculante.

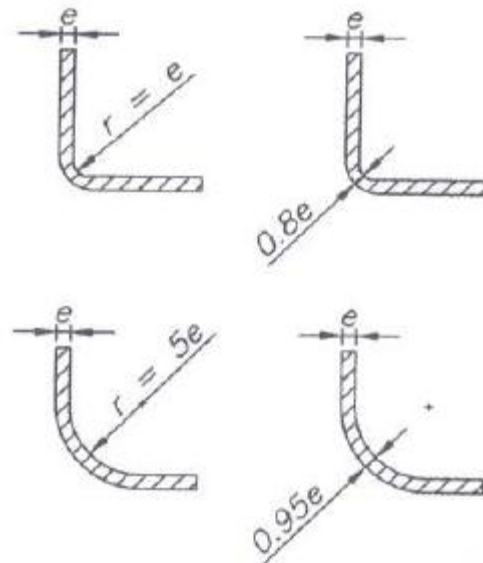


Figura 34. Expansión lateral.

5.4.4. Determinación de la fibra neutra

Basándonos en el hecho que una pieza doblada se obtiene a partir de una geometría plana, se puede afirmar que, si en un proceso de doblado no existiera desplazamiento molecular una vez deformada la pieza, ésta podría ser aplanada de nuevo y recuperar su longitud primitiva.

No obstante, cabe recordar uno de los fenómenos más comunes que se producen en los procesos de doblado: el estiramiento y compresión de las fibras de material en la zona deformada (figura 35), fruto de los esfuerzos de presión y de rozamiento generados por los elementos activos del utillaje sobre la chapa. Dicho

efecto es el responsable de que la longitud primitiva de la pieza plana no se corresponda, finalmente, con la longitud de la pieza doblada.

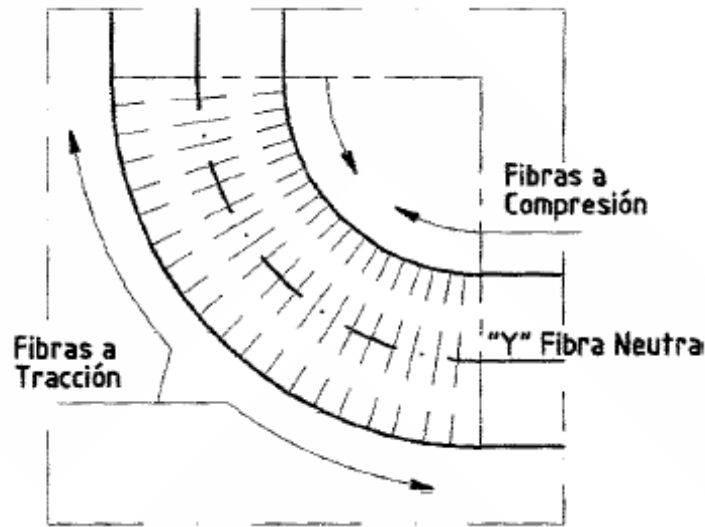


Figura 35. Detalle del comportamiento de las fibras de material en un proceso de doblado.

En cualquier caso, en todos los materiales, existe una línea imaginaria sobre la cual estos desplazamientos moleculares no afectan en modo alguno al desarrollo de la pieza a doblar. Es decir, que no se produce estiramiento ni compresión alguna en sus fibras. Esta línea imaginaria es paralela a los planos que definen el espesor de la chapa y recibe el nombre de línea de fibra neutra.

Se puede calcular la posición de la línea de fibra neutra en función de la relación radio de doblado – espesor (tabla 5).

Tabla 5. Posición de la línea de fibra neutra en función de r/e .

r/e	Posición de la fibra neutra (y)
0,2	$0,347 \cdot e$
0,5	$0,387 \cdot e$
1	$0,421 \cdot e$
2	$0,451 \cdot e$
3	$0,465 \cdot e$
4	$0,470 \cdot e$
5	$0,478 \cdot e$
10	$0,487 \cdot e$

En nuestro caso, el radio de doblado es de 4mm y el espesor de la chapa es de 2mm, por lo que la relación entre ellos será:

$$r/e = 2 \quad (33)$$

Observando la tabla 2, obtenemos que la posición de la fibra neutra es:

$$y = 0,902mm \quad (34)$$

5.4.5. Cálculo de la longitud inicial de la pieza

Una vez se determina la posición de la línea de fibra neutra y se conocen las cotas de la pieza (véase el plano nº 03 *Selector de placas*), se puede calcular la longitud inicial de la pieza antes del doblado:

$$L_0 = 114 + \frac{1}{4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot (4 + 0,902) + 18,3 = 140mm \quad (35)$$

Si no se hubiera tenido en cuenta la posición de la fibra neutra, se obtendría una longitud de 140,15mm.

5.4.6. Ángulo de doblado

Una de las principales propiedades mecánicas de los metales es la elasticidad, en virtud de la cual un material metálico experimenta una deformación cuando actúa sobre el mismo una determinada fuerza. Si la carga no sobrepasa el límite elástico del material, recuperará su forma primitiva en el momento en que cese el esfuerzo aplicado. Contrariamente, y en caso de que el límite elástico sea superado, el material entrará en una fase de deformación plástica según la cual la deformación conseguida permanecerá aunque la fuerza deje de actuar sobre el material.

De todos modos, y aún teniendo en cuenta la deformación plástica adquirida, existe siempre un remanente elástico por el que cualquier pieza sometida a un proceso de doblado tiene tendencia a recuperar ligeramente su forma original (figura 36).

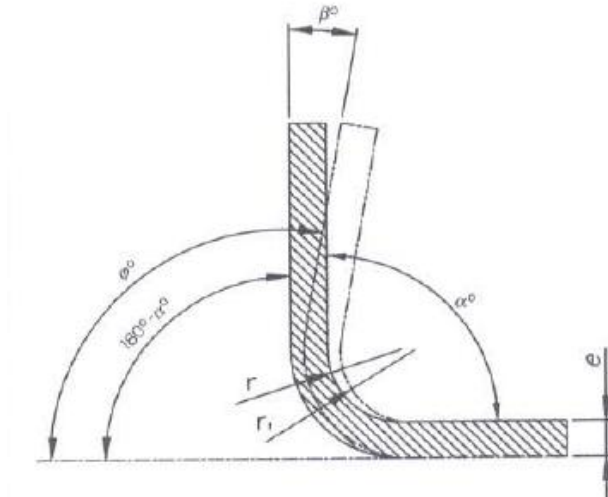


Figura 36. Representación gráfica del ángulo real a obtener y del ángulo teórico a doblar en un proceso típico de doblado.

La recuperación elástica de una chapa vendrá condicionada por la clase de material utilizado y por su índice de acritud, que puede variar entre recocido y crudo.

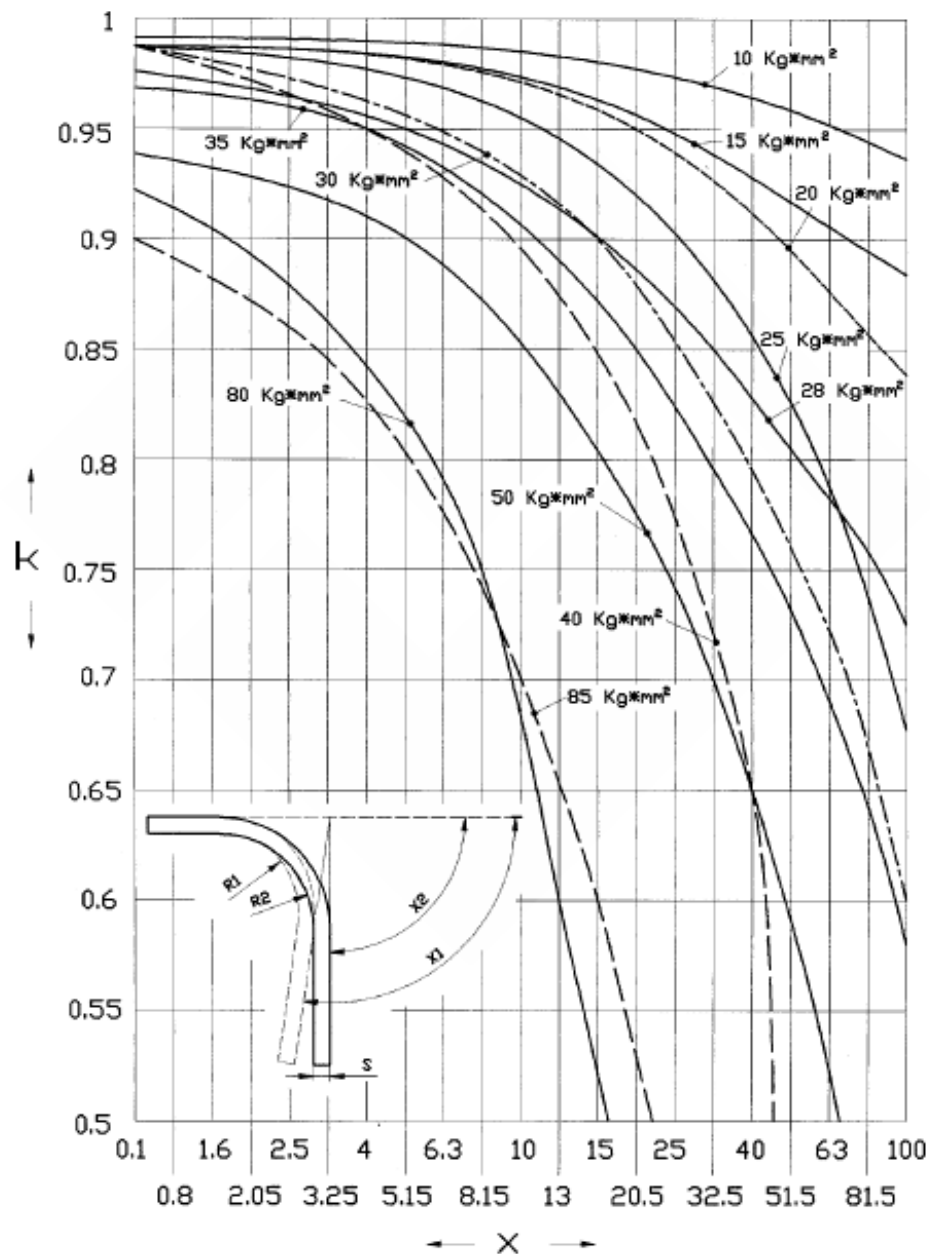
Otros factores que condicionan la recuperación elástica de una chapa son su espesor, su radio de doblado y el valor del ángulo de doblado.

Para calcular el ángulo de doblado primero hay que encontrar el factor X, que depende del radio de curvatura del doblado y del espesor del material:

$$X = r/e = 2 \quad (36)$$

Para $X=2$ y una resistencia de 40kg/mm^2 , se obtiene de la tabla 6, un factor k aproximado de:

$$k = 0,97 \quad (37)$$

Tabla 6. Gráfica de factores k y X .

El ángulo de doblado se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\text{Ángulo de doblado} = \frac{\text{Ángulo deseado}}{k} \quad (38)$$

El ángulo deseado en la pieza es de 90° y el factor k es 0,97, por lo que sustituyendo en la ecuación 50, se obtiene:

$$\text{Ángulo de doblado} = \frac{90^\circ}{0,97} \cong 93^\circ \quad (39)$$

5.4.7. Holgura entre punzón y matriz

El desarrollo de un proceso de doblado genera fuertes rozamientos sobre la superficie de las partes activas de los utillajes, fruto de los esfuerzos necesarios para el conformado de la chapa, de su deslizamiento entre los elementos activos y del desplazamiento molecular a que se ve sometido el material durante su deformación. Por esta razón, es preciso disponer de un espacio suficiente entre el punzón y la matriz que permita el paso del espesor de material y que facilite su fluencia, de modo que quede garantizada la ausencia de gripajes o agarrotamientos, cuya consecuencia final podría ser la producción de piezas defectuosas o, en el peor de los casos, la avería de los utillajes.

Los valores adoptados para el cálculo de la holgura entre el punzón y la matriz de un útil se estiman alrededor de un 10% del espesor de la chapa a doblar, con lo cual, teniendo en cuenta el espesor de la misma chapa, la separación D entre punzón y matriz de un utillaje, sería:

$$D = 1,1 \cdot e \quad (40)$$

Por lo que en nuestro caso, al utilizar la ecuación (52), obtenemos una holgura de:

$$D = 2mm \quad (41)$$

5.5. Fuerza de doblado

Nuestra pieza tiene un doblado a 90° en un extremo, por lo que la fuerza de doblado se calculará como un doblado en forma de L (figura 37).

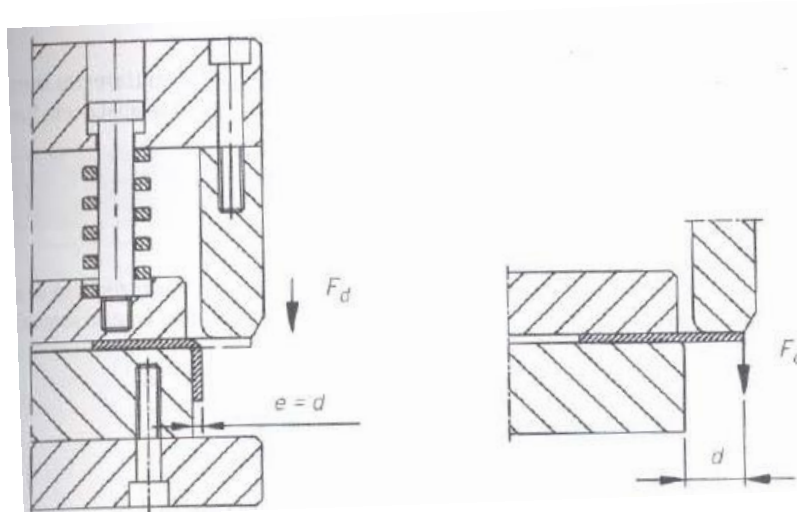


Figura 37. Fuerza producida en un proceso de doblado en L.

La fuerza de doblado se calculará con la siguiente fórmula:

$$F_d = \frac{b \cdot e \cdot K_d}{6} \quad (42)$$

Donde:

b = ancho del material a doblar

e = espesor de la chapa

K_d = coeficiente de resistencia a la flexión

El coeficiente de resistencia a la flexión se puede aproximar al doble de la resistencia al corte del material, por lo que:

$$K_d = 64kp/mm^2 \quad (43)$$

Substituyendo valores en la ecuación 54 se obtiene una fuerza de doblado de:

$$F_d = 896kp \quad (44)$$

5.6. Elección de los muelles

Se colocarán 8 muelles entre la placa portapunzones y la placa guiapunzones con la finalidad de facilitar la extracción de los punzones de la chapa.

Estos muelles se colocarán de forma simétrica para distribuir uniformemente el esfuerzo que tengan que soportar (figura 38).

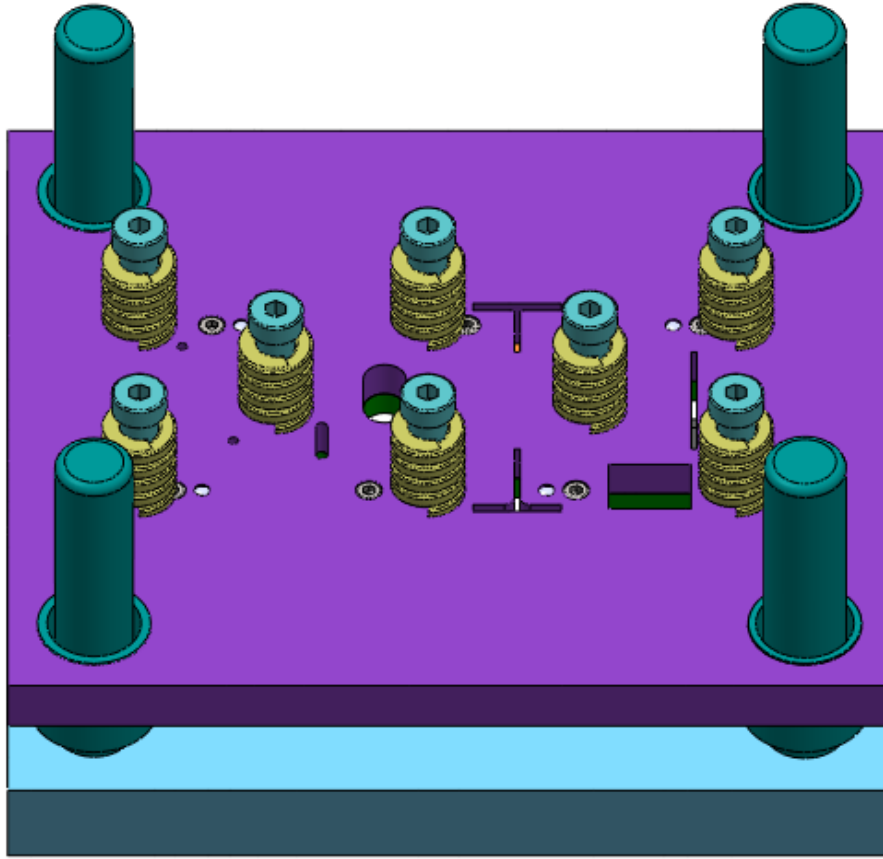


Figura 38. Posición de los muelles sobre la placa guiapunzones.

El esfuerzo que tienen que soportar los muelles es la fuerza de extracción de los punzones, que es de $F_{\text{ext}}=4724,65 \text{ kp}$ ($46348,81 \text{ N}$).

Este esfuerzo se tendrá que repartir entre los 8 muelles, por lo tanto, cada muelle tendrá que soportar:

$$F_{\text{muelle}} = 590,58 \text{ kp} = 5793,60 \text{ N} \quad (45)$$

Los muelles tienen que tener una precarga superior al 5% de su longitud para evitar las circunstancias que pudieran adelantar considerablemente la rotura del muelle. Se necesitan unos muelles de 50mm de longitud, por lo que se considerará una precarga de 3mm.

La distancia que recorrerá la placa portapunzones respecto de la placa guiapunzones será de 8mm, por lo que los muelles se comprimirán esa distancia más la precarga. La compresión de cada muelle será de 11mm.

Para encontrar el muelle adecuado habrá que encontrar la constante k del muelle necesaria y habrá que asegurarse que la compresión del muelle no supere la deflexión máxima establecida.

Para encontrar la constante k necesaria se utilizará la siguiente ecuación:

$$F_{\text{muelle}} = k \cdot \Delta x \quad (46)$$

Donde:

F_{muelle} = fuerza que tiene que soportar cada muelle (N)

k = constante elástica del muelle

Δx = compresión del muelle

Utilizando la ecuación 58 se obtiene:

$$k = 526,70 \text{ N/mm} \quad (47)$$

Observando las características necesarias para el muelle se opta por coger 8 muelles de sección rectangular A38x50 color amarillo y carga extrafuerte de la empresa *INMACISA*, que tienen las siguientes características:

Tabla 7. Características de los muelles A38x50.

Ø Orificio	Ø Varilla	Sección hilo	Longitud	Constante k	Deflexión máx
38 mm	19 mm	7,2x8,6mm	50mm	578N/mm	12,5mm

Para más información sobre estos muelles véase el apartado de *muelles DIN 17225* del *Anexo C*.

5.7. Fuerza de la prensa

La fuerza máxima necesaria que tiene que realizar la prensa será la suma de la fuerza de corte más la fuerza de compresión de los muelles. Además, se multiplicará por un factor de seguridad de 1,1:

$$F_{\text{prensa}} = 57167,72 \text{ kp} = 560,82 \text{ kN} \quad (48)$$

La matriz se tendrá que colocar en una prensa que pueda ejercer más de 57 toneladas de fuerza.

5.8. Posición del vástago

La posición del vástago de sujeción en un utillaje no es aleatoria, y no necesariamente debe de coincidir con el centro geométrico de la planta de la matriz. Así, el vástago deberá adoptar una posición que coincida con el centro de gravedad del perímetro de corte de la figura, para el caso de un único punzón de corte, o bien, del centro de gravedad resultante de todas las fuerzas de corte que actúan sobre el utillaje, en el caso en que la matriz disponga de varios punzones. La posición correcta del vástago de sujeción de una matriz evita empujes laterales, desequilibrios de las masas en movimiento y esfuerzos de componente irregular que repercuten directamente sobre los elementos de guía y, en el peor de los casos, sobre los elementos cortantes del utillaje.

La posición del centro de gravedad de las fuerzas de corte desarrolladas sobre un utillaje puede calcularse gráficamente por trazado de un polígono funicular, o bien, analíticamente, por el teorema de Varignon. No obstante, la mayoría de programas de CAD utilizados en el diseño de los utillajes, junto a otros paquetes de software específicos, para el diseño de matrices, permiten determinar fácilmente dicha posición.

En la figura 39 se pueden ver los perímetros de corte, así como las distancias de su centro de gravedad (no son el centro de gravedad de los perímetros, sino el de los punzones) al centro de la placa matriz:

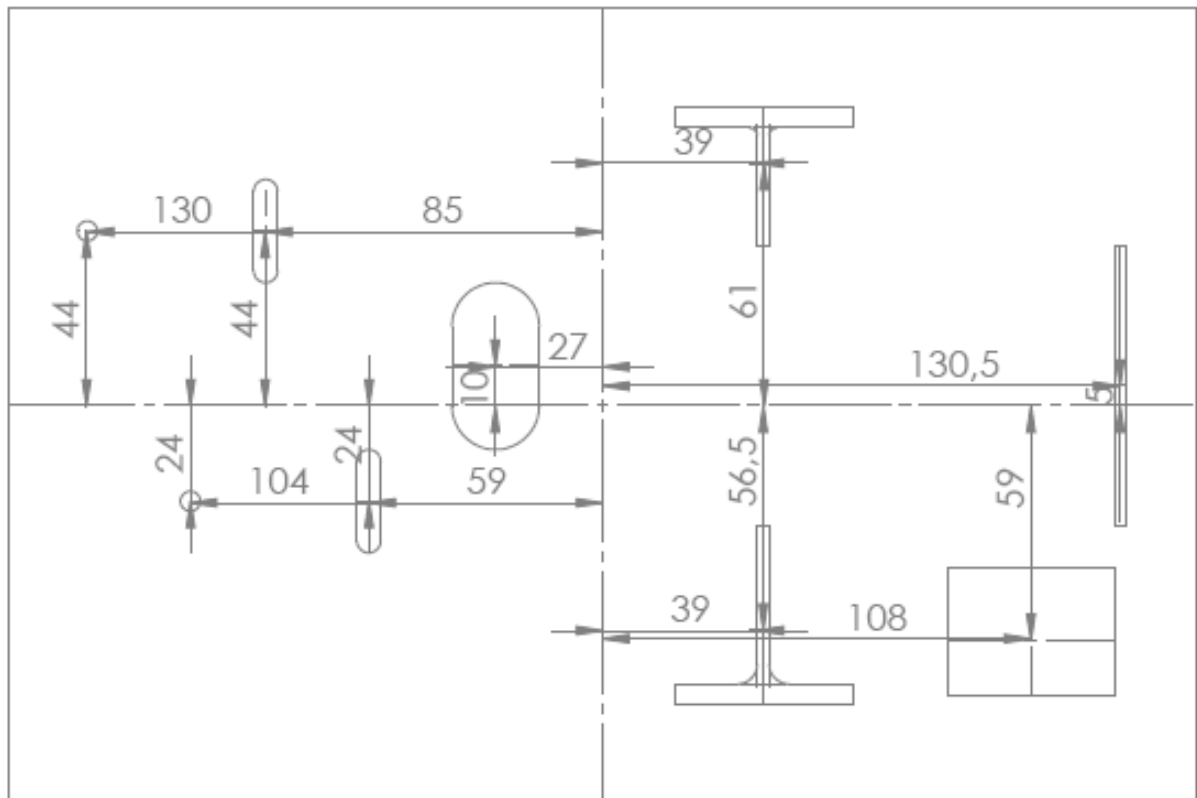


Figura 39. Centros de gravedad de los punzones.

Para encontrar la posición del centro de fuerzas en el eje X se utilizará la siguiente ecuación:

$$\sum F_c \cdot cdf_x = F_C \cdot X \quad (49)$$

Donde:

F_c = fuerza de corte de cada punzón

cdf_x = centro de fuerzas de cada punzón en el eje X

F_C = fuerza de corte total

X = posición en el eje X del centro de fuerzas

Para encontrar la posición del centro de fuerzas en el eje Y se utilizará la siguiente ecuación:

$$\sum F_c \cdot cdf_y = F_C \cdot Y \quad (50)$$

Donde:

cdf_y = centro de fuerzas de cada punzón en el eje Y

Y = posición en el eje Y del centro de fuerzas

Utilizando la ecuación 61 y las fuerzas de corte obtenidas en el apartado 1.3.1 para cada punzón se obtiene la posición del vástago en el eje X:

$$X = 25,73mm \quad (51)$$

Utilizando la ecuación 62 y las fuerzas de corte obtenidas en el apartado 1.3.1 para cada punzón se obtiene la posición del vástago en el eje Y:

$$Y = 3,00mm \quad (52)$$

El centro de fuerzas de los punzones está situado en la posición (25,73 ; 3,00) respecto al centro de la placa matriz (figura 40).

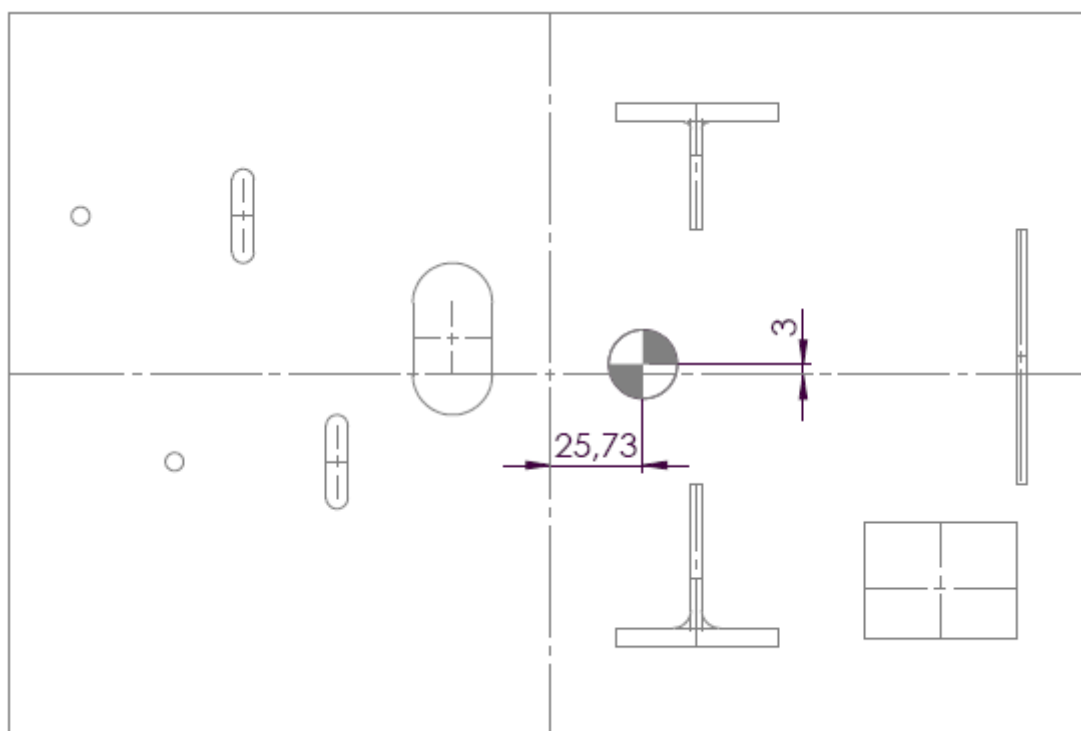


Figura 40. Posición del centro de fuerzas de los punzones.

CAPÍTULO 6:

PRESUPUESTO

En la tabla 8 se resume el coste total de la matriz progresiva. En el volumen *Presupuesto* se encuentran detallados todos los apartados de esta tabla.

Tabla 8. *Coste total de la matriz progresiva.*

Ingeniería	6600,00 €
Elementos normalizados	995,67 €
Elementos fabricados	11464,33 €
Puesta en marcha	1600,00 €
Beneficio industrial	2479,20 €
COSTE TOTAL	23139,20 €

CAPÍTULO 7:

PRENSA

La matriz, aunque es el principal componente de un proceso de matricería, no funciona como un elemento mecánico autónomo, sino que va montada sobre una máquina llamada prensa. Después de colocar manual o automáticamente una chapa sobre la matriz, la prensa le imprime un movimiento vertical alternativo o de vaivén, durante el cual el utillaje corta o deforma la chapa según su propia geometría. Una vez la chapa ha sido cortada o conformada, es evacuada a un contenedor apropiado. La repetición de este ciclo determina la cadencia de trabajo del proceso.

Una prensa es una máquina especialmente diseñada para proporcionar un esfuerzo de presión sobre la matriz, aprovechando la energía cinética o hidráulica generada y acumulada con anterioridad.

7.1. Tipos de prensas

Del mismo modo que se contruyen diversas clases de matrices para desarrollar los distintos procesos de deformación de la chapa, existen numerosos tipos de prensas para llevar a término todas y cada una de las operaciones de corte y conformado de la manera más apropiada.

7.1.1. Prensas de accionamiento mecánico

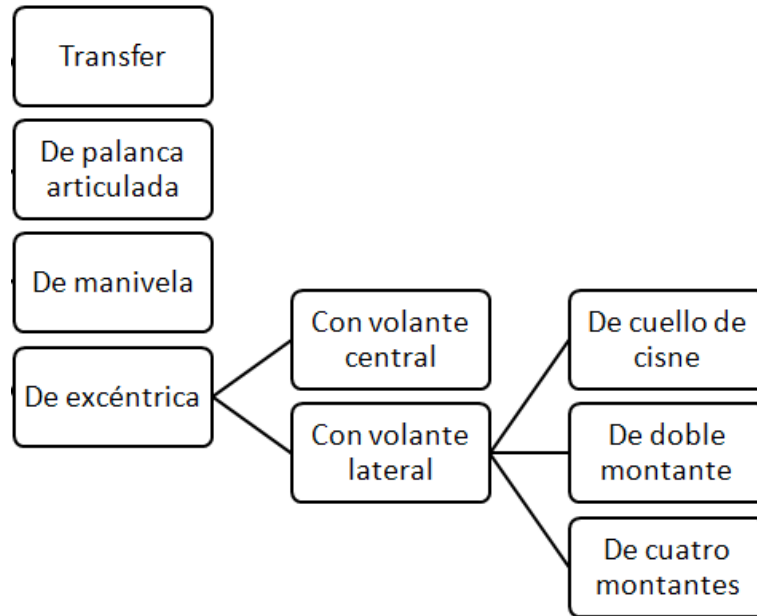
Este tipo de prensas desarrollan un esfuerzo a partir de la energía mecánica proporcionada por un volante de inercia en giro continuo, que recibe su movimiento de un motor eléctrico y que transforma en un movimiento vertical rectilíneo alternativo del cabezal.

Los mecanismos utilizados en la cadena cinemática de estas prensas están formados por árboles de transmisión dotados de excéntricas o cigüeñales, sobre

los cuales van montadas una, dos o más bielas, desarrollando el movimiento típico de vaivén de un mecanismo de biela-manivela.

En la tabla 9 se puede ver la clasificación general de las prensas de accionamiento mecánico:

Tabla 9. *Prensas de accionamiento mecánico.*



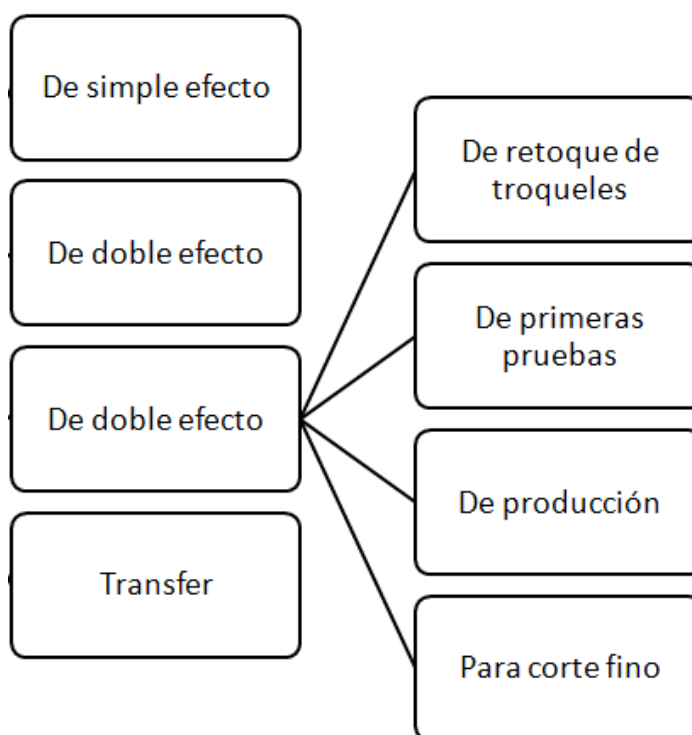
El tipo de prensa mecánica más utilizada en matricería es la prensa de excéntrica, en todas sus variantes. Su versatilidad, su sencillez y su rápida cadencia de trabajo hacen que ese tipo de máquinas constituya un modelo ideal para el procesamiento de pieza pequeña y también de tamaño medio.

7.1.2. *Prensas de accionamiento hidráulico.*

Las prensas hidráulicas se valen de la fuerza generada por un fluido sometido a presión en el interior de un circuito hidráulico. Mediante la acción de unas válvulas que actúan sobre el circuito, pueden ser controlados a voluntad diversos parámetros de trabajo, como por ejemplo las velocidades, las carreras de los distintos movimientos y su actuación independiente, simultánea o secuenciada sobre el mismo troquel.

En la tabla 10 se puede ver la clasificación general de las prensas de accionamiento hidráulico:

Tabla 10. *Prensas de accionamiento hidráulico.*



Las prensas hidráulicas tienen su principal aplicación en matricería pesada, aunque estos grandes troqueles pueden trabajar también sobre prensas de accionamiento mecánico, mediante la acción de varias bielas, o por la acción conjunta de ambos sistemas, mecánico e hidráulico, simultáneamente. En este caso, estaremos hablando de prensas de acción combinada.

7.2. Selección de la prensa

Las prensas más recomendadas para trabajar con nuestra matriz progresiva son las prensas de accionamiento mecánico de excéntrica, ya que son ideales para realizar piezas de pequeño y mediano tamaño.

Dentro de este grupo de prensas, las de volante frontal disponen del árbol de transmisión con un único punto de apoyo, por lo que estas prensas se utilizan preferentemente para el desarrollo de potencias muy limitadas, entre 200 y 400 kN.

Nuestra prensa ha de realizar una fuerza de 57 toneladas (560 kN) (véase el apartado 1.8. *Fuerza de la prensa del Anexo A*), por lo que las prensas con volante lateral, que tienen el árbol de transmisión con dos puntos de apoyo sobre la bancada y son capaces de desarrollar mayores esfuerzos (entre 150 kN y 4000 kN), son las más adecuadas.

De las prensas con volante lateral, las de doble montante y las de 4 montantes, que son más robustas que las de cuello de cisne, son las recomendadas para el procesado de la chapa mediante matrices progresivas, ya que el acceso a la zona

operativa de la máquina es bastante limitado, lo que mejora la seguridad de los operarios que puedan estar por la zona.



Figura 41. Prensa de doble montante.

CAPÍTULO 8:

SISTEMA DE

ALIMENTACIÓN

8.1. Tipos de sistemas de alimentación

En el proceso de fabricación de las piezas mediante matriz progresiva, se necesita que la banda de chapa avance de manera continua hacia la matriz para obtener piezas más rápidamente.

El avance de la banda de chapa puede efectuarse de forma manual, semiautomática o automática.

En los siguientes apartados se describen las diferentes alternativas de avance para la chapa.

8.1.1. Avance manual

En el avance manual el operario se encarga de hacer avanzar la tira de chapa entre unos o más topes dispuestos en la matriz cada vez que la prensa realiza un ciclo de trabajo.

La producción alcanzada dependerá únicamente de la rapidez con la que el operario haga avanzar la banda sobre la matriz y no de la capacidad de la prensa o la matriz. Este sistema presenta una escasa capacidad productiva.

Además, presenta los siguientes inconvenientes:

- Dificultad para el operario a la hora de hacer avanzar la banda de chapa a lo largo de la matriz desde una posición frontal a la misma.

- Riesgos de seguridad por el hecho de que el operario tenga acceso a la matriz durante el ciclo de trabajo.

Este sistema, únicamente es aconsejable cuando no se disponen de otros medios de alimentación más automáticos o cuando las producciones sean muy pequeñas.

8.1.2. Avance semiautomático

En el avance semiautomático el avance de la banda de chapa se realiza mediante alimentador. Las tiras de chapa para la fabricación de las piezas tienen una longitud inicial de entre 3 y 6 metros en vez de ser bobinas de mayor longitud.

Esta forma de realizar el avance de la banda de chapa es más rápida que el avance manual pero también presenta unos inconvenientes:

- Paros de producción a cada cambio de tira de chapa.
- Pérdidas de piezas fabricadas por metro lineal de chapa, al no aprovechar en su totalidad las últimas piezas de cada tira.
- Los riesgos de seguridad que comporta el hecho de que el operario tenga acceso a la matriz durante el ciclo de trabajo.

8.1.3. Avance automático

En el avance automático el avance de la banda de chapa se realiza de manera totalmente automático por medio de un alimentador y partiendo de bobinas de gran longitud y cuyo diámetro interior o exterior deben estar de acuerdo con las medidas que tenga la devanadora encargada de desenrollar el material.

De los tres tipos de avances de la banda expuestos, es evidente que el avance automático es el que reúne las mayores ventajas a la hora de conseguir la máxima producción en el mínimo tiempo posible.

Las ventajas del sistema automático son:

- Mínimos paros de producción por cambios de bobina.
- Aprovechamiento del material en toda su longitud.
- Ausencia de riesgos laborales para el operario al no tener necesidad de acceder a la matriz durante el ciclo de trabajo.
- Mayor tiempo productivo de la máquina.
- Mayor disponibilidad del operario para trabajar con otras máquinas.

8.2. Sistema automático de alimentación

Los sistemas automáticos de alimentación comprenden tres dispositivos:

1. Alimentador.
2. Devanadora.
3. Aplanadora.

Cada uno de estos dispositivos se encarga de alimentar, desenrollar y aplanar, respectivamente, la tira de chapa que proviene de una bobina, de tal manera que todo el proceso se realice de una forma totalmente automática, sin ninguna manipulación manual.

Los tres dispositivos de alimentación pueden considerarse como unidades independientes entre si, de manera que se pueden situar en lugares y distancias distintos con relación a la prensa, siempre que las necesidades de cada producción lo requieran. Sin embargo, todos ellos deberán estar sincronizados con el movimiento y la velocidad que marque la prensa.

El sistema más común de accionamiento de todo el dispositivo de alimentación viene dado por una leva dispuesta sobre el cigüeñal de la prensa, de manera que a cada giro de su eje, el alimentador realice un nuevo ciclo de trabajo. Automáticamente, los otros dos dispositivos deberán aprovisionar y aplanar el material antes para que el alimentador lo introduzca en la matriz.

El desenrollado y aplanado de la chapa se realiza cada vez que un palpador automático instalado en la devanadora detecta que la curva de material en forma de bucle que debe existir entre el enderezador y el alimentador está por debajo del punto mínimo marcado.



Figura 42. Sistema de alimentación (1 - Devanadora, 2 - Alimentador-Aplanadora)

8.2.1. Alimentador

El alimentador se encarga de alimentar la tira de chapa que proviene de una bobina, de forma automática.

Un alimentador realiza el siguiente ciclo:

1. Desenrolla la bobina de forma que avance la banda de chapa.
2. La banda queda sin sujeción en el alimentador.
3. La banda es centrada mediante los pilotos centradores de la matriz.
4. El alimentador frena la banda para impedir el retroceso.
5. Se reanuda el ciclo.

El avance automático de la banda de chapa se sincroniza con el paso. El alimentador puede ser:

- a) Neumático con mordaza fija y mordaza móvil.
- b) Hidráulico con 2 mordazas de avance.
- c) Mecánico con accionamiento a rodillo.
- d) Aplanador de gran precisión por rodillos con lector digital y corriente continua.

Se escoge un alimentador neumático porque son elementos autónomos de una construcción sencilla, que se emplean para el avance de la banda de chapa dentro de la matriz de una forma totalmente automática. Su precisión de avance en condiciones normales de trabajo es muy elevada ($\pm 0,002$) tanto en altas como en bajas velocidades



Figura 43. *Alimentador neumático.*

El funcionamiento del alimentador neumático lo comanda una válvula neumática situada en el cigüeñal de la prensa y actúa de la siguiente forma: la señal de inicio, ordena al mismo tiempo la apertura de la pinza delantera o fija y el cierre de la trasera o móvil al mismo tiempo que ésta presiona la chapa y avanza. Al final de su recorrido, la misma válvula, invierte el ciclo de trabajo y el carro vuelve a la posición inicial.

El bloqueo de las pinzas de sujeción y arrastre de la chapa, está comandado por dos cilindros que desarrollan la fuerza necesaria para impedir el deslizamiento de ésta cuando es transportada. El sistema de regulación del recorrido de avance, permite ser variado a cada fabricación mediante un husillo de rosca fina que deberá ajustarse al paso de la matriz.

En el caso de que la prensa trabaje en ciclo continuo, el alimentador repetirá automáticamente los movimientos descritos anteriormente, dando lugar a un proceso totalmente automático.

Generalmente, el alimentador va montado sobre la bancada de la prensa mediante una placa de sujeción, que permite regular la altura de trabajo según la necesidad de cada fabricación. En casos especiales, también puede montarse directamente a la base de la matriz y de esta forma queda posicionado y alineado para la fabricación.

Normalmente, todos los alimentadores se montan en la parte delantera de la matriz para que empuje el material a su interior. No obstante, cuando se trabajan con espesores de chapa muy delgados, también pueden colocarse en el lado opuesto o salida, para que el alimentador estire del material y evitar el riesgo de que este se doble o arrugue.

El alimentador neumático tendrá que ser capaz de alimentar a la matriz progresiva con bobinas de acero con una tira de chapa de 146mm de ancho y 2mm de espesor.

8.2.2. *Devanadora*

La devanadora se encarga de desenrollar la bobina de forma automática. Se tiene que colocar a una distancia adecuada de la prensa, para permitir que la banda de chapa se desenrolle sin que esta se vea afectada por deformaciones que dificulten su entrada en la matriz o deformaciones permanentes en la pieza.



Figura 44. *Devanadora.*

La bobina de chapa se introduce en el soporte de la devanadora y esta se sujeta por medio de los brazos tensores. La adaptación de la bobina a un nuevo diámetro o anchura se hace de manera manual o automática tan pronto como ésta queda montada.

La velocidad de trabajo puede ser fija o regulable, dependiendo del tamaño y peso de la bobina o de la propia velocidad de la prensa.

La devanadora tendrá que ser capaz de desenrollar bobinas de acero con una tira de chapa de 146mm de ancho y 2mm de espesor.

8.2.3. Aplanadora

La aplanadora se encarga de aplanar la bobina de forma automática. Se tiene que colocar a una distancia adecuada de la devanadora para permitir que la banda de chapa se desenrolle sin que esta se vea afectada por deformaciones que dificulten su entrada en la matriz o deformaciones permanentes en la pieza.

La banda de chapa pasa a través de los rodillos de la aplanadora y mediante una regulación adecuada de éstos, el material queda aplanado y a punto de ser introducido en el alimentador. La tracción y guía de la cinta se hace mediante rodillos horizontales y verticales dispuestos a la entrada y salida respectivamente. Al terminar el rollo de cinta, el palpador montado en la aplanadora actuará sobre un final de carrera y este producirá el paro de la prensa.

La aplanadora tendrá que ser capaz de aplanar tiras de chapa de acero de 146mm de ancho y 2mm de espesor.



Figura 45. *Aplanadora.*

CAPÍTULO 9:

SISTEMA DE

EVACUACIÓN

Las matrices progresivas en general, trabajan con ciclos de producción muy elevados, que en muchas ocasiones generan grandes cantidades de piezas y retales que necesariamente deben evacuarse de una forma rápida y segura del interior de la matriz.

La acumulación de piezas o retales en las salidas de las rampas de evacuación, pueden generar graves problemas de roturas de componentes de la matriz en el caso de quedar tapadas por las mismas piezas o retales.

Esto puede ocurrir, a consecuencia del inadecuado diseño de las rampas o bien por un ángulo de caída insuficiente o incluso porque las mismas piezas se queden pegadas en la superficie de las rampas a causa del aceite que cubren sus superficies e impide que se deslicen.

Lo que en apariencia puede ser un problema sin importancia, a corto o medio plazo puede convertirse en un problema capaz de ocasionar graves roturas en la matriz y originar nuevos costes de mantenimiento.

Para evitar dichos problemas, es necesario que dichas rampas de evacuación, sean diseñadas y construidas de forma que faciliten la separación de las piezas y los retales además de contar con ángulos de caída que en ningún caso deben ser inferiores a 20° (figura 46).

En piezas de medio y gran tamaño que su caída a un contenedor pueda ocasionar deformaciones en su perfil, es conveniente montar cintas transportadoras que faciliten su evacuación de una forma más suave aunque trabajen sin apenas ángulos de inclinación.

En principio, en nuestro caso, únicamente será necesaria una rampa de evacuación para evacuar las piezas y retales que realizan los 8 punzones de corte de la matriz progresiva.

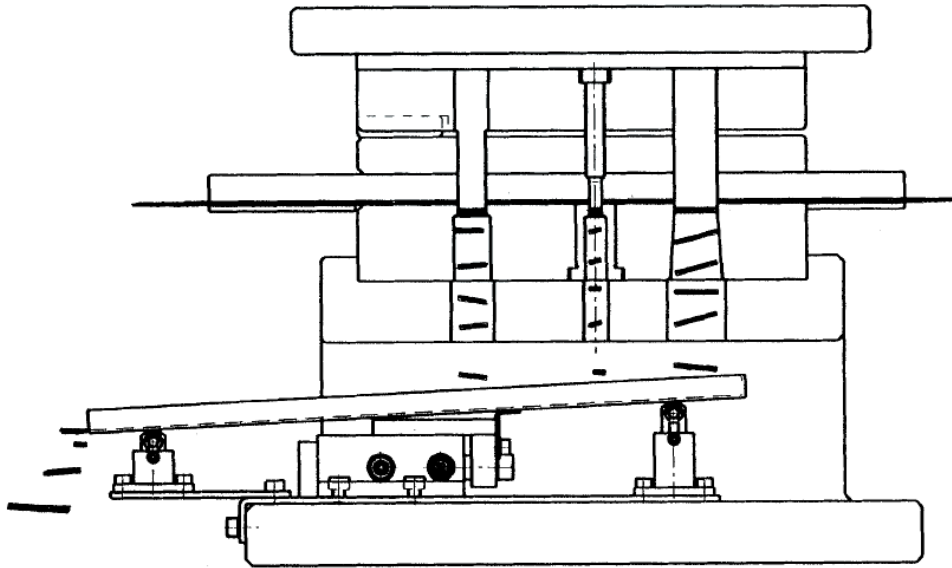


Figura 46. *Ejemplo de evacuación de piezas y retales.*

CAPÍTULO 10:

MANTENIMIENTO

Para evitar problemas en el proceso de fabricación mediante matriz progresiva, se le ha de realizar, al largo de su vida útil, un mantenimiento a esta, que ha de consistir en el conjunto de técnicas y sistemas que, actuando sobre los medios de producción, permiten:

1. Reparar las averías que se presenten.
2. Prever estas averías mediante revisiones, estadísticas, seguimiento y diagnóstico.
3. Especificar las normas de manipulación y funcionamiento para los operarios.
4. Mejorar y perfeccionar los diseños posteriores.

10.1. Factores de error

Los problemas que pueden afectar al proceso de fabricación son, principalmente, debidos a:

- a) Un diseño incorrecto de la matriz progresiva.
- b) La prensa.
- c) La materia prima.
- d) El tipo de transformación.
- e) La geometría de la piza.
- f) Un mantenimiento deficiente.

10.1.1. Diseño de la matriz progresiva

Un mal diseño de la matriz progresiva es el error que más problemas puede acarrear en un proceso de fabricación, ya que será causante de el paro de la producción y, si no se resuelve ese problema, causante del coste de volver a realizar el proyecto y la construcción de otra matriz progresiva. Los problemas debidos al diseño de la matriz progresiva pueden estar causados por:

- Proyecto poco adecuado.
- Materiales inadecuados.
- Deficiente pilotaje de la banda.
- Banda poco resistente.
- Punzones poco dimensionados.
- Placas poco resistentes.
- Tolerancias incorrectas.
- Falta de pasos de transformación.

10.1.2. Prensa

La prensa puede ser causante de parones en el proceso de producción y de fabricación de piezas mal acabadas. Con la sustitución de la prensa, aunque esto puede no ser una opción, o arreglando la avería, el problema quedaría solucionado. Estos problemas, causados por la prensa, pueden ser debidos a:

- Poca fuerza de la prensa.
- Velocidad de la prensa muy rápida.
- Bancada muy pequeña.
- Carrera insuficiente.
- Mucho juego entre guías.
- Alimentador inadecuado.
- Deficiente salida de retales.
- Falta de detectores.

10.1.3. Materia prima

El material escogido para la banda de chapa puede acarrear diferentes problemas, sobretodo en la calidad de las piezas a fabricar, debidos a:

- Material poco adecuado.
- Propiedades muy variables.

- Espesor irregular.
- Anchura irregular.
- Desprendimientos y adherencias.
- Impurezas o escorias.
- Rayas sobre el material.
- Superficie muy rugosa.

Para evitar estos problemas, la bobina de chapa que se utilizará para fabricar las piezas, ha de ser de muy buena calidad.

10.1.4. Tipo de transformación: corte

El tipo de transformación de la chapa, en el caso de que sea un proceso de corte, puede acarrear los siguientes problemas:

- Desgaste excesivo de los punzones.
- Rotura de los punzones.
- Rotura de muelles.
- Subida de retales.
- Rebabas en la pieza.

Estos problemas hay que tenerlos en cuenta, sobretodo, en el diseño de los punzones y la placa matriz, que son los elementos que realizan el corte de la chapa.

10.1.5. Tipo de transformación: doblado

El tipo de transformación de la chapa, en el caso de que sea un proceso de doblado, puede acarrear los siguientes problemas:

- Retorno elástico de la pieza.
- Rotura de piezas.
- Marcas sobre las piezas.
- Excesivas laminaciones en las piezas.

Estos problemas hay que tenerlos en cuenta en el diseño de los punzones de doblado y en la placa matriz y, especialmente, hay que tener en cuenta la elasticidad del material a doblar y evitar radios de doblado pequeños.

10.1.6. Geometría de la pieza

La forma de la pieza a fabricar puede acarrear distintos problemas a la hora de transformar la chapa mediante la matriz progresiva. Estos problemas son debidos a:

- Radios muy pequeños.
- Aristas muy vivas.
- Doblados muy complejos.
- Tolerancias muy severas.
- Embutición muy profunda.
- Cortes muy pequeños.
- Doblados muy agudos.
- Perfiles muy irregulares.

Para evitar estos problemas la mejor solución es, siempre que se pueda, cambiar la geometría de la pieza.

10.1.7. Mantenimiento deficiente

Un mantenimiento deficiente o incorrecto puede acarrear problemas en la calidad de las piezas fabricadas y en las máquinas por causas como:

- Deficiente afilado de punzones y matrices.
- Fatiga y rotura de muelles.
- Alturas desiguales de punzones.
- Desgaste prematuro de afilados.
- Rotura de punzones.
- Temple inadecuado.
- Taponamiento de retales.

Para evitar estos problemas, la mejor solución es realizar un buen mantenimiento.

En los siguientes apartados se describe el mantenimiento que se tiene que realizar en un proceso de fabricación con matriz progresiva.

10.2. Pruebas de matriz

Cualquier matriz encierra una gran posibilidad de generar problemas. Estas posibilidades son directamente proporcionales al número y a la dificultad de transformaciones que realiza la matriz.

Es conveniente tener en cuenta que todas y cada una de las transformaciones que se hacen con una matriz son susceptibles de sufrir modificaciones en sus medidas si no se pone atención especial en la forma en que se realizan.

Una solución mal aplicada a un problema concreto puede generar otros mucho más importantes a corto plazo que ocasionarán paros de producción y, en definitiva, costes económicos elevados.

Lo más prudente y seguro será confiar las pruebas de la matriz a una persona experta capaz de hacerlas con rigurosidad.

Cosas que deben hacerse durante las pruebas de la matriz:

- Preparar la matriz, la prensa y la materia prima con tiempo suficiente para hacer las pruebas.
- Disponer del plano de la pieza, además del útil de control o muestra comparativa.
- Disponer de los medios necesarios para cambiar o modificar los parámetros de máquina.
- Verificar la materia prima antes de las pruebas (espesor, calidad, dureza, anchura...).
- Hacer siempre las pruebas de forma que trabaje toda la matriz y no solo una parte.
- Anotar los resultados obtenidos y analizarlos después de finalizar las pruebas.
- Tener especial cuidado en que las condiciones de trabajo durante las pruebas sean las mismas que la de la producción posterior.

Cosas que no deben hacerse durante las pruebas de la matriz:

- No iniciar las pruebas si la materia prima no es la correcta.
- No tomar decisiones sobre los resultados obtenidos, si los parámetros de la matriz no son los marcados en la hoja de trabajo.
- No hacer las pruebas si la matriz no trabaja en su totalidad o solo una parte.
- No continuar con las pruebas si algún elemento de la matriz se ha roto, deformado o cambiado su forma o sus medidas.

- No modificar elementos de la matriz, si como mínimo no se han fabricado 1000 unidades.
- No variar las condiciones de trabajo si con ello existen riesgos de cambios en las propiedades del material.
- No plantear modificaciones en la matriz sin haber analizado todo el proceso paro a paso.

En la siguiente página se muestra un ejemplo de una ficha de mantenimiento para la fase de pruebas de una matriz (tabla 11).

Tabla 11. Ejemplo de ficha para pruebas de matriz.

 ASCAMM Centro Tecnológico	FICHA PARA PRUEBAS DE MATRIZ
Nombre de la Matriz: Referencia: Número de Matriz: Probado por: Responsable: Fecha y firma:	
Tipo de Matriz: Puente Pisador Coaxial	Tipo de Matriz: Progresiva Manual Transfer
Sistema de transformación: Manual Semiautomático Automático Brazo de carga	Ciclo de producción: Pruebas Prototipos Producción Otros
Sistema de trabajo: Alimentador Bobina Tiras de chapa Mixto	Tipos de material: Acero Aluminio Cobre Inoxidable
Piezas por golpe: Una Dos Tres Cuatro o mas	Defectos en pieza: Rebabas de corte Rebabas en material Defectos en doblado Grietas Tolerancia inadecuada Doblado deficiente Material inadecuado Defectos de embutición Descentramientos Otras anomalías
Pieza obtenida: O.K. No O.K. Pendiente de informe C.D.C. Otras anomalías	
Funcionamiento de la Matriz: O.K. No O.K. Irregular Anomalías en banda Anomalías en Pisador Anomalías en punzones Otras	

10.3. Matrices en producción

Los problemas que se presentan durante la producción pueden ser variados en función de las causas que los originen. Para evitarlos, la solución deberá aplicarse teniendo en cuenta algunos de los siguientes factores:

- a) Tamaño de la pieza a obtener.
- b) Grado de precisión requerido.
- c) Características del material a transformar.
- d) Calidad y precisión de la matriz.
- e) Número de piezas a producir.

10.3.1. Tamaño de la pieza a obtener

La pieza, por su forma y tamaño, ejerce una influencia muy destacada sobre el ritmo de producción, marcando a todo el proceso. Hay que tener en cuenta que, dependiendo del tamaño y la forma de la pieza, la matriz y la prensa necesitarán un tamaño y potencia adecuados que garanticen una correcta producción.

10.3.2. Grado de precisión requerido

La precisión de las medidas y tolerancias de la pieza es otro de los factores que nos indica la capacidad productiva que puede alcanzar la matriz, condicionada por un diseño y una construcción apropiada de todos sus componentes.

10.3.3. Características del material a transformar

Las características del material a transformar puede condicionar notablemente el ciclo productivo, de tal forma que el mantenimiento de la matriz para una producción con material dúctil y de baja resistencia, se corte el doble de piezas que con otro material más duro y de mayor resistencia.

10.3.4. Calidad y precisión de la matriz

La calidad en la construcción de la matriz, condicionada por el presupuesto inicial, puede ser uno de los puntos más críticos a la hora de condicionar una buena producción en las matrices progresivas. Nunca será aconsejable que éste fuera uno de los condicionantes de la calidad y cantidad de piezas fabricadas, ya que el resultado económico a nivel de mantenimiento, muy pronto será visible por la gran inversión de horas y materiales que generará el tener que nivelar la balanza de la calidad y la cantidad de piezas producidas.

10.3.5. Número de piezas a producir

Si el número de piezas a producir por lote es elevado, es necesario aplicar los medios y sistemas más rápidos de producción, tales como: dispositivos de alimentación automáticos, cortes múltiples de piezas, prensas de alta velocidad...

10.4. Mantenimiento general

El mantenimiento general de la matricería es una de las operaciones más importantes para alargar su vida y reducir los paros de producción.

Durante el mantenimiento de las matrices se debe:

- Rectificar o cambiar todos los punzones y no solo aquellos que estén más desgastados.
- Todos los punzones de corte deben estar a la misma altura.
- Todos los muelles deben trabajar en las mismas condiciones (altura, diámetro y durabilidad).
- Eliminar los gruesos o suplementos sin identificar en todos los punzones y en la matriz.
- Después de un paro por avería grave, hacer pruebas de matriz antes de entrar en producción.
- Tener especial cuidado en que las condiciones de trabajo después del mantenimiento sean las mismas que las anteriores.
- Tener recambios de los elementos que presenten mayor riesgo de desgaste o rotura.

Durante el mantenimiento de las matrices no debe hacerse:

- No hacer el mantenimiento de la matriz sin desmontarla en su totalidad.
- No aplicar soluciones provisionales (salvo causas de fuerza mayor).
- No confiar al azar aquello que no esté totalmente asegurado.
- No rectificar solo uno de los 2 elementos cortantes, siempre los dos, punzón y matriz.
- Un buen afilado no debe requerir más de 0,2mm de rebaje.
- No plantear modificaciones en la matriz sin antes haber analizado todo el proceso de trabajo paso a paso.

El mantenimiento debe ser programado y cuidado, destacando los tres elementos esenciales para obtener un buen resultado en todo su conjunto:

1. Personal preparado.
2. Máquinas adecuadas.
3. Utillaje bien diseñado.

10.5. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo de la matriz tiene por objeto asegurar y mantener en todo momento la capacidad de producción esta, independientemente de su antigüedad. Dicho mantenimiento lleva implícito el aseguramiento de la calidad de las piezas que fabrique la matriz.

Durante el mantenimiento preventivo y como medida de seguridad, hay que revisar todos los elementos de la matriz y, específicamente:

1. El desgaste de todos y cada uno de los punzones de corte.
2. El afilado y vida de las matrices cortantes.
3. El desgaste o posible gripado de los punzones de doblar.
4. Las tolerancias entre punzones y matrices de doblar.
5. El estado de fatiga en que se encuentren los muelles.
6. El desgaste y medida de los centradores.
7. La no existencia de golpes o marcas sobre la superficie de figuras.
8. El correcto funcionamiento de los elementos de seguridad.

En la siguiente página se muestra un ejemplo de ficha de mantenimiento preventivo de una matriz (tabla 12).

Tabla 12. Ejemplo ficha de mantenimiento preventivo de una matriz.

Nº de Matriz:		Frecuencia: Mes:		Díario Año:																												
Denominación:																																
Constructor:																																
Ref. Pieza:																																
Nombre Operario		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
DESCRIPCIÓN INTERVENCIÓN																																
LIMPIEZA																																
Parte inferior matriz																																
Parte superior matriz																																
CONTROL / VERIFICACIÓN VISUAL																																
Placa extractora																																
Cufias o carros móviles																																
Columnas y casquillos guía																																
Pernos de transporte																																
Reglas guía																																
Placa matriz																																
Postizos matrancia																																
Punzones generales																																
Fechadores, anagramas, etc.																																
ENGRASE																																
Columnas, casquillos y ejes móviles																																
Elementos de extracción y expulsión																																
Cufias y carros móviles.																																
Otros.																																

10.6. Revisión de componentes

Durante el mantenimiento preventivo que se realice en las matrices, existen una serie de componentes que deben ser revisados con más atención que el resto.

Los aspectos que deben tenerse en cuenta durante la revisión de estos componentes se enumeran en los siguientes apartados.

10.6.1. Revisión de punzones

1. Afilado.
2. Roturas o melladuras.
3. Alturas de trabajo.
4. Desgastes.
5. Adherencias.
6. Deformaciones

10.6.2. Revisión de la placa matriz

1. Vida útil de matriz.
2. Tolerancias de corte.
3. Caída de retales.
4. Roturas o melladuras.
5. Desgastes.
6. Afilado.

10.6.3. Revisión de la placa pisadora

1. Gripado de agujeros.
2. Tolerancias de ajuste.
3. Marcas en superficie.
4. Deformaciones.
5. Fuerza de pisado.
6. Guía de punzones.

10.6.4. Revisión de la placa base inferior

1. Caída de retales.
2. Deformaciones.
3. Holgura de columnas.
4. Sujeción de punzones y placas.

10.6.5. Revisión de muelles

1. Fatiga.
2. Rotura de hilos.
3. Pandeo.
4. Roces laterales.
5. Rotura de gomas.
6. Centraje.
7. Carrera de trabajo.

10.6.6. Revisión de elementos guía

1. Ajuste de columnas.
2. Gripados o ralladuras.
3. Desprendimientos.
4. Desgastes.
5. Adherencias.
6. Lubricación.
7. Deslizamientos.

10.7. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo de la matriz tiene por objeto reparar todos aquellos defectos que han ocurrido o que se sabe que van a ocurrir, con soluciones prácticas (más o menos temporales) que se aplican a la matriz con el fin de reducir o minimizar los tiempos de paros durante la producción.

Dadas las especiales circunstancias en que se realiza este tipo de mantenimiento, a pie de máquina y casi siempre con la máxima urgencia, los profesionales que lo realizan han de tener muy en cuenta que lo más importante en estos casos no es la revisión completa de toda la matriz, sino, reparar el elemento causante del problema y conseguir que la producción no se pare más tiempo del estrictamente necesario.

A diferencia del mantenimiento preventivo, el correctivo ha de ser más rápido pero tan eficaz como el anterior.

Para poder realizar un buen mantenimiento correctivo también es muy importante que la matriz haya sido diseñada con unos criterios muy prácticos, de forma que el operario pueda tener acceso a todos los componentes de la matriz sin necesidad de desmontarla en su totalidad.

Con el fin de facilitar y agilizar el mantenimiento de choque a pie de máquina, siempre es muy aconsejable tener en cuenta algunos de los siguientes aspectos:

- Diseño de la matriz de fácil mantenimiento.
- Facilidad de acceso a todos los componentes.
- Recambios de todos los elementos de fácil rotura o desgaste.
- Disponer de los medios necesarios para el mantenimiento.
- Conocer en profundidad la herramienta antes de repararla.
- Operarios con experiencia y profesionalidad.

10.8. Reparación y recambios

La fase de reparación de cualquier tipo de matriz, comporta una serie de aspectos negativos que en muchas ocasiones nos llevan a buscar soluciones rápidas y temporales en vez de otras más seguras y duraderas.

Este tipo de actuaciones no son, en muchas ocasiones, atribuibles a la falta de responsabilidad de los operarios sino, a la falta de tiempo del que se dispone, en un momento en que la producción esta parada y se han de fabricar piezas con rapidez.

Por esta razón y, siempre que se pueda, es muy conveniente montar elementos normalizados allí donde las características de la matriz lo permita.

El campo de aplicaciones de los productos normalizados es cada vez mayor debido, en gran parte, al ahorro de tiempo que representa el comprarlos ya contruidos en vez de tenerlos que construir nosotros mismos.

Por todo esto, se dispondrá de las piezas de recambio necesarias de los elementos susceptibles de rotura o desgaste de la matriz, como son los punzones y muelles.

Si se tienen que reemplazar uno o más muelles, se aconseja que se reemplacen todos los muelles de la matriz para distribuir las cargas uniformemente en cada muelle y mantener un equilibrio correcto de fuerzas.

10.9. Limpieza, engrase y control

No es suficiente con reparar los componentes dañados o rotos de las matrices, sino que éstos deben estar cuidados y limpios en su totalidad cada vez que se haya terminado una fabricación.

La limpieza y el engrase de toda la matriz es fundamental si se quiere que esta siempre se encuentre en perfecto estado de funcionamiento.

La limpieza de todos y cada uno de los componentes, así como el engrase o aceitado general de toda la matriz, permitirá que los elementos que la componen no estén sometidos a posibles oxidaciones que llegarían a degradar las características mecánicas del material y las tolerancias de ajuste o acabado.

El almacenamiento y control de las matrices en un lugar accesible y adecuado es fundamental si se quiere agilizar su montaje y puesta a punto de la máquina. Las matrices deberán estar debidamente identificadas y numeradas permitiendo de esta forma su localización y control en todo momento.

CAPÍTULO 11:

MEDIDAS DE

SEGURIDAD

Dentro del sector metalúrgico, los equipos utilizados en el ámbito de la matricería son probablemente uno de los grupos de máquinas y herramientas que causan un mayor número de accidentes laborales, dando lugar demasiadas veces a una incapacidad permanente de los operarios que los sufren. La rutina de estos trabajos, entre otros factores, es uno de los pesos enemigos del operario, que en ocasiones, baja la guardia, dando lugar a situaciones de riesgo que pueden desembocar en consecuencias fatales. La protección de las máquinas y de los propios operarios, junto a la observación estricta de las normas de seguridad e higiene, harán de este trabajo un oficio más seguro y que, aunque no exentos de riesgos, ayudará a disminuir de manera considerable el índice de siniestralidad que se produce en el sector.

11.1. Riesgos

Los principales riesgos que presenta el proceso de fabricación con matriz progresiva son:

- Riesgo de aplastamiento al introducir el operario las manos en el interior de la matriz cuando está se encuentra funcionando.
- Riesgo de impacto por la rotura de elementos de la matriz, que puedan salir proyectados hacia el exterior.
- Riesgo de atrapamiento al introducir el operario las manos en el alimentador de chapa cuando este se encuentre funcionando.

- Riesgo a sufrir dolencias y lesiones a causa de las vibraciones producidas por la prensa y transmitidas al operario a través del suelo.

Para evitar o minimizar estos riesgos, se han de tomar ciertas medidas de seguridad, las principales tienen que ver con la protección de máquinas y herramientas y con la protección de los operarios.

11.2. Protección de máquinas y herramientas

En términos generales, las principales medidas de seguridad a observar para la protección de las máquinas y herramientas consisten en:

- a) Pintar en colores llamativos las partes móviles de las máquinas. Como colores normalizados se utilizan el amarillo o el blanco, junto al negro, pintados en franjas oblicuas alternas sobre los extremos del elemento móvil a destacar.
- b) Colocar protecciones adecuadas en aquellas zonas en donde operan los elementos mecánicos y/o de transmisión de la máquina. Al mismo tiempo, señalar debidamente los riesgos que entraña el trabajo en la máquina sin el uso de dichas protecciones.
- c) Colocar protecciones apropiadas alrededor de las zonas donde operan los elementos móviles de la máquina. Las protecciones pueden ser físicas (carenados de chapa, enrejados, pantallas, acristaladas...) o bien electrónicas (barreras fotoeléctricas, de infrarrojos...).
- d) Proteger las máquinas lo máximo posible para reducir los niveles de ruido colocando resguardos en las prensas o encerrando los troqueles
- e) Mantener el cuadro eléctrico de la máquina siempre cerrado y en perfecto estado de funcionamiento. Esta recomendación incluye el mantenimiento preventivo del cableado de todos los circuitos, pues, aunque éstos suelen protegerse con tubos de blindaje, no están exentos de riesgo por golpes o por aplastamiento.
- f) Proteger los sistemas de accionamiento de la máquina contra presiones accidentales. El diseño actual de pedales y pulsadores ya contempla y exige por norma este detalle.
- g) Revisar la máquina antes de ponerla en marcha y respetar rigurosamente sus planes de mantenimiento periódico. Embragues, frenos, topes de palanca, pulsadores, sistemas neumáticos y protecciones de la matriz o troquel son algunos de los elementos en los que hay que prestar mayor atención.

11.3. Protección de los operarios

Las medidas de seguridad para la protección de los operarios deberán cumplirse con el máximo celo y esmero, sin dejar opción a ningún tipo de riesgo o percance que pudiera provocar accidentes.

En términos generales, las medidas de seguridad para la protección de los operarios consisten en:

- a) La ropa de trabajo debe ser ajustada, utilizando calzado de seguridad. Usar guantes de piel para cualquier tarea de manipulación de la chapa. En el caso de operar con grandes formatos de chapa, también se recomienda el uso de mandiles de cuero.
- b) Los niveles de ruido producidos por la máquina pueden llegar a resultar muy molestos a la hora de trabajar e, incluso, pueden llegar a ser perjudiciales para la salud. En estos casos se les proporcionará a los operarios orejeras o tapones para que no sufran daños en los oídos.
- c) Las prensas, las cizallas, las plegadoras y, en definitiva, todas las máquinas utilizadas en los procesos de corte y conformado de la chapa sólo deben ser manejadas por personal especializado. Por lo tanto, no se debe permitir jamás el uso de estas máquinas por parte de personal no autorizado. Aún así, todo especialista o usuario está obligado a conocer los riesgos y peligros derivados del uso de dichas máquinas, así como sus limitaciones, consultando, si fuera preciso, su libro de instrucciones.
- d) Nunca se debe distraer la atención del operario. Evitar cualquier interferencia durante un proceso productivo de estas características.
- e) La ingesta de medicamentos, alcohol, drogas o la combinación o toma indiscriminada de estas sustancias puede producir euforia, confusión, somnolencia o alteraciones de la visión, entre otros efectos, reduciendo drásticamente la capacidad de concentración y de reacción del operario.
- f) Evitar a toda costa cualquier manipulación directa por parte del operario entre las partes fija y móvil de los utillajes mientras la máquina está en funcionamiento.
- g) Parar la máquina antes de efectuar cualquier reparación u operación de mantenimiento. En caso de que dicha reparación deba efectuarse sobre la máquina, proteger las partes cortantes o punzantes de los utillajes y protegerse también frente a las mismas.
- h) Se considera una falta muy grave por parte del operario la ignorancia o la anulación de los dispositivos de seguridad y de protección de las máquinas. En consecuencia, jamás deben hacerse "montajes" para la inutilización de pulsadores o palancas de seguridad.
- i) Los recortes de chapa o las piezas que puedan quedarse adheridas o atascadas en la matriz deben ser apartadas con unas pinzas, tenazas, gancho u otra herramienta adecuada para tal efecto. Hay que evitar a toda costa cualquier forma de presencia o manipulación directa por parte del operario entre las partes fija y móvil del utillaje.
- j) Mantener la zona de trabajo libre de obstáculos y limpia de grasas y aceites. Utilizar un cepillo adecuado o una pistola de presión para la limpieza de los utillajes.

CAPÍTULO 12:

NORMATIVA

La matriz progresiva diseñada deberá cumplir la normativa CE para hacer posible la libre circulación de mercancías por la Unión Europea. Los estados miembros de la Unión Europea deben aplicar las directivas aprobadas por su Consejo en sus respectivas directivas nacionales.

Algunas de las normativas que deberá cumplir la matriz diseñada son:

- La directiva “maquinas” 2006/42/CE.
- El R.D. 1435/1992.
- El R.D. 56/1995.
- El R.D. 1215/1997.

CAPÍTULO 13:

MEDIO AMBIENTE

Se ha de tener en cuenta y valorar el posible impacto medioambiental que pueda producir la matriz progresiva que se ha diseñado.

Para poder minimizar el impacto ambiental producido por la matriz diseñada se debe obtener el máximo rendimiento en la producción de las piezas (véase el apartado *1.1 Optimización de la banda de chapa del Anexo A*).

El rendimiento es el parámetro que determina el grado de aprovechamiento del material. Es un factor clave, tanto por motivos económicos como medioambientales. Un mayor rendimiento se traduce en un mayor beneficio económico y un menor consumo de recursos energéticos y materia prima, así como en un menor impacto ambiental.

También hay que prestar atención a la contaminación acústica, ya que durante el conformado de la chapa se producen niveles de ruido muy elevados provocados por los continuos golpes que provocan los troqueles sobre el material.

Estos niveles de ruido pueden llegar a resultar muy molestos a la hora de trabajar e incluso, pueden llegar a ser perjudiciales para la salud.

Por lo tanto, como ya se ha comentado en el capítulo 11, se deberán proteger las máquinas lo máximo posible para reducir estos niveles de ruido colocando resguardos en las prensas o encerrando los troqueles y, si es necesario, se les proporcionará a los operarios orejeras o tapones para que no sufran daños en los oídos.

CAPÍTULO 14:

BIBLIOGRAFÍA

Libros y documentos:

- Centro tecnológico ASCAMM. *Defectos en piezas matrizadas*.
- Centro tecnológico ASCAMM. *Descripción y análisis de matrices*.
- Centro tecnológico ASCAMM. *Introducción a la tecnología de las matrices*.
- Centro tecnológico ASCAMM. *Mantenimiento de matrices*.
- Centro tecnológico ASCAMM. *Matrices progresivas*.
- Centro tecnológico ASCAMM. *Técnicas de doblado*.
- Florit, Antonio. 2005. *Fundamentos de matriceria: corte y punzonado*. Barcelona: CEAC.
- Florit, Antonio. 2008. *Tratado de matriceria*. Barcelona: Tecnofisis.
- Rossi, Mario. 1979. *Estampado en frío de la chapa*. Madrid: Editorial DOSSAT.

Webs:

- www.ascamm.com
- www.fibro.com
- www.fimsa.es
- www.inmacisa.es
- www.thyssenkrupp.cl
- www.upacat.com
- www.vap.es