

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DEL TROQUEL EMBUTIDOR Y
SIMULACIÓN DEL PROCESO DE
EMBUTICIÓN***

DOCUMENTO 2- MEMORIA

Alumno/Alumna: Calvo, Vicandi, Xabier

Director/Directora (1): Lobato, Gonzalez, Roberto

Curso: <2018-2019>

Fecha: <Lunes, 18, Febrero, 2019>

ÍNDICE

Documento 2: Memoria

	<u>PÁG.</u>
2.1.- Objeto del proyecto	3
2.2.- Alcance del proyecto	5
2.3.- Antecedentes	7
2.3.1.- <i>Diferencias de espesor</i>	7
2.3.2.- <i>Retroceso elástico</i>	8
2.3.3.- <i>Fallos de posicionamiento</i>	8
2.3.4.- <i>Pliegues</i>	8
2.4.- Normativa y referencias	10
2.4.1.- <i>Normativa general</i>	10
2.4.2.- <i>Normativa de seguridad</i>	10
2.4.3.- <i>Normativa de planos</i>	10
2.4.4.- <i>Normativa de elementos</i>	11
2.4.5.- <i>Guías</i>	11
2.4.6.- <i>Bibliografía</i>	11
2.5.- Análisis de soluciones	13
2.5.1.- <i>Tipos de troqueles</i>	13
2.5.1.1.- <i>Troquel simple</i>	13
2.5.1.2.- <i>Troquel progresivo</i>	13
2.5.1.2.1.- <i>Progresivos para trabajos manuales</i>	14
2.5.1.2.2.- <i>Progresivos para trabajos automáticos</i>	14
2.5.1.3.- <i>Troquel transfer</i>	14
2.5.2.- <i>Procedimientos de embutición</i>	15
2.5.2.1.- <i>Embutición de simple efecto</i>	16
2.5.2.2.- <i>Embutición de doble efecto</i>	17
2.5.2.3.- <i>Embutición de triple efecto</i>	19
2.5.3.- <i>Embutición en caliente y en frío</i>	20
2.5.4.- <i>Prensas</i>	20
2.5.4.1.- <i>Prensa mecánica de simple efecto</i>	21
2.5.4.2.- <i>Prensa mecánica de doble efecto</i>	21
2.5.4.3.- <i>Prensa hidráulica</i>	21

2.6.- Resultados finales	23
2.6.1.- <i>Elementos del troquel</i>	23
2.6.1.1.- <i>Base superior y matriz</i>	23
2.6.1.2.- <i>Base inferior y punzon</i>	26
2.6.1.3.- <i>Pisador</i>	29
2.6.1.4.- <i>Sistemas de guiado por columnas y regletas</i>	31
2.6.1.5.- <i>Tornillos de fijación</i>	33
2.6.1.6.- <i>Velas</i>	34
2.6.1.7.- <i>Topes limitadores</i>	35
2.6.2.- <i>Proceso de construcción</i>	35
2.6.3.- <i>Montaje y puesta a punto</i>	36
2.6.4.- <i>Funcionamiento del troquel</i>	38
2.6.5.- <i>Mantenimiento del troquel</i>	39
2.6.5.1.- <i>Mantenimiento preventivo</i>	40
2.6.5.2.- <i>Mantenimiento de choque</i>	41
2.6.5.3.- <i>Componentes a revisar</i>	42
2.6.5.4.- <i>Limpieza, engrase y control</i>	42
2.6.6.- <i>Tratamientos térmicos</i>	43
2.6.6.1.- <i>Templado</i>	44
2.6.6.2.- <i>Revenido</i>	45
2.7.- Planificación	46

2.1. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del proyecto que se va a realizar es el de llevar a cabo la simulación del proceso real de embutición de una chapa conformada por estampación en frío y su comportamiento a la deformación de carácter plástica, además, del diseño del troquel embutidor con sus correspondientes planos y los cálculos necesarios para su realización. Dada la importancia de la estampación dentro del sector automovilístico se ha optado por diseñar una matriz capaz de producir en serie el techo de una furgoneta de una marca reconocida.

Como definición se puede afirmar que, el troquelado es un proceso mecánico de producción industrial que se utiliza para trabajar en frío lámina metálica y fabricar, completa o parcialmente, piezas por medio de una herramienta (troquel), formada por un punzón y una matriz, también llamados ‘macho’ y ‘hembra’, respectivamente. Mediante una prensa, el troquel ejerce presión sobre el material, supera su límite elástico y actúa como fuerza para conformar una forma previamente definida. Es empleado en gran variedad de sectores, tales como, electrodomésticos, automoción, aeronáutico, naval, electrónico e informático y su objetivo es aprovechar al máximo el material para elaborar la mayor cantidad de piezas con el menor tiempo y costo posible.

El diseño comprende la creación de todos aquellos elementos que formarán el troquel, tales como matriz, pisador, punzón embutidor, bases y demás elementos necesarios para la correcta fabricación que surgirán a lo largo de este estudio.

El proyecto tiene como fin asegurar una correcta realización de piezas en serie, por lo que, se ha de tener en cuenta criterios como la rentabilidad del proceso. Es por ello, por lo que siempre se tratará de diseñar todos los elementos de forma que se ajusten a una buena relación calidad/precio. Es decir, se diseñarán todas las partes dentro de un marco económico aceptable sin caer, por ello, dentro de una mala calidad de acabado y asegurando siempre las características exigidas por el destinatario del producto.

Como punto de partida del proyecto será necesario contar con una representación o modelo mediante un software de CAD (diseño asistido por ordenador) de la pieza de nuestro automóvil, teniendo en cuenta que ésta no será la pieza final que obtengamos de nuestro troquel. La pieza final se muestra en el apartado de 3.2. del apartado 3. Cálculos

junto al planteamiento del problema en el software de CAD.

Para la simulación del proceso de embutición existen métodos de simulación de procesos altamente efectivos basados en el estudio por elementos finitos, que facilitarán el análisis (en nuestro caso mecánico) de piezas y conjuntos que, por medio de cálculos tradicionales, no podrían ser realizados. Estos tipos de análisis no nos darán resultados concluyentes y requerirán un proceso de pruebas experimentales después, pero ahorrarán mucho tiempo y coste económico de los mismos. El programa elegido será PAM-STAMP 2G 2012.1 debido a su gran potencial dentro de la simulación por elementos finitos y que nos permitirá observar cómo evoluciona el conformado de la pieza, para así, poder modificar los valores necesarios en caso de fallo o defectos sobre el material. Además, será decisivo para la elección de la prensa ya que proporciona al usuario las fuerzas requeridas durante el proceso de embutición.

2.2. ALCANCE DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto es el de realizar el diseño de uno de los tres troqueles que formarán parte en el conformado de la pieza exterior del techo de una furgoneta, así como la simulación de la embutición que realizará el troquel.

Dicha pieza se conforma en tres diferentes procesos de conformado de chapa formado por tres troqueles transfer. El primero de ellos, que será el que se estudie en este proyecto, será un proceso de embutición en la que se obtendrá una pieza que incluirá el techo de la furgoneta, pero a la que no se le habrán recortado las partes sobrantes todavía. El segundo será un proceso de corte, en el que se extraerán de la pieza todos los agujeros y los recortes de los laterales. Por último, en el tercer troquel se precisará la embutición de las partes del techo que conectarán la pieza con el resto de elementos de la furgoneta.

Por ello, para dar solución al primer proceso de embutición que sufrirá nuestra pieza se encarga el diseño de un troquel capaz de realizar la pieza deseada, con el material adecuado y que se ajuste a unos determinados tiempos de producción, sin que esto último, condicione la calidad final del producto.

Dicho proyecto incluirá el diseño del conjunto del troquel, así como, todo el utillaje que lo compone para su posterior fabricación en taller. Además, incluirá también una simulación de los procesos que intervienen en el conformado.

Dichas simulaciones nos permitirán en un futuro introducir variaciones en los distintos parámetros de dicho proceso sin necesidad de recurrir a intentos de fabricación sucesivos. Por ejemplo, se podrá estudiar el efecto de disminuir el espesor de la chapa con el fin de aligerar el peso en el automóvil y de ahorrar material, se podrá ver el efecto de la sustitución del material empleado por uno de diferente comportamiento elástico-mecánico y se podrán optimizar las velocidades de embutición para disminuir el tiempo de fabricación.

Por otro, se podrá predecir el comportamiento de dicho material en otros procesos de embutición y anticipar posibles fallos. Son las llamadas lecciones aprendidas que llevarán, en un futuro, a seleccionar radios de acuerdo adecuados para los troqueles, minimizando así el número de prototipos necesarios, los retoques de los mismos, el

consumo innecesario de material y las horas de ingeniería y fabricación necesarias y a reducir el número de pruebas necesarias para dar con la velocidad de embutición apropiada para el proceso y el material utilizado.

El proyecto no incluye el diseño de la prensa necesaria para el correcto funcionamiento del troquel, aunque si se hará referencia de las características que deberá tener la prensa óptima para el correcto funcionamiento del utillaje diseñado.

Tampoco se incluyen otros factores como la forma de alimentación del troquel ni los sistemas de transporte y almacenamiento de las piezas acabadas, si bien, puede hacerse mención de posibles soluciones en estos aspectos.

2.3. ANTECEDENTES

El conformado de lámina en general, y en particular el troquelado, suele asociarse con un proceso mecánico relativamente simple de reducida aportación tecnológica y escasa complejidad. Sin embargo, la realidad es muy diferente ya que este trabajo, al igual que otros procesos de tipo mecánico, engloba una serie de técnicas llenas de virtuosismo y maestría. Es una labor minuciosa donde no hay opción para la improvisación, es un proceso que consta de diferentes etapas que van desde el diseño de la secuencia del trabajo a la configuración, construcción y puesta a punto del propio troquel, todas ellas implican precisión y perfección.

De todos modos, trabajos como la estampación de piezas siguen necesitando de la maestría de un buen matricero capaz de solucionar los típicos problemas que suelen aparecer en las matrices una vez montadas. Por ello, y como bien queda reflejado en los defectos que en el siguiente apartado se explicarán, el sector matricero sigue siendo un trabajo artesanal.

Dentro de las piezas que forman el exterior de un automóvil, el techo es junto a alguna otra pieza la de menor dificultad de embutición, pero eso no quita que en la práctica aparezcan diversos problemas que requieren gran experiencia para su solución.

A continuación, se enumeran una serie de posibles defectos o fallos cotidianos recogidos a lo largo de los años y fruto de la experiencia práctica, que deben tenerse en cuenta a la hora de diseñar el troquel. Dichas consideraciones deberán aplicarse para conseguir una máquina herramienta capaz de conformar la pieza final exigida y con unas condiciones óptimas de acabado.

2.3.1. Diferencias de espesor

Las roturas debidas a un espesor desigual en la chapa aparecen principalmente en piezas no cilíndricas. En estas comprobaciones, las medidas a distancias iguales de la arista de embutición han de tomarse en varias piezas embutidas que presenten roturas, teniendo en cuenta la dirección de laminado. Si las roturas aparecen en dirección paralela a la dirección de laminación en la mayoría de los casos ello indica que la pieza no es apropiada para ser embutida, pero si en varias piezas no se observa influencia alguna de

la dirección de laminación con respecto a la situación de las roturas y éstas están dispuestas en forma radial en las zonas más gruesas de la brida de la chapa puede decirse que el origen del defecto está en el espesor desigual de la chapa. En piezas embutidas no cilíndricas ha de prestarse mayor atención a las diferencias de espesor en la chapa de lo que indican las correspondientes disposiciones.

2.3.2 Retroceso elástico

Del mismo modo que en la operación de doblado en la de embutición se aprecia el efecto del retroceso elástico. Sin embargo, las piezas que al ser embutidas sufren un adelgazamiento de sus paredes no suelen mostrar este efecto de retroceso o reacción elástica, y como se apreciará en el apartado 3.8.8. Embutición con una fuerza de pisado de 800 KN y freno no uniforme ampliado (del apartado 3. Cálculos y simulación), no tenemos por qué preocuparnos por este fenómeno, y por ello no se analizará en profundidad.

2.3.3. Fallos de posicionamiento

Otros fallos comunes en las piezas acabadas son aquellos relacionados con el posicionamiento, tanto del material, como de los útiles de conformado.

Con el fin de solucionar dichas complicaciones se recurrirá a los pasos siguientes:

- El recorte está mal colocado; corregir el centrado.
- Velocidad de embutición demasiado elevada.
- Punzón descentrado; se precisará de mediciones mediante CMM, y las soluciones son diversas según la causa.

2.3.4. Pliegues

Por otro lado, se pueden producir pliegues en la chapa por efecto de la compresión, cuanto menor sea la distancia a los bordes exteriores más intensos serán dichos pliegues. Para impedir la formación de arrugas se aplica una fuerza de compresión normal a la chapa por medio de un pisado, sin que ésta sea excesiva, puesto que, el material debe fluir sin impedimentos o de lo contrario se produciría un estiramiento del mismo.

Por el contrario, lo que ocurre es que se forman flecos o irregularidades en el borde superior. Lo que habría que hacer sería aumentar la presión del pisador como en el caso anterior, reducir el juego entre punzón y matriz, o bien reducir el radio de embutición. Este último, condiciona toda la embutición, ya que la parte del material que pasa sobre el radio sufre un adelgazamiento y al penetrar en la matriz lo obliga a enderezarse (doblado en sentido inverso). Este enderezamiento y alargamiento, originados por la resistencia ofrecida al desplazamiento, provoca un nuevo adelgazamiento del material.

Este fenómeno es el más importante en nuestro proyecto, pues como se verá en el apartado 3. Cálculos y simulación, será la mayor problemática de nuestras simulaciones.

2.4. NORMATIVA Y REFERENCIAS

2.4.1. NORMATIVA GENERAL

- UNE-EN 157001:2014 (Criterios generales para la elaboración de un proceso)
- UNE-EN 10020:2001 (Definición y clasificación de aceros)

2.4.2. NORMATIVA DE SEGURIDAD

- Ley de industria 21/1992-Seguridad y calidad industrial.
- Ley 31/1995 de 8 noviembre. Prevención de riesgos laborales.
- Real decreto 1435/1992- Máquinas, componentes de seguridad. Marcado CE
- Real decreto 39/1997 de 17 de enero: Reglamento de los servicios de prevención.
- Real decreto 485/1997 de 14 de abril: Señalización de seguridad en el trabajo.
- Real decreto 773/1997 de 30 de mayo: Utilización de equipos de protección individual.
- Real decreto 1215/1997 de 18 de julio: Utilización de equipos de trabajo.
- Real decreto 1644/2008- Normas para la comercialización y puesta en servicio de las máquinas.
- Norma de UNE-EN ISO 12100:2012. Seguridad de máquinas. Bases para la evaluación de riesgos.

2.4.3. NORMATIVA DE PLANOS

- UNE-EN 1027:2017 (Plegado de planos)

- UNE 1035:1995 (Cuadro de rotulación)
- UNE 1039:1994 (Acotación)
- UNE 1135:1989 (Lista de elementos)
- UNE-EN ISO 5455:1996 (Escalas)
- UNE-EN ISO 5457:2000 (Formatos y presentación)
- ISO 2768-1: 1989 (Tolerancias generales)
- UNE-EN ISO 286-1:2011 (Base de tolerancias, desviaciones y ajustes)
- UNE-EN ISO 6433:2012 (Referencia de los elementos)

2.4.4. NORMATIVA DE ELEMENTOS

- DIN 912 (Tornillo de cabeza Allen)
- DIN 9825, ISO 9182, DIN 9833, NAAMS y AFNOR (Columna con valona)
- VDI 3357 y VDI 3387 (Placas para troquel)

2.4.5. GUÍAS

- PAM-STAMP 2G 2012 Reference Manual
- PAM-STAMP 2G 2012.1 ESI Examples
- PAM-STAMP 2G 2012 User's Guide

2.4.6. BIBLIOGRAFÍA

- ROSSI, M.: “Estampado en frío de la chapa”. Dossat. Madrid, 1979.

- SUCHY, I.: “Handbook Die Design”. McGraw-Hill. Estados Unidos de América, 1998

- FLORIT, A. (2007). Fundamentos de matricería. Barcelona: Editorial Ceac.

2.5. ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Atendiendo a los requerimientos de producción planteados por el cliente, así como, a las características de la pieza se deberá seleccionar el tipo de troquel que más se ajuste a las necesidades impuestas. Tenemos que tener en cuenta que, aunque el alcance de este proyecto sólo se ajuste al primer troquel que tomará parte en el conformado de la pieza, tendremos que tener en cuenta todo el proceso que sufrirá el techo para la correcta elección de las soluciones.

A continuación, se diferencia los tres grandes tipos de troqueles que nos podemos encontrar:

- Troquel simple
- Troqueles progresivos
- Troqueles transfer

2.5.1. TIPOS DE TROQUELES

2.5.1.1. Troquel simple

Este tipo de troquel realiza una única operación en cada golpe de prensa y su alimentación es manual. Cabe mencionar que no debemos confundirnos con un troquel de simple efecto.

2.5.1.2. Troquel progresivo

Las matrices progresivas son construidas básicamente para la producción de piezas de pequeño y mediano tamaño, con la finalidad de que sean fabricadas a imagen y semejanza de cómo se harían en dos, tres o más útiles, pero en este caso agrupadas en un solo bloque.

En el caso de fabricación mediante matriz progresiva, la pieza siempre deberá permanecer unida a la tira de chapa hasta que, ésta llega a la última estación o paso, donde necesariamente deberá quedar cortada.

Trabajando de ésta forma permite que cada vez que baje la prensa, la matriz realice

una nueva deformación en la pieza y cada vez que sube, la tira avance un nuevo paso a la espera de la siguiente transformación.

2.5.1.2.1. Progresivos para trabajos manuales

Dentro del grupo de este tipo de matrices se incluyen aquellas que muestran un proceso de transformación de la pieza totalmente progresivo, pero con la característica de que el avance de la tira de chapa es realizado de forma manual por un operario.

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

2.5.1.2.2. Progresivos para trabajos automáticos

En este caso, el avance de la chapa en la matriz se realiza de manera totalmente automática por medio de un alimentador y partiendo de rollos o bobinas de gran longitud y cuyo diámetro interior o exterior deben estar de acuerdo a las medidas que tenga la devanadora encargada de desenrollar el material.

Es evidente que siempre que se pueda trabajar con un sistema de alimentación automático, las ventajas serán mucho mayores que con cualquier otro.

2.5.1.3. Troquel transfer

En estos troqueles, las piezas son separadas de la banda en el primer paso y son conducidas de paso a paso mediante unos brazos automatizados, neumáticos en su mayoría. Son troqueles que se utilizan principalmente, cuando se precisan operaciones de embutición.

Los transferes son el sistema de barras y pinzas quemueven la pieza de una estación a otra. Existe una amplia gama de transfer completamente electrónicos accionados por motores brushless, cuyos movimientos son sincronizados con los de la prensa por un simple encóder electrónico.

Por lo que se refiere a los moldes, el sistema transfer garantiza unas cuantas y decisivas ventajas a quien lo aplica:

- Importante ahorro de material, porque la primera estación corta el formato estrictamente necesario para la fabricación de la pieza y, después, las pinzas del transfer lo trasladan a las sucesivas estaciones sin necesidad de material de unión como en los troqueles progresivos. El ahorro de material se puede obtener más claramente con cortes zigzag o en tresbolillo.
- El transfer permite rotación y/o vuelco de las piezas entre las estaciones, cosa imposible con un molde progresivo.
- Las estaciones son independientes. Las matrices, los punzones y los pisadores son más robustos y duraderos. Las modificaciones y sobre todo el mantenimiento son más fáciles y rápidos por la posibilidad de extraer una única estación conflictiva sin tocar las otras que no tienen problemas.
- Es más fácil la realización de moldes nuevos. La investigación del desarrollo para las piezas plegadas y/o embutidas se hace con las estaciones definitivas del troquel sin tener que realizar troqueles para pruebas.
- Es posible realizar montajes, roscas, soldaduras por puntos de piezas, lavados, etc. en línea con la prensa, porque la pieza, al final de las operaciones de prensa, está cogida entre pinzas.

2.5.2. PROCEDIMIENTOS DE EMBUTICIÓN

Es importante elegir entre los tres procedimientos de embutición que existen:

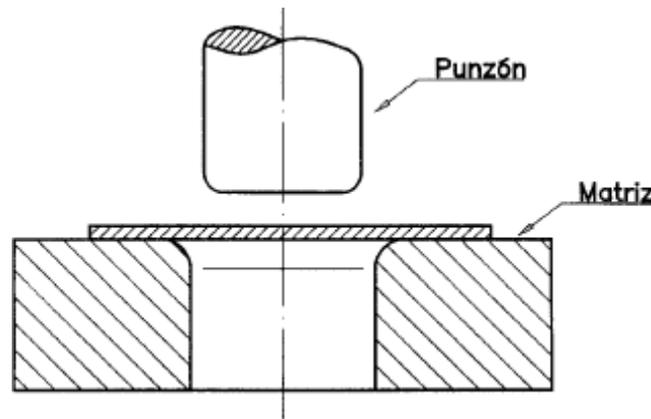
- Embutición de simple efecto: es una embutición sin pisador que sólo permite la ejecución de piezas embutidas poco profundas.
- Embutición de doble efecto: es una embutición con pisador, el cual, permite producir unas piezas embutidas de mayor profundidad.
- Embutición de triple efecto: es una embutición con pisador y cojín en prensa para piezas irregulares de poca o gran profundidad.

Como se podrá observar en el apartado 3. Cálculos, PAMSTAMP no clasifica los procedimientos de esta manera, pero sí que es la más común en libros.

2.5.2.1. EMBUTICIÓN DE SIMPLE EFECTO

La herramienta se compone de:

- Punzón de embutición: cuya sección tiene la forma de la embutición a realizar.
- Matriz de embutición: está provista de un agujero que permite el paso del punzón disponiendo de un espacio igual al espesor del metal y, teniendo también, la forma de la embutición a realizar.



2.1. Imagen: Representación de punzón (macho) y matriz (hembra)

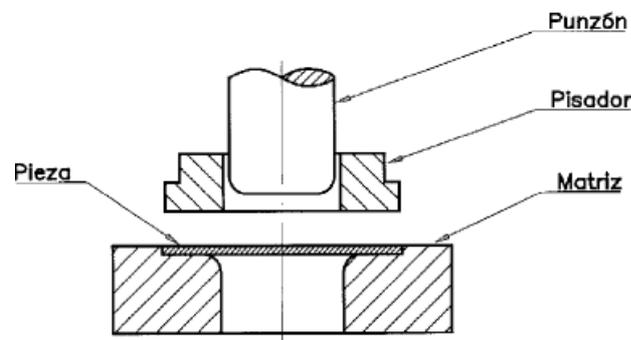
Con matrices de embutir sin pisador de chapa, solamente se pueden embutir piezas que tengan poca profundidad, es decir, con una pequeña relación de embutición $D - d \leq 20 \cdot e$, como por ejemplo, botes de crema para los zapatos y sus tapas, que se obtienen en prensas alternativas partiendo de chapas que llevan ya un dibujo y un texto impresos. La altura de pared lateral que puede conseguirse sin pisador está en función del espesor de la chapa y del diámetro de embutición y cumple con la siguiente igualdad empírica:

$$h \leq 0,3 \cdot \sqrt[3]{d^2} \cdot \sqrt{s}$$

2.5.2.2. Embutición de doble efecto

Por embutición de doble efecto se entiende la operación que transforma una chapa plana en una pieza manteniendo el espesor de la chapa sensiblemente constante. Este tipo de deformación se consigue mediante una prensa cuyos elementos principales son: el punzón, el pisador y la matriz.

Utilizando una matriz con pisador, los elementos que toman parte en el conformado se pueden representar de la siguiente manera:



2.2. Imagen: Representación del punzón, del pisador y de la matriz

NOTA: La presión del pisador sobre la chapa debe calcularse cuidadosamente, si es excesiva, el metal, muy embridado, se ve sometido a un esfuerzo de tracción considerable que le alarga y puede romperle, si es insuficiente, el metal se engruesa y pueden formarse pliegues.

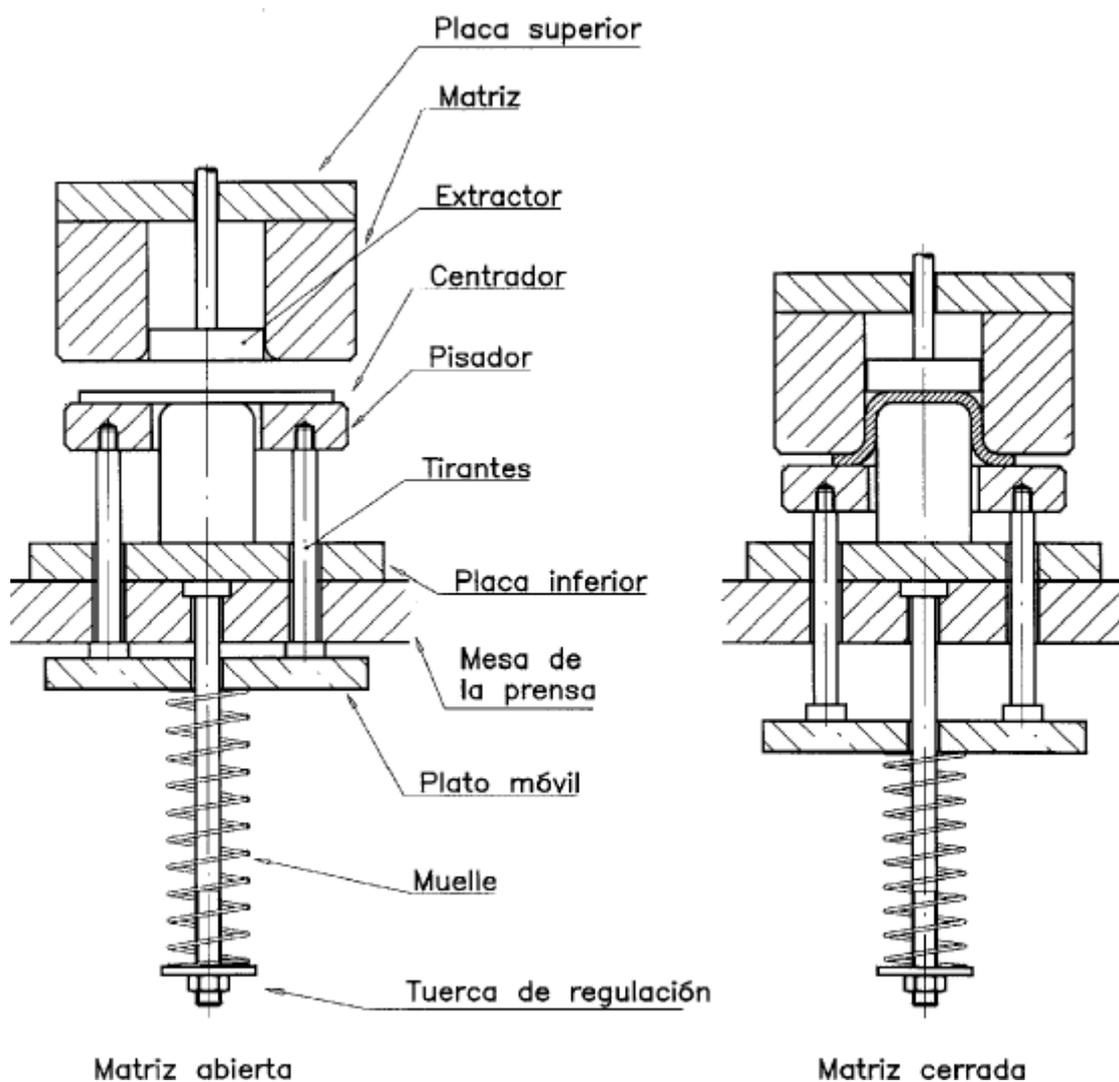
Los útiles de embutición de doble efecto difieren según el tipo de prensa en que se monten, las cuales, pueden ser prensas de simple efecto o prensas de dobles efecto.

Las prensas de simple efecto se llaman así, porque sólo tienen un movimiento. Son de corredera única. En este tipo de prensas, la acción del pisador se logra, ya sea por medio de uno o varios muelles helicoidales o de ballestas, o bien, por apilado de arandelas cónicas (Belleville) o arandelas de caucho o incluso (lo que es preferible) mediante un cojín hidráulico.

El punzón y el pisador se sitúan en la parte inferior, el primero fijado a la mesa. La matriz va situada en la parte superior y se monta en la corredera. Cuando la matriz entra en contacto con la chapa arrastra al pisador en su movimiento de descenso. El

pisador va unido al sistema, al que transmite la presión por medio de vástagos cilíndricos llamados empujadores o columnas.

Las imágenes 2.3. y 2.4. esquematizan el montaje de un útil en el que el pisador es accionado por un muelle helicoidal. Durante la embutición, la matriz actúa sobre el pisador y éste transmite la presión a la plataforma móvil por medio de los empujadores que atraviesan la mesa de la prensa. La plataforma móvil comprime el muelle que rodea a un vástago fijado a la mesa de la prensa y transmite su empuje al pisador.



2.3. Imagen: Pisador con muelle helicoidal (A) 2.4. Imagen: Pisador con muelle helicoidal (B)

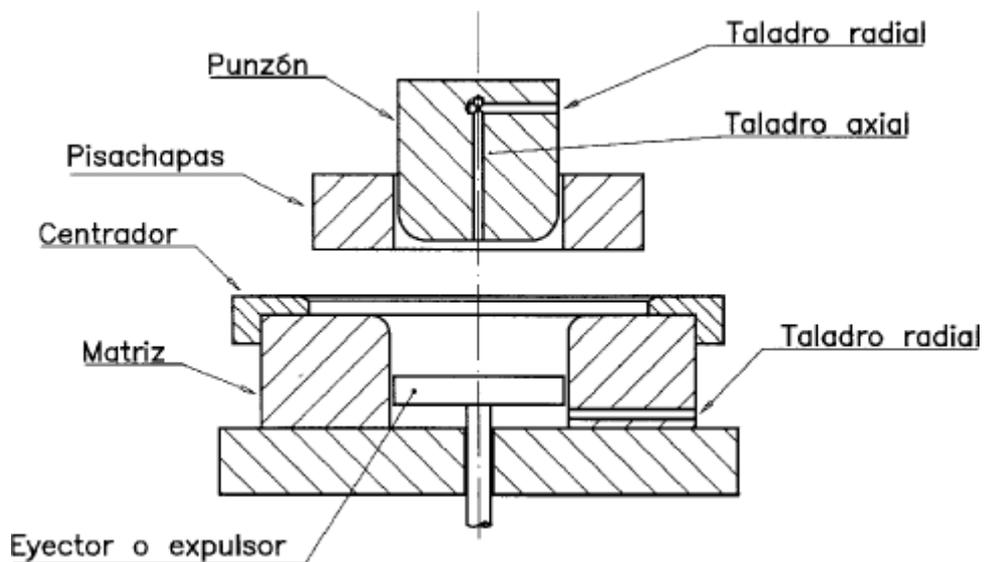
Pese a que las anteriores imágenes no representan el accionamiento mediante cojines hidráulicos, es importante entender el funcionamiento de cualquier tipo de suspensión. Todas funcionan de la misma manera, pero están compuestas por diferentes EIB

mecanismos.

Por otro lado, las prensas de doble efecto están dotadas de dos movimientos y tienen dos correderas: una anular, en la que se monta el pisador, y otra central, llamada émbolo, que se desplaza dentro de la primera y lleva el punzón.

La matriz va fijada a la mesa de la prensa. Un eyector, llamado también desprendedor, se desplaza por el interior de la matriz para sacar la pieza embutida del útil. Éste entra en acción en cuanto el punzón y el pisador vuelven a elevarse.

El útil se compone, por lo tanto, de cuatro partes: matriz, punzón, pisador y eyector



2.5. Imagen: Representación del eyector en el troquel

2.5.2.3. Embutición de triple efecto

Se denominan embuticiones de triple efecto a aquellas embuticiones que se realizan con la ayuda de prensas de doble efecto más la suma de un cojín neumático o hidráulico que realiza el que se denomina tercer efecto.

Las embuticiones de triple efecto son muy similares a las de doble efecto, pero se diferencian de las segundas en que, el pisador está comandado directamente por un pistón hidráulico o una biela de la propia prensa. Tanto el pistón o pistones, como la biela o

bielas que mandan el pisador son independientes de las que mandan el punzón, de manera que, podemos regular las primeras sin que se vean afectadas las segundas.

2.5.3. EMBUTICIÓN EN CALIENTE Y EN FRÍO

Dentro de la embutición hay que diferenciar entre una embutición en caliente y una embutición en frío.

Una embutición en caliente se realizará cuando:

- El metal o la aleación no se puedan conformar en frío.
- Debido al espesor y a las características de la superficie de la chapa, la embutición en frío requiere una fuerza superior a la capacidad de la prensa disponible.
- En series pequeñas se desea limitar los gastos de utillaje, siempre elevados, que implica la embutición en frío (material de trabajo más caro, acabado más cuidadoso).

Y una embutición en frío se realizará:

- Siempre que sean necesarias las fabricaciones de grandes series de piezas y por tratarse de un procedimiento que mejora la productividad respecto al sistema de la embutición en caliente.
- Porque no se modifican o cambian las propiedades de los materiales a causa del calentamiento.

2.5.4. PRENSAS

La máquina utilizada para la mayoría de las operaciones de trabajo en frío y se conoce como prensa. Una prensa debe estar equipada con matrices y punzones diseñada para ciertas operaciones específicas. La mayoría de las operaciones se pueden efectuar en

cualquier prensa normal si se usan matrices y punzones adecuados.

Tiene una adaptabilidad especial para los métodos de producción en masa, como lo evidencia su amplia aplicación en la manufactura de piezas para automóviles y aviones, artículos de ferretería, juguetes y utensilios de cocina.

2.5.4.1. Prensa mecánica de simple efecto

Son aquellas prensas que funcionan con un sencillo carro accionado por un eje excéntrico. Estas prensas utilizan la energía acumulada de un volante. La bancada inferior puede albergar el dispositivo de extracción hidráulico o neumático. Debido a su larga trayectoria en el mundo de la matricería tienen un amplio uso actualmente, y presentan una alta velocidad para la simplicidad del mecanismo.

2.5.4.2. Prensa mecánica de doble efecto

Varias acciones de estampado deben realizarse en dos acciones distintas y sucesivas: la acción de sujetar la pieza seguida de la acción de embutido, la cual es la base fundamental de los trabajos con este tipo de prensas. Para satisfacer estas exigencias se ha construido las prensas de doble efecto o también llamada prensas de doble acción.

Estas prensas se encuentran dotadas de dos correderas, una de las cuales actúa dentro de la otra. La cruceta constituye la parte interior la cual va unida a la biela del árbol, mientras que el sujetador constituye la parte exterior y va unido a un brazo fijado en el mismo árbol. Los movimientos realizados por las correderas se producen retardados uno respecto del otro.

Las prensas de doble efecto no tienen la repercusión esperada, puesto a que las de simple efecto son capaces de sujetar la pieza mediante amortiguaciones externas a la prensa.

2.5.4.3. Prensa hidráulica

Las prensas hidráulicas poseen una gran competitividad con respecto a las prensas mecánicas debido a que poseen las cualidades de los dos tipos. Estas cualidades vienen

dadas principalmente por la alta velocidad y autonomía de las prensas mecánicas y la regulación de la carrera, de la presión y la velocidad del pistón en las prensas hidráulicas. Las prensas hidráulicas adquieren su nombre debido a que utilizan un fluido hidráulico de trabajo (aceite especial) que se encuentra en un cilindro y se encarga del desplazamiento del pistón con lo que se obtiene una presión en el cabezal.

La velocidad y la presión está condicionada debido a la bomba rotativa de émbolos de alimentación variable, la cual, presenta la característica de conferir a la corredera de la prensa la velocidad máxima, cuando la presión es mínima o nula y la velocidad mínima, cuando la presión es máxima. El funcionamiento consiste en que, el pistón se desplaza descendentemente en vacío sin ejercer ninguna presión, a continuación, iniciándose el estampado de la chapa, la velocidad disminuye mientras se desarrolla la presión máxima requerida para el trabajo del embutido, a medida que disminuye la presión aumenta la velocidad de trabajo. Al terminar esta fase, el pistón retorna hacia la parte superior a una gran velocidad dada a que vence a presión ejercida por el peso de la estampa y de la corredera. Esta prensa tiene los medios para conferir a la corredera distintas velocidades que están en función de la presión de acuerdo a los requerimientos técnicas de fabricación de los diversos elementos a construir.

Las prensas hidráulicas son especialmente apropiadas en ensambladura, marcado, dentado, conformación en frío y operaciones análogas, y las prensas hidráulicas grandes son de uso común en procesos de conformación y embutición. Este tipo de prensa puede ser de simple, doble y de triple efecto.

2.6. RESULTADOS FINALES

Una vez hecho el correspondiente análisis de soluciones, se pueden elegir las opciones más eficientes para nuestro caso. Se ha optado por un trabajo en frío, accionado mediante una prensa hidráulica de simple efecto y un proceso transferizado.

El montaje del troquel seguirá el esquema más utilizado hoy en día en fabricaciones de este tipo, en el que la matriz irá anclada en la parte superior y el punzón en la inferior. Además, el pisador irá accionado mediante un cojín hidráulico.

2.6.1. ELEMENTOS DEL TROQUEL

Todos los elementos constructivos que forman el útil cumplen con una misión específica, dentro del conjunto general del trabajo, que debe realizar y para la que ha sido diseñada.

Los materiales empleados para fabricar dichas piezas, así como, los tratamientos térmicos y 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.

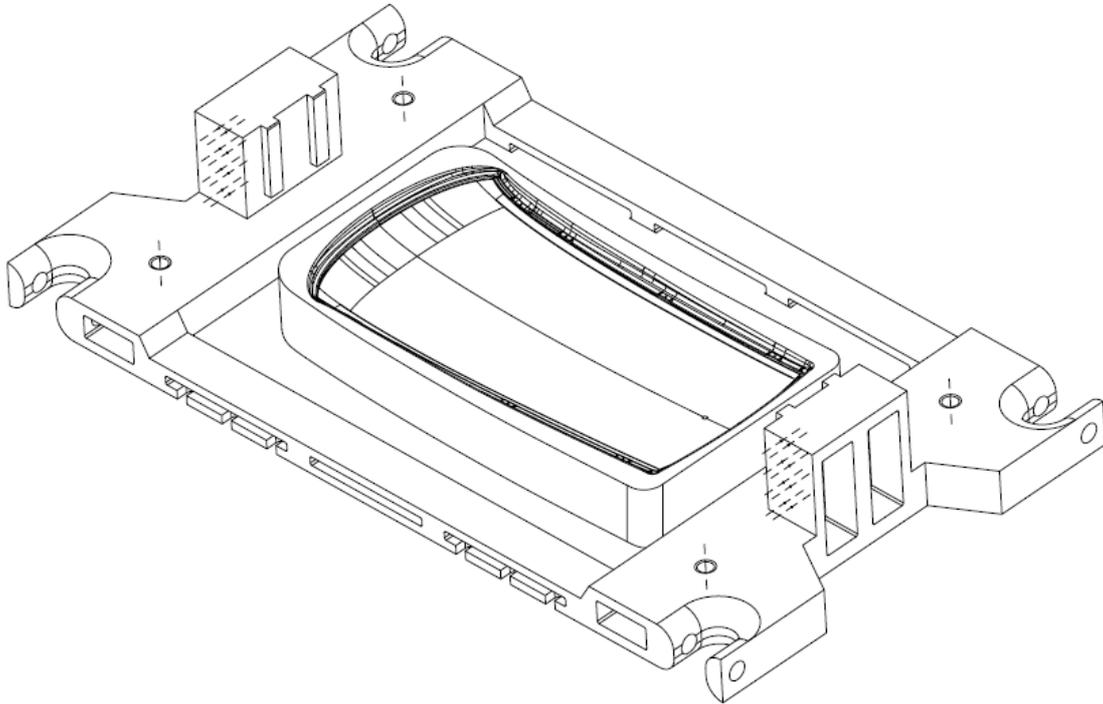
En primer lugar, se va a tratar aquellos componentes que de una u otra forma están presentes en casi todas las matrices. Asimismo, también se van a analizar los distintos tipos de materiales con que se construyen y los tratamientos térmicos más apropiados.

También, se indicarán los requisitos más importantes de construcción que deben cumplir, así como, las tolerancias de ajuste y acabado que deben reunir. Todo ello, aplicado de forma adecuada permitirá construir un troquel de calidad para que de un rendimiento adecuado.

2.6.1.1. Base superior y matriz

La base superior y la inferior son las que aglutinan todos los elementos del troquel y ambas van guiadas por las columnas guía y los casquillos correspondientes. En este caso, la matriz y la base superior es toda una pieza fabricada de fundición GG60, ya que,

en el modo de trabajo del troquel, siempre se moverán conjuntamente y no necesitan elementos entre uno y el otro.



2.6. Imagen: Matriz

El núcleo de la matriz albergará las superficies descritas en el apartado 3.2. preparación de la matriz para la embutición, que a su vez se determinarán en el fichero CAD 01_matriz.igs. Su mecanizado se planteará con un software CAD-CAM y tendrá que atenerse a las condiciones descritas en el plano P02. Como puede apreciarse en el plano, hará falta un pulido a mano realizado por un matricero.

El mecanizado se realiza partiendo de material en bruto con un excedente de unos 5 mm. aproximadamente en todas sus caras de contacto y un pulido a mano debido a su compleja forma. Además, se realizará un templado en toda la superficie que esté en contacto con la chapa. El templado se precisará en el apartado 2.6.6.1. Templado.

Un dimensionado es el siguiente, y la fabricación deberá ajustarse a los descrito tanto en el plano que se menciona después, tanto a lo descrito aquí. Siempre prevalecerá lo descrito en el plano.

- Medidas descritas en el plano P02.
- Paralelismo de 0.005 mm. entre las caras de apoyo.
- Planitud de 0.005 mm. x 100mm. en toda la superficie de trabajo.

- Rectificado de las caras de trabajo.

Para más información, se ha de consultar el plano P02, en el que se acotan todas las geometrías del elemento. Hay que tener en cuenta que la fundición requerirá excedentes, en las caras de contacto, y los que se necesiten para el siguiente mecanizado:

- Limpieza y escuadrado de las caras.
- Mecanizado de formas o rebajes.
- Rectificado de las caras.
- Montaje de los componentes.

El material utilizado será la fundición GG60, utilizada en matrices de gran tamaño, como en este caso.

La matriz deberá contener en ella:

- Columnas guía: Se ajustan a la matriz mediante un ajuste de apriete. Como se explicará en el apartado 2.6.1.4. Sistema de guiado por columnas y regletas, serán elementos comerciales y es por ello que su tolerancia no es la más apropiada para un ajuste de apriete. El ajuste de apriete es el siguiente:

Ajuste	Ø Nominal	Ø Superior	Ø Inferior
Agujero matriz	80	79,782	79,745
Columna	80	80	79,8

2.1. Tabla: Ajuste columnas guía en matriz

- Regleta matriz: Encargadas también del guiado, irán atornilladas a la matriz mediante ocho tornillos Allen DIN 912 - M8x1,25 – 20 cada una.

A su vez, ésta irá atornillada a la base superior de la prensa mediante seis tornillos Allen DIN 912 – M56x124. Sin embargo, como la unión a la prensa es una recomendada

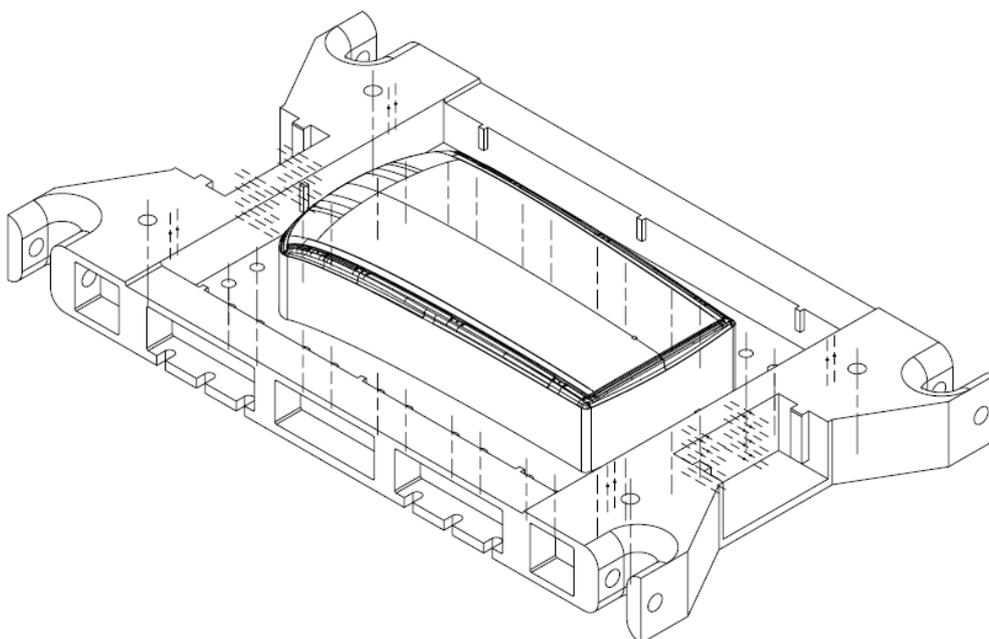
y puede que no se ajuste a la prensa de cualquier matricería, en caso de requerir un cambio de diseño se deberá seguir las condiciones establecidas en el apartado 5.4.5. Licencias y patentes del 5. Pliego de condiciones.

La matriz también tiene 4 agujeros en las esquinas que facilitan el montaje de cáncamos de transporte, dejando a disposición de la empresa constructora su elección. Su elección se regirá a las condiciones estipuladas en el apartado 5.1.5.1. Transporte del 5. Pliego de condiciones.

No se matizará nada acerca de las cajas y demás geometrías realizadas para el ahorro de material, pero podrán observarse en el plano P02.

2.6.1.2. Base inferior y punzón

El armazón o base inferior de troquel es el elemento, sobre el cual, van montados todos los demás componentes y el punzón embutidor, y a su vez, descansa sobre la bancada de la prensa durante la fase de trabajo. Para el resto del troquel, la base y los elementos que lleva montados hacen las funciones de apoyo puesto que son los encargados de recibir toda la fuerza de transformación que la prensa aplique sobre ella. En este caso, el punzón y la base inferior es toda una pieza fabricada de fundición GG60, ya que, en el modo de trabajo del troquel, serán elementos fijos y no necesitan elementos entre uno y el otro.



2.7. Imagen: Punzón

Sobre la base inferior se montan las jaulas de bolas que sirven como referencia de centraje entre la parte superior e inferior, (parte móvil / parte fija). La base inferior igual que la superior ha de ir anclada con la misma unión atornillada descrita en el anterior apartado, y se ajustará a las mismas condiciones del pliego de condiciones mencionadas anteriormente.

El núcleo de la matriz albergará la superficie correspondiente al punzón de la superficie descrita en el apartado 3.2. Preparación de la matriz para la embutición, que a su vez se determinarán en el fichero CAD 02_punzon.igs. Su mecanizado se planteará con un software CAD-CAM y tendrá que atenerse a las condiciones descritas en el plano P02. Como puede apreciarse en el plano, hará falta un pulido a mano realizado por un matricero.

El proceso de mecanizado que se debe seguir para esta parte del troquel es el siguiente:

- 1) Corte de material con excedente de aproximadamente 5 milímetros.
- 2) Mecanizado y limpieza de las caras.
- 3) Mecanizado de los agujeros y figuras.
- 4) Roscado y mandrinado de los agujeros.
- 5) Montaje de los componentes.

Los valores principales que ha de tener son los siguientes:

- Paralelismo de 0.005 mm. entre sus dos caras.
- Planitud de 0.005 mm x 100 mm. en toda la superficie de trabajo.
- Perpendicularidad de 0.003 mm. entre las columnas y la base.
- Rectificado de las caras de trabajo, que como se explicará en el plano P03, requerirá de un pulido a mano realizado por un matricero.
- Acotación según plano P03.

Como se ha descrito en el anterior apartado, prevalecerá siempre lo descrito en los planos en caso de incoherencias, pero los requisitos establecidos en este documento serán igualmente obligatorios en caso de omisión en los planos.

Los elementos que han de ir montados en el punzón serán los siguientes:

- Jaula de bolas: Se ajusta en sus correspondientes huelgos a base del siguiente ajuste, recomendado por el catálogo en el que se han elegido las jaulas:

	Ø Nominal	Ø Superior	Ø Inferior
Agujero	92	91,984	91,962

2.2. Tabla: Ajuste jaula de bolas en punzon

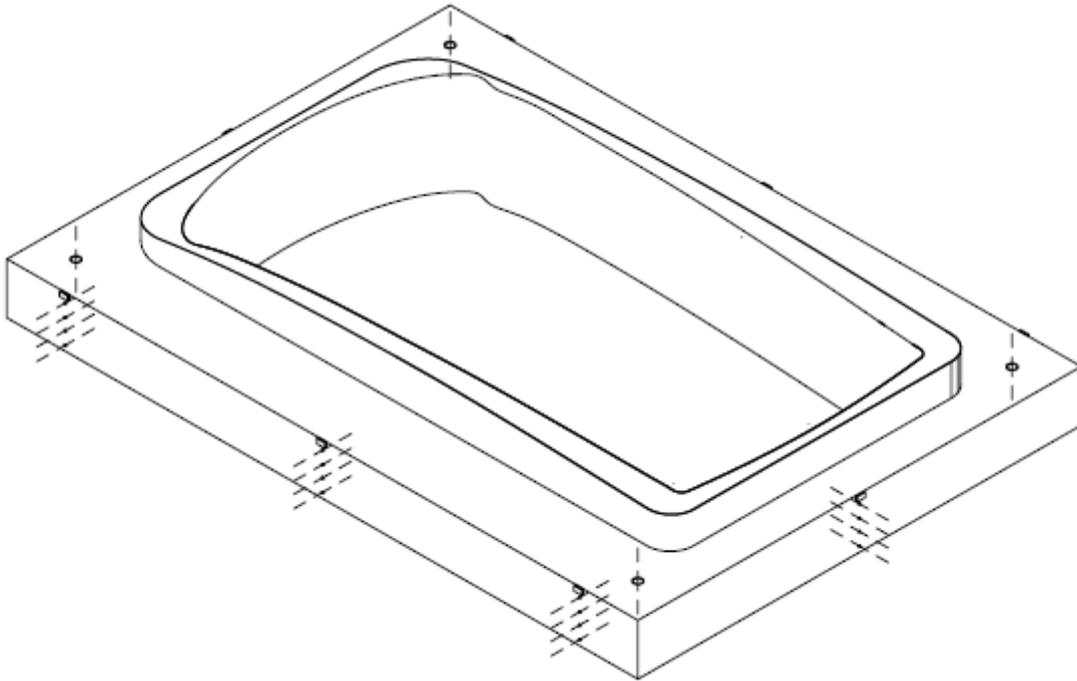
Como no se tiene mayor información acerca del ajuste, se ha establecido el valor estipulado por la empresa proveedora.

- Regletas punzón: Irán atornilladas a la matriz mediante ocho tornillos Allen DIN 912 - M8x1,25 – 20 cada una.
- Tope matriz: cuatro topes descritos en el plano P05 atornillados a la base mediante dos tonillos Allen DIN 912 - M12x1,75 - 120 cada una.

A su vez, al igual que la matriz tiene 4 agujeros para el montaje de los cáncamos de transporte. Sin embargo, como se ha explicado en el apartado 2.3. Antecedentes, no se hará el diseño del transporte del troquel, dejando a la empresa constructora a su elección para facilitar la versatilidad de ajuste al equipo de transporte que tenga ésta. Al igual que en la matriz Su elección se regirá a las condiciones estipuladas en el apartado 5.1.5.1. Transporte del 5. Pliego de condiciones.

También podrán encontrarse numerosas cajas y geometrías para el ahorro de material, que, sin más dilación, podrán observarse en el plano P03.

2.6.1.3. Pisador



2.8. Imagen: Pisador

El pisador ejerce dos funciones muy importantes a la hora de la embutición: pisar el desarrollo de chapa para que no se mueva de su sitio y ejercer una fuerza de pisado muy útil para conseguir un estampado sin arrugas. Para todo ello, se aplica una fuerza de pisado de 800KN ejercida por un cojín hidráulico ajeno a la prensa. Todo el cálculo correspondiente se expresa en el apartado 3. Cálculos y simulación.

En troqueles con producciones elevadas, como en este caso, es aconsejable que, la zona de pisado en contacto con la chapa se le realice un templado, de manera que no llegue a marcarse y sea de fácil mantenimiento. Su templado se especificará en el apartado 2.6.6.1. Templado de este mismo documento. Además, el material elegido para el pisador es la fundición GG60.

El mecanizado del pisador se realiza partiendo de material en bruto con un excedente de unos 5 mm. aproximadamente en las zonas donde se necesite mecanizar. Este excedente ha de servir para su posterior limpieza y escuadrado de sus caras. Además, se realizará un pulido a mano debido a su compleja forma. Éste elemento también alberga zonas de la matriz explicada en el apartado 3.2. Preparación de la matriz para la embutición, y su geometría se apreciará en el CAD 03_pisador.igs.

El proceso de mecanizado que se debe seguir para esta parte del troquel es el siguiente:

- 1) Limpieza y escuadrado de las caras.
- 2) Punteado y taladrado de los agujeros.
- 3) Mecanizado de alojamiento para el punzón.
- 4) Erosionado de alojamientos (penetración o hilo).
- 5) Mandrinado y roscado de los agujeros.
- 6) Rectificado de las caras de apoyo.
- 7) Montaje de los componentes.

Las medidas y tolerancias de acabado son las siguientes:

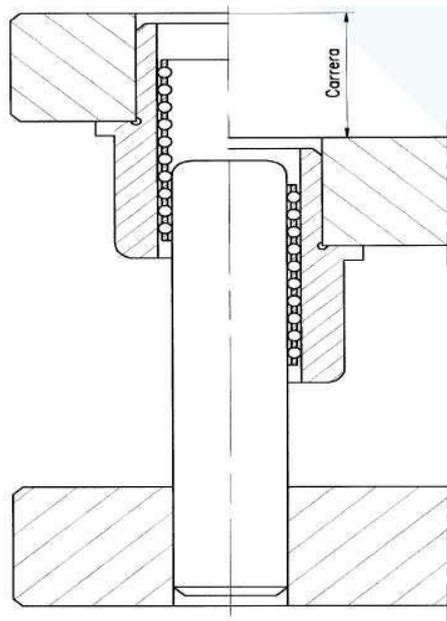
- Planitud $\leq 0.005\text{mm}$ por 100mm. en la cara de pisado.
- Perpendicularidad de $\leq 0.005\text{mm}$. entre cara de pisado y punzón.
- Acotación según plano P04.

En el pisador deberán ir anclados los siguientes componentes:

- Regleta pisador: Irán atornilladas al pisador mediante cuatro Allen DIN 912 - M8x1,25 – 20 cada una.
- Tope pisador: Atornillados con un tornillo Allen igual que el de las regletas cada uno, se posicionarán uno en cada esquina del pisador y dos centrados en los lados longitudinales del mismo. Para más información consúltese el plano M01 y M04.
- Velas: Estos elementos se unen al pisador mediante un centrados que posiciona la vela y dos tornillos Allen DIN 912 - M8x1,25 – 20 cada una.
- Cáncamos: Pese a que su diseño no se establece en este troquel, se recomienda el uso de los cáncamos del catálogo de elementos de matricería ROYME, con rosca de M36. Cualquier elección se deberá hacer siguiendo las condiciones del apartado 5.1.5.1. Transporte del 5. Pliego de condiciones.

2.6.1.4. Sistema de guiado por columnas y regletas

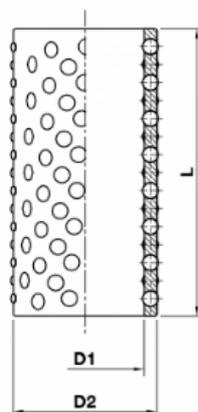
El sistema de guiado diseñado es parecido al que se muestra en la siguiente imagen, pero no es exactamente igual (se ha seguido el recomendado por el catálogo de elementos de matricería ROYME).



2.9. Imagen: Sistema de guiado

En el dibujo anterior se puede ver un conjunto del sistema de guiado, donde se puede apreciar las siguientes piezas: casquillo porta-bolas, casquillo guía fijo a la base y columna guía. Sin embargo, podemos encontrar casos en los que la jaula de bolas no va envuelta en un casquillo, como es el nuestro.

En la siguiente imagen se observa la geometría que tendrán las jaulas de bolas comerciales seleccionadas:

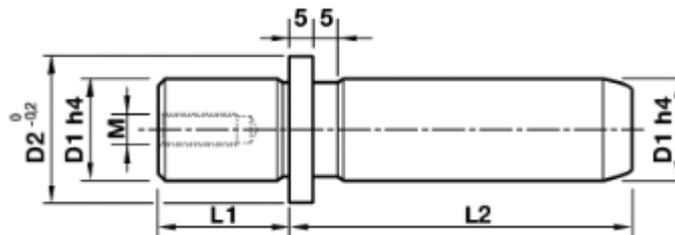


2.10. Imagen: Jaula de bolas

Cabe recordar que en el apartado 3.6.1.2. Base inferior y punzón se ha detallado la unión que tendrán estos con el punzón. El material utilizado es el bronce CW300G, y las bolas estarán normalizadas mediante la norma DIN5401.

Las columnas se realizan con acero F-155 para templearlos a una dureza de HRC. 60-62. Lo más habitual es comprarlos normalizados y montarlos en los armazones de los troqueles, como se ha realizado en este proyecto.

Por último, las columnas son rectificadas con una tolerancia de que permita deslizamiento con las jaulas de bolas. Antes de ejecutarse este rectificado final de las columnas se somete las piezas al tratamiento correspondiente y posteriormente se procederá al acabado general. En la siguiente imagen se presenta la geometría de las columnas seleccionadas:



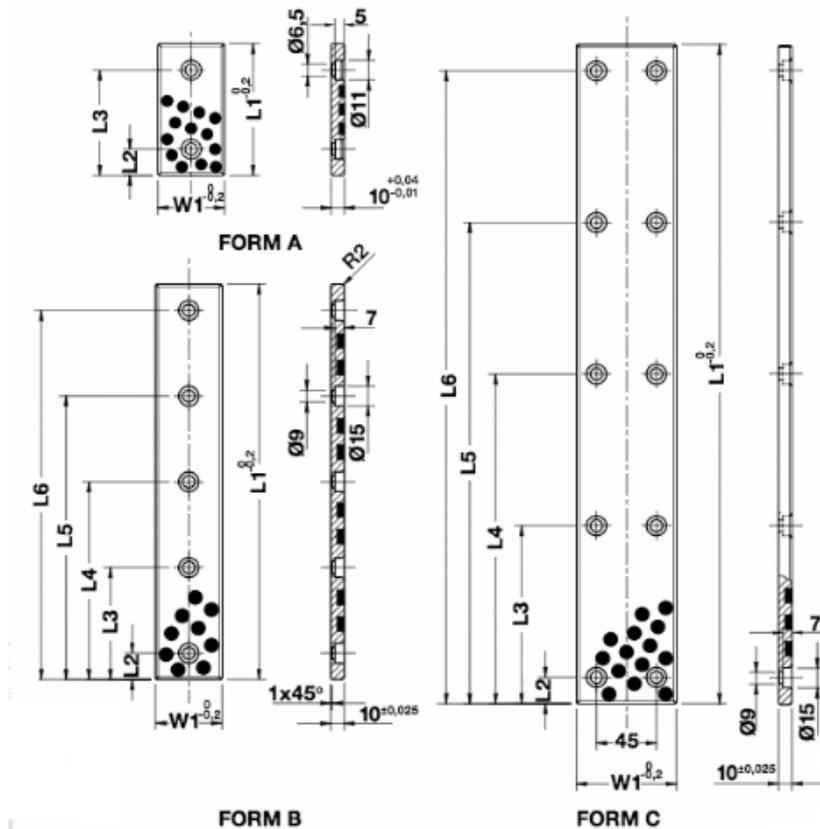
2.11. Imagen: Columna

En el caso del troquel diseñado no se hará uso de la rosca para su unión con la matriz, sino que se colocarán en la matriz con una tolerancia de ajuste y quedarán unidos a esta (ajuste especificado en el apartado 2.6.1.1. Base superior y matriz). Aunque una unión atornillada facilitaría su montaje, nuestro ancho de matriz es demasiado grande para un correcto montaje y no tenemos otra solución que cuidar la tolerancia de ajuste entre la matriz y las columnas.

Otro sistema de guiado que se instala en este troquel es mediante regletas de bronce y grafito. Se colocan, tanto en el pisador, como en las bases mejorando el centrado del troquel.

Las regletas entran en contacto ayudando a fijar la posición de los elementos en el descenso de la matriz, para que posteriormente, las columnas entren en contacto con los casquillos para un centrado con mayor precisión.

En la siguiente página se observa la forma que tendrán estos elementos normalizados.

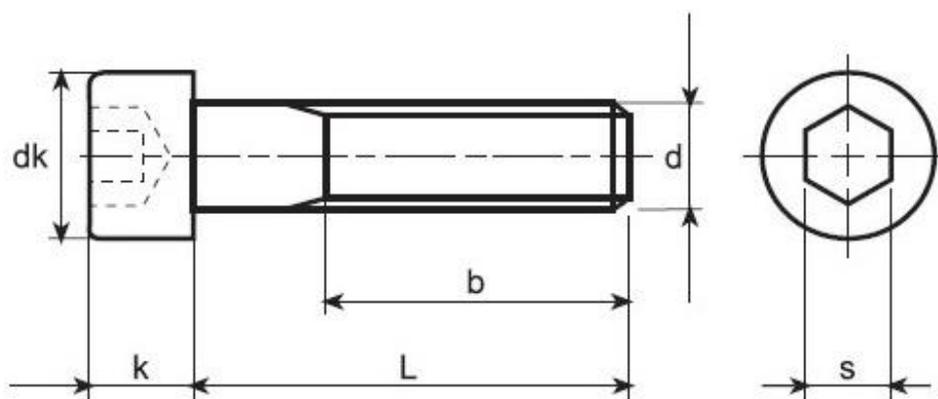


2.18. Imagen: Regleta

Las regletas se compran al proveedor realizadas el aluminio CW024A, pero como se aprecia en la imagen anterior también disponen de caucho. Su unión atornillada ha sido explicada en los anteriores apartados.

2.6.1.5. Tornillos de fijación

El tipo de tornillo más utilizado en matricería es el tornillo Allen DIN 912 con hexágono interior y cabeza cilíndrica. La forma y dimensiones de estos tornillos se tiene normalizada:



2.19. Imagen

Son muy adecuados para resistir fuertes cargas de tracción y para ser montados en zonas de poco espacio. Son fabricados por estampación en frío y laminado de rosca y el material utilizado es aceros al carbono de 80 a 125 kg/mm^2 de resistencia a la tracción.

Para conocer su posicionamiento en el troquel, se necesitará el uso de del plano M01, y los diferentes apartados que se encuentran en el apartado 2.6. Resultados finales.

2.6.1.6. Velas

Estos elementos que por lo general están normalizados se colocan en la parte inferior del pisador sin que sobresalgan por debajo de la base dejando siempre un margen de entre 25 y 50 milímetros. Su posicionamiento en el pisador viene dado según el modelo del cojín de la prensa. Se diseñan como puntos de apoyo entre el pisador y la prensa encargada de elevar este elemento hasta el punto deseado en el troquel.

Para que puedan soportar el peso del pisador y la fuerza ejercida por la matriz se fabrican de un acero especial denominado 42CrMo4. Para encontrar este tipo de acero más fácilmente se adjunta una tabla, que contiene las equivalencias entre las distintas designaciones:

Designación		Otras designaciones								
Según EN 10083-1:1997		Alemania DIN 17200		Reino Unido BS 970	España UNE 36012		Francia NF A35-552-86	Italia UNI 7846	ISO 683-1:1987	AISI SAE ASTM
Simbólica	Numérica	Designación	Número		Designación	Número				
42CrMo4	1.7225	42CrMo4	1.7225	(708M40)	40CrMo4	F-1252	42 CD 4	42CrMo4	42CrMo4	4140

2.3. Tabla: Designaciones del material utilizado en velas

En este caso no se han conseguido velas suficientemente grandes para el espesor del pisador, y han tenido que diseñarse de manera que se imposibilite su pandeo. Su diseño se mostrará en el plano P05.

2.6.1.7. Topes limitadores

Para conseguir una penetración máxima del punzón en la matriz, sin riesgo de que no penetren la chapa en su totalidad, se colocan en el útil unos limitadores que, situados en la base inferior, hagan de tope y sirvan de referencia en la preparación y puesta a punto del troquel.

El material utilizado para confeccionar estos elementos es el acero de construcción del tipo F114.

En el mecanizado de los limitadores no hay grandes exigencias de calidad en sus acabados, sólo en las superficies de apoyo deben de tener un grado superficial de acabado N7. Estas superficies son las de mayor grado de precisión que han de tener estos elementos para no obstaculizar la perfecta correspondencia de las dos partes del troquel. Como podrá apreciarse en el plano P05 la distancia entre esos planos es la única tolerada, tanto geométrica como dimensionalmente.

2.6.2. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN

El orden en el proceso de la construcción de las diferentes partes de las que se compone el útil será el siguiente:

- 1) Recepción de las materias primas.
- 2) Desbaste de los materiales.
- 3) Mecanizados convencionales.
- 4) Tratamientos térmicos.
- 5) Mecanizado C.N.C.
- 6) Rectificados.
- 7) Ajustes.
- 8) Montaje.
- 9) Pruebas.

10) Homologación.

2.6.3. MONTAJE Y PUESTA A PUNTO

No sirve de nada realizar un cuidadoso diseño si posteriormente no se realiza de forma correcta el montaje y puesta a punto del troquel. Un deficiente montaje puede originar desde pequeñas inexactitudes en la pieza final hasta una falla total de la misma, con las graves consecuencias económicas que esto representa. Es por ello, que conviene mostrar unas pautas a la hora de realizar las operaciones previas a la producción.

El montaje debe hacerse de forma que todos los elementos ocupen su posición correspondiente y adoptando tolerancias ajustadas que aseguren la correcta concentricidad, planitud y perpendicularidad de los elementos. La más mínima desviación de elementos, como el punzón, daría lugar a fallos de conformado. La posición de los elementos se ha descrito a lo largo de este documento y el plano del conjunto M01.

En este caso, la base con la matriz se sitúa en la parte superior de la prensa amarrada con seis tornillos Allen a cada lado. En ella se colocan cuatro columnas con un fuerte ajuste, para impedir que se desplacen durante el funcionamiento del troquel al rozar con las jaulas de bolas. Hay que tener en cuenta que, una de las columnas está diez milímetros desplazada, para que no haya lugar a error en el montaje de las bases. Además, se sitúan cuatro regletas mediante ocho tornillos Allen cada una, para el posterior guiado con la base inferior.

En cuanto a la base con el punzón se fija a la parte inferior de la prensa por medio de seis tornillos Allen a cada lado. En ella se instalan cuatro topes a través de dos tornillos Allen cada uno, que sirven para evitar el choque de la base superior contra las jaulas de bolas, y sobre todo para que el punzón no haga contacto con la matriz, dejando el espesor de la chapa entre uno y el otro. En los cuatro agujeros con ajuste se alojan las jaulas de bolas. Igual que en la base superior se colocan las regletas.

Por último, el pisador se sitúa en la parte inferior dentro de la base y dejando el punzón en su interior. En la parte inferior del pisador se colocan las velas, en sus respectivas cajas, mediante dos tornillos Allen cada una. También, se instala seis topes

cilíndricos con un tornillo Allen cada uno. Igual que en las bases se instalan ocho regletas, dos en cada lateral, para guiarlo con respecto a la base. Los agujeros roscados que quedan en su parte superior sirven para alojar los cáncamos, sólo cuando haga falta transportarlo, nunca cuando esté trabajando el troquel.

A su vez, tanto la matriz como el pisador disponen de los agujeros necesarios para el transporte mediante cáncamos. En ellos se introducirán los cáncamos sujetos con anillos de seguridad normalmente.

En cuanto al tema de la puesta a punto, a continuación, se muestran unas reglas sencillas marcadas por el sentido común que ayudarán a mitigar posibles fallos durante la producción:

- Preparar la matriz, prensa y materia prima con antelación.
- Disponer del plano de la pieza final o una muestra comparativa.
- Disponer de los recambios necesarios ante la posibilidad de rotura de elementos del troquel.
- En caso de rotura no seguir trabajando, sustituir el elemento.
- Verificar las características de la materia prima (anchura, espesor...) antes de comenzar las pruebas.
- En caso de material defectuoso no iniciar las pruebas.
- Hacer las pruebas de forma que trabaje todo el troquel y no solo una parte.
- Trabajar bajo las mismas condiciones que en la producción para evitar cualquier alteración en las características del material.

Una acción necesaria en toda puesta a punto es la operación de marmoleo. Consiste en tomar como referencia válida una de las partes del troquel, generalmente la matriz, y ajustar su contraria (macho) de forma que la pegada de éste sea totalmente uniforme.

Para ello, se pinta de azul la banda de chapa (generalmente se utiliza una pintura al oleo llamada azul de Prusia) y se cierra el troquel poco a poco. De esta forma, una vez realizada la operación se observa las zonas que no se marcan de azul, lo cual indica que no realiza un contacto correcto, y en caso necesario se rectifica (marmolea) el punzón

hasta conseguir una pintada uniforme y, por consiguiente, un correcto ajuste entre ambas partes. El proceso del marmoleo es de vital importancia para obtener un buen rendimiento productivo, así como, para asegurar un conformado idóneo durante el proceso.

Es por ello, que además de herramientas, como un buen software de diseño y de simulación, se hace necesaria la maestría de un buen matricero, que, a fin de cuentas, es el que trabaja directamente con la máquina.

Tener en cuenta este proceso ha sido la mayor razón por la que no se ha prestado atención especial al dimensionado de las superficies de contacto, pues en la práctica se hace de manera experimental siguiendo un proceso iterativo de prueba/error, dando lugar muchas veces a geometrías no acorde a planos que fabriquen las piezas acordes a los planos establecidos por el cliente.

2.6.4. FUNCIONAMIENTO DEL TROQUEL

En este proyecto, el troquel embutidor va a realizar el trabajo en simple efecto. El movimiento comienza cuando el cojín a través de las velas, las cuales deben ir situadas cada 150 milímetros y no deben sobresalir de la base acortándolas unos 30 milímetros desde la parte inferior de ésta, eleva el pisador hasta su punto máximo (160 milímetros). Éste es guiado por medio de las regletas situadas en sus laterales.

Entonces, la prensa desciende la base con la matriz hasta hacer contacto con la superficie del pisador presionando la chapa con la fuerza deseada (800KN). Antes de que la matriz haga contacto con el pisador, tanto las columnas, como las regletas hacen su función de guiado. Una vez la chapa está pisada, tanto la matriz, como el pisador bajan conjuntamente manteniendo la fuerza de pisado en todo instante hasta que, la base superior se encuentra con los topes matriz. A su vez, los topes pisador hacen contacto con la base inferior. Cuando esto sucede, el punzón está completamente en el interior de la matriz habiendo conformado la chapa adecuadamente.

Llegado a este punto, la prensa asciende con la base superior y la matriz dejando la chapa a la vista para su posterior extracción.

Hay que comentar que, la superficie interior del pisador tiene una holgura de tres

milímetros con respecto a la superficie exterior del punzón, para evitar el rozamiento cuando el pisador asciende y desciende.

2.6.5. MANTENIMIENTO DEL TROQUEL

El mantenimiento general de las matrices es una de las operaciones más importantes de la herramienta si se quiere alargar su vida y reducir los paros de producción. En el caso de que esta operación no se realiza o se realice incorrectamente, todos los cálculos en la vida de la matriz se verán desbordados negativamente, con lo que, la calidad del producto se pondrá en peligro y los gastos crecerán de forma alarmante.

Realizar un buen mantenimiento significa hacerlo de forma preventiva, tomando como referencia las posibles incidencias habidas durante las fabricaciones anteriores y las que se puedan producir en el futuro. La ficha o formulario que deben tener todos los utillajes ha de servir como ayuda para anotar en ella las incidencias habidas y cuando se han producido.

Existe un serio peligro de degradación del troquel si el mantenimiento no se realiza de forma adecuada. Las producciones horarias de muchas de ellas pueden alcanzar ciclos de más de mil golpes por minuto. Es lógico pensar, que el más mínimo fallo o error en las condiciones de trabajo del útil generará paros de máquina y afectará a la calidad de las piezas fabricadas.

Algunas de las cosas que se deben hacer durante el mantenimiento del troquel son las siguientes:

- Hacer revisión completa de todo el troquel y no sólo de la parte afectada por el problema.
- Rectificar o cambiar el punzón si se cree desgastado.
- Después de un paro por avería grave hacer pruebas 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 con mayor riesgo de desgaste o rotura.

Algunas de las cosas que NO deben hacerse durante el mantenimiento del troquel son las siguientes:

- Hacer el mantenimiento del troquel sin desmontarlo en su totalidad.
- Aplicar soluciones provisionales (salvo causas de fuerza mayor). Confiar al azar aquello que no esté totalmente asegurado.
- Rectificar sólo uno de los dos elementos de embutición, siempre los dos, punzón y matriz.
- Plantear modificaciones en el troquel sin antes haber analizado todo el proceso de trabajo paso a paso.
- Un buen afilado NO debe requerir más de 0.2 mm de rebaje.

2.6.5.1. Mantenimiento preventivo

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

Un buen mantenimiento preventivo ha de asegurar la detección y reparación de todos y cada uno de los problemas o anomalías que a corto plazo puedan producirse en el utillaje. Para asegurarlo hay que poner especial atención en revisar y sustituir, si fuera necesario, todos aquellos componentes del troquel que por su desgaste o deterioro pudieran perjudicar las próximas fabricaciones.

Es conveniente que durante el mantenimiento preventivo y como medida de seguridad se revisen algunos de los siguientes elementos del útil:

- Elementos móviles, por ejemplo, el desgaste o juego entre columnas y casquillos.
- El desgaste del punzón de embutición.
- La vida de la matriz embutidora.
- Las tolerancias entre punzón y matriz.

- El desgaste y medida de los centradores.
- La no existencia de golpes o marcas sobre la superficie de la figura.
- La correcta medida de topes de paso o limitadores de carrera.
- El correcto funcionamiento de los elementos de seguridad o finales de carrera.

Es conveniente, que además de los puntos descritos anteriormente, cada departamento o sección cree los suyos propios con el fin de adaptarlos a las características del troquel.

2.6.5.2. Mantenimiento de choque

Se denomina mantenimiento de choque a todas las soluciones prácticas, más o menos temporales, que se aplican al troquel 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 todo el troquel, sino reparar el elemento causante del problema y conseguir que la producción no se pare más tiempo del estrictamente necesario.

Reparar el componente o componentes del útil de forma rápida y a pie de máquina no es tarea fácil ni sencilla, como no sea una persona con una buena experiencia en matrices. A diferencia del mantenimiento preventivo, el de choque ha de ser más rápido, pero tan eficaz como el anterior.

Para poder realizar un buen mantenimiento de choque, también es muy importante que el troquel haya sido diseñado 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.

Se sabe que esto no siempre es posible, puesto que, el diseño del útil está condicionado por otros factores como su tamaño o producción a realizar, de forma que, su mantenimiento se verá más dificultado en estas circunstancias.

2.6.5.3. Componentes a revisar

Durante el mantenimiento preventivo o general que se realice en el troquel existen una serie de componentes que deben ser revisados con más atención si cabe que el resto. Algunos de ellos, por ejemplo, el punzón o la matriz de forma, han de ser cuidadosamente revisados con el fin de controlar su grado de desgaste o bien detectar las fisuras o roturas que pudieran aparecer en su superficie. Sin embargo, otros elementos del útil, por ejemplo, las bases o sufridera requerirán un grado de control mucho menor puesto que su desgaste o posibilidades de rotura son notablemente inferior.

Algunos de los puntos que han de tenerse en cuenta durante la revisión del mantenimiento del troquel son los siguientes:

- Verificar el desgaste del punzón.
- Comprobar la vida de jaulas de bolas o placas matrices.
- Verificar la tolerancia entre punzón y matriz.
- Comprobar el correcto ajuste entre columnas y jaulas de bolas.
- Verificar la correcta altura del punzón.
- Revisar gripados de elementos móviles.
- Revisar la altura y desgaste de punzón de grabar.
- Comprobar el funcionamiento de los elementos cambiados en el troquel.

Es conveniente, que además de los puntos descritos anteriormente, cada departamento o sección marque los suyos propios, en función de las características del troquel y de los medios de que disponga para su reparación.

2.6.5.4. Limpieza, engrase y control

No es suficiente con reparar los componentes dañados o rotos del troquel, 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 todo el útil es fundamental si se quiere que éste siempre se encuentre en perfecto estado de funcionamiento.

La limpieza de todos y cada uno de los componentes, así como, el engrase o

sometidos a posibles oxidaciones, que llegarían a degradar las características mecánicas del material y las tolerancias de ajuste o acabado.

El almacenamiento y control del útil en un lugar accesible y adecuado es fundamental si se quiere agilizar su montaje y puesta a punto en máquina. El troquel deberá estar debidamente identificado y numerado permitiendo de esta forma su localización y control en todo momento.

2.6.6. TRATAMIENTOS TÉRMICOS

El objetivo que se persigue con los tratamientos térmicos es mejorar o modificar las propiedades de los metales o aleaciones, mediante alteraciones en su estructura, con el fin de que gracias a las propiedades adquiridas puedan desempeñar con garantías los trabajos a los que han de ser destinados. Aunque la mayor parte de los metales y aleaciones admiten tratamiento térmico, las aleaciones de tipo ferroso son las que mejor se prestan a ello.

El tratamiento térmico consiste en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo hasta que se forme la estructura deseada y luego enfriarlo a la velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo deben ser muy bien estudiados dependiendo del material, tamaño y forma de la pieza. De ésta forma, se logrará una modificación microscópica, transformaciones de tipo físico, cambios de composición o una determinada estructura

interna cuyas propiedades permitirán alcanzar algunos de los siguientes objetivos:

- Lograr una estructura de mejor dureza y mayor maquinabilidad.
- Eliminar tensiones internas y evitar deformaciones después del mecanizado.
- Eliminar la acritud que ocasiona el trabajo en frío.
- Conseguir una estructura más homogénea.
- Obtener la máxima dureza y resistencia posible.
- Variar algunas de las propiedades físicas.

Todas las características detalladas anteriormente se consiguen con los

tratamientos térmicos que se explican a continuación y que se utilizan en la construcción de algunos de los elementos de los que se compone el troquel.

2.6.6.1. Templado

El temple es un tratamiento que tiene por objeto endurecer y aumentar la resistencia del acero. Después del temple, siempre debe de hacerse la operación de revenido para eliminar y suavizar las tensiones internas creadas durante el tratamiento anterior.

El temple consiste en calentar el acero a una temperatura suficientemente elevada como para transformarlo en austenita seguido de un enfriamiento adecuado para transformar la austenita en martensita.

Se denomina templabilidad a la capacidad de penetración del temple que tienen los aceros. La templabilidad depende fundamentalmente del espesor de la pieza y de la calidad del acero (composición química). Una pieza de mucho espesor y de acero al carbono se puede decir que tiene poca templabilidad y, por lo tanto, su interior no quedará templado aunque el exterior lo esté. Sin embargo, esta misma pieza pero de acero aleado quedará totalmente templada en todo su espesor y, por consiguiente, se denominará acero de mucha templabilidad.

Al realizar el temple hay que tener en cuenta los siguientes factores que influyen en el mismo:

- Composición del acero.
- Diferencia de masas.
- Temperatura y tiempo de calentamiento.
- Tipo de horno (protección o no), sales, vacío, etc.
- Velocidad de enfriamiento.
- Medios de enfriamiento.

Las piezas que han requerido un templado en este proyecto, realizadas todas con el acero GG-60, requieren una dureza 250-260 HB.

2.6.6.2. Revenido

Este tratamiento térmico es el que le sigue al temple con el objeto de eliminar la fragilidad y las tensiones creadas en la pieza.

Consiste en calentar las piezas a una temperatura inferior a la de temple con el fin de que, la martensita se transforme en una estructura más estable terminando con un enfriamiento más bien rápido, pero que siempre dependerá del tipo de material.

Las temperaturas del revenido, así como, el número de veces que se debe realizar dicha operación vendrá determinada en función del gráfico que nos indique el proveedor del material y con el visto bueno del responsable del departamento correspondiente.

Los factores que más influyen en el resultado del revenido son la temperatura y el tiempo de calentamiento al que se somete la pieza. Hay que tener en cuenta que, el revenido es importantísimo para conseguir el debido temple y una buena tenacidad en las piezas. Debe elegirse cuidadosamente su temperatura en algunos aceros (Cr - Ni) para no incidir en zonas de baja fragilidad (Fragilidad de Revenido).

La dureza exigida a las piezas que han requerido el tratamiento anterior será HB 245-255.

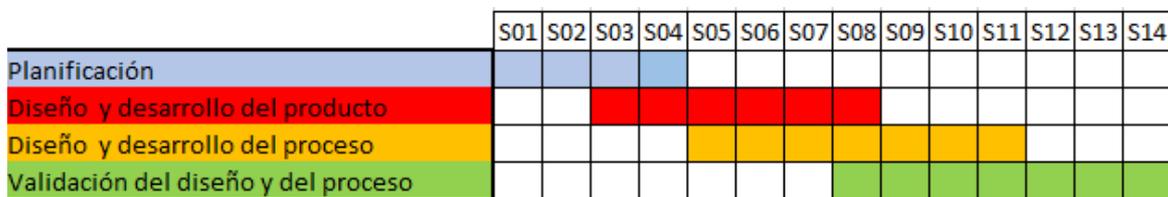
2.7. PLANIFICACIÓN

Por último, para una correcta previsión de los tiempos necesarios para el seguimiento del proyecto y una mejor gestión de los procesos a realizar por los diferentes departamentos de la compañía, es importante hacer una buena planificación.

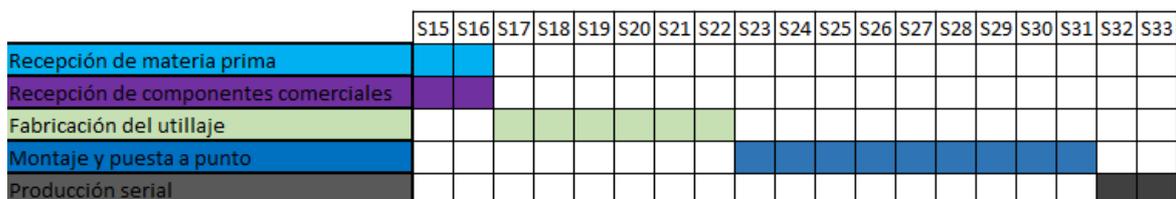
Pese a que el tiempo establecido para cada proceso del proyecto es relativo a la capacidad de la compañía en dicha tarea, se han establecidos tiempos basados en experiencias previas y en la intuición.

Para dotar todos los procesos con una mayor trazabilidad será necesaria la realización de la correspondiente documentación previa y posterior que detalle las condiciones y pautas a seguir, como los resultados y problemáticas obtenidos.

Los siguientes diagramas de GANTT muestran los procesos previos a la producción de la pieza seleccionada, relacionados con el diseño, fabricación y puesta a punto del troquel.



2.4. Tabla: Procesos derivados del diseño del troquel



2.5. Tabla: Procesos derivados de la fabricación y puesta a punto del troquel

Pese a que la planificación pueda parecer lineal, en la realidad no siempre podemos ajustarnos a un proceso lineal en el que cada acción se produce después de la anterior. Debido a los problemas que surgen en la realidad muchas veces nuestro proyecto se verá afectando teniendo que corregir condiciones establecidas en anteriores fases.