

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Diseño de troquel progresivo y desarrollo del proceso de fabricación para pieza del sector del automóvil.



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Iker Ágreda Sola

Juan Ignacio Latorre Biel

Tudela a 12 de junio de 2015

Tabla de contenido	
1.	RESUMEN Y PALABRAS CLAVES..... 4
2.	INTRODUCCIÓN..... 4
3.	ESPECIFICACIONES. 6
3.1	Pieza 6
3.2	Prensa..... 7
3.3	Tiempos de fabricación. 9
4.	DISEÑO DEL TROQUEL..... 11
4.1	Desarrollo de banda. 11
4.1.1	Fase 1: Análisis 12
4.1.2	Fase 2: Diseño de la banda..... 21
4.2	Cálculos previos..... 25
4.2.1	Fuerzas en las fases de Corte. 25
4.2.2	Fuerzas en el doblado. 31
4.3	Desarrollo del troquel. 35
4.3.1	Parte inferior. 35
4.3.2	Parte superior..... 45
4.3.3	Pies y sobre placa. 53
5.	DOCUMENTACIÓN PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y AJUSTE..... 56
5.1	Planos. (Anexo 1.1)..... 56
5.2	Pedidos. (Anexo 5.2) 59
5.2.1	Oxicorte. 60
5.2.2	Aceros..... 60
5.2.3	Elementos comerciales. 63
5.3	Guía de fabricación..... 63
5.3.1	Fase 1. Placa inferior. 63
5.3.2	Fase 2. Placa superior..... 67
5.3.3	Fase 3: Placa pisón. 68
6.	PRESUPUESTO.(Anexo 5.1)..... 70
6.1	Oficina técnica..... 70

6.2 Producción..... 70

6.3 Montaje y ajuste..... 74

6.4 Calculo del total del presupuesto..... 75

7. CONCLUSIONES. 76

8. BIBLIOGRAFÍA..... 76

1. RESUMEN Y PALABRAS CLAVES.

En el sector de suministros para la industria del automóvil, numerosas piezas se fabrican por estampado en frío. Dentro de este ámbito, el presente Trabajo de Fin de Grado presenta como objetivo, el diseño de un troquel adecuado para producir piezas en serie y con rentabilidad por este método. La pieza a producir, puede considerarse como una pieza estándar en el sector del automóvil con unas características, que exigen una amplia variedad de operaciones de fabricación. Además de ello, en este TFG se desarrollará toda la documentación necesaria para acometer la fabricación del utillaje diseñado. Como resultado de este proyecto se dispondrá de toda la información necesaria para homologar la pieza por parte del cliente.

- Troquel progresivo.
- Banda de estampación.
- Diseño.
- Proceso de estampación.
- Prensa.

2. INTRODUCCIÓN.

En este TFG se desarrolla el proyecto de diseño y fabricación de un troquel progresivo para una brida metálica. Con intención de centrarse principalmente en las tareas que se deben desarrollar desde la oficina técnica que dirige el proyecto.

Este proyecto nace con la idea de recopilar y ampliar los conocimientos adquiridos mediante la colaboración laboral con la empresa UTILTROQ S.L., de la localidad de Andosilla. Esta empresa navarra englobada dentro del sector del metal, se ha especializado en la fabricación de diferentes tipos de troqueles, en utillajes de verificación y en útiles de soldadura. Esta colaboración me ha permitido desarrollar diferentes trabajos alrededor de la fabricación de los troqueles. En los primeros años compaginándolo a media jornada con los estudios superiores y universitarios, en los que adquirí conocimientos de los diferentes procesos de fabricación y de montaje. En estos dos últimos años de la carrera, me han permitido entrar a trabajar a jornada completa dentro de la oficina técnica. De esta manera he podido adquirir conocimientos de desarrollo y gestión de proyectos para la fabricación de troqueles progresivos.

El desarrollo de un troquel progresivo tiene 3 fases principales, en la primera se deben recoger las especificaciones que debe tener el troquel para un correcto funcionamiento. Estas especificaciones, vienen marcadas por el cliente y procuran no sólo producir piezas estampadas con una calidad adecuada, si no que intentan conseguir la uniformidad de los troqueles realizados por diferentes proveedores. Estas especificaciones están relacionadas con el modelo, la prensa donde se montara el troquel y los tiempos de desarrollo del proyecto.



Fig. 1: Modelo de la pieza estampada que debemos construir.

En la segunda fase, se diseñarán el troquel con todos los componentes necesarios para la generación de la pieza. Esta fase debe comenzar con el estudio del modelo a realizar, para conseguir la mejor banda de estampación posible que nos facilite y abarate la ejecución del troquel. Posteriormente se realizará un cálculo aproximado de las fuerzas que se generarán en el proceso de trabajo, una vez que tenemos claras estas fuerzas podemos pasar a realizar el diseño del troquel.

En la última fase, se realizará la documentación necesaria para la fabricación y el presupuesto teórico para la ejecución del troquel. La documentación costará de todos los planos, tanto de las piezas por separado para su fabricación, como de los despieces explosionados de las dos partes principales del troquel para una correcta comprensión del mismo. Los planos explosionados, ayudarán en posteriores reparaciones y sustitución de elementos desgastados o rotos. También se incluye los diferentes pedidos externos necesarios para la fabricación del troquel. Dentro de esta documentación se añadirá por último una guía de montaje, que desarrollara los diferentes pasos que se deben seguir para un correcto montaje y ajuste de las diferentes piezas que compondrán el troquel.

El presupuesto se separará en 3 partes, en primer lugar se realizará una estimación del coste generado en la fase de diseño, en la segunda se calculará el precio total de la fabricación de todas las piezas que componen el troquel y en la tercera parte se calculará el coste del montaje y ajuste del troquel, más el precio estimado de todos los elementos comerciales necesarios. Por últimos se hará una suma total a la que añadiremos la amortización de las instalaciones.

Dentro de esta memoria, también se añadirán las conclusiones a las que se han llegado después de la ejecución de este proyecto y la bibliografía utilizada para el desarrollo del mismo.

3. ESPECIFICACIONES.

Todo proyecto de troquelaría, nace con un pedido de fabricación realizado por una empresa externa dedicada a la fabricación de piezas estampadas. Para el correcto diseño del troquel, este pedido debe tener en cuenta algunos aspectos importantes. Estas especificaciones se pueden englobar en tres grandes grupos: datos de la pieza, de la prensa y tiempos de fabricación.

Estas especificaciones se deben tener en cuenta, en todo el diseño del proceso de fabricación para conseguir un producto adecuado a las necesidades de nuestro cliente. A continuación, describiremos las especificaciones obligatorias, aunque en algunos proyectos pueden aparecer especificaciones complementarias.

3.1 Pieza.

El troquel debe fabricar una brida metálica para las sujeciones laterales del asiento de un nuevo modelo de coche. Como este proyecto se puede considerar dentro de la producción de piezas para el sector de automoción estará reglada por la norma UNE-ISO/TS 16949:2009 que se resume de la siguiente manera por parte de AENOR. Esta norma establece los requisitos particulares para la aplicación de Norma ISO 9001 para la producción en serie y piezas de recambio original en la industria del automóvil. La certificación es un requisito indispensable para todos los proveedores que suministran directamente a los constructores y dependiendo de los requisitos contractuales de los clientes, también para proveedores de los niveles inferiores donde se podría.

El objetivo principal de la Norma UNE-ISO/TS 16949 es la mejora continua, poniendo énfasis en la prevención de defectos y de los desperdicios en la cadena de suministro. Por ello, la norma asegura que los componentes, piezas y sistemas de seguridad del automóvil cumplen los requisitos especificados por los clientes así como la reglamentación aplicable. Por otro lado, esta norma impulsa la mejora continua de los productos a mejores precios, así como la investigación y desarrollo de nuevos componentes que influyen en la seguridad del propio vehículo y su entorno. Las principales características son:

- El producto se fabricará en material metálico DD12 cumpliendo la normativa EN 10111. Este material lo podremos englobar dentro de los aceros dulces. El suministro se realizará en bobinas específicas para alimentador en continuo. Las características de este material están reflejadas en Anexo 4.6 página 2.
- Se espera un rendimiento de 300.000 Piezas/año con posibles aumentos en la producción dependientes de la demanda del nuevo modelo de coche donde se montaran estas piezas.
- La geometría de la pieza se especifica con un modelo 3D que debe estar en un formato que permita su transmisión por diferentes programas de CAD, CNC y calidad. Este modelo servirá no sólo de guía para el diseño del troquel sino que también se utiliza en diferentes fases como el cálculo de desarrollos de chapa y la homologación del producto terminado. Este modelo en formato .step se puede encontrar en el Anexo 2.1.



Fig. 2: Geometría del modelo.

- En último lugar, se debe adjuntar el plano pieza del producto. Este plano debe resumir toda la información referente a las medidas importantes o de trabajo del modelo, también debe informar de las tolerancias de estas medidas. Por otro lado debe reflejar las tolerancias geométricas y superficiales necesarias para la homologación de la pieza estampada.

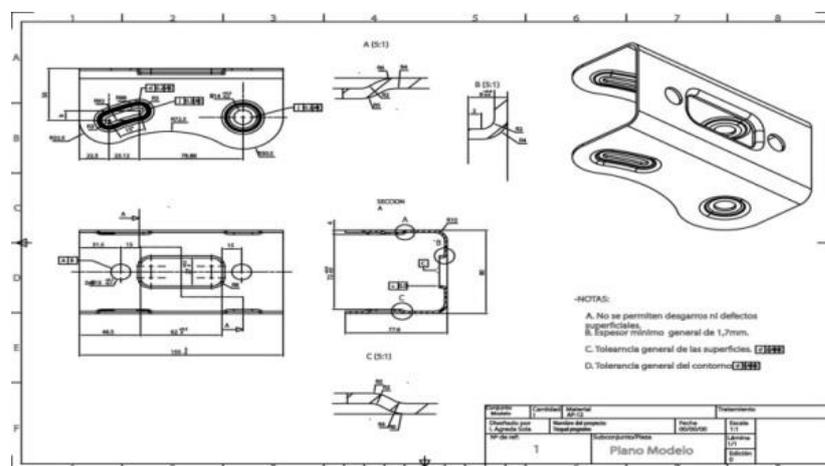


Fig. 3: Plano pieza.(Anexo 1.3)

3.2 Prensa

En el diseño del troquel, se debe tener en cuenta la prensa en la que se quiere montar para la fabricación de la pieza troquelada. Existen infinidad de prensas para estampación en continuo con diferentes tecnologías, tamaños y mecanismos de trabajo. Las características que se deben considerar para el correcto desarrollo del troquel son las siguientes:

- **Cursos de la prensa-** Es la zona de trabajo efectivo donde se desarrolla la fuerza máxima. Se especifica mediante una tabla de desarrollos. Se elige en relación a la geometría de la pieza y la altura de pisado requerida.(Tabla 1)
- **Altura de cierre-** Se define como la distancia mínima entre la mesa y el carro en un ciclo de trabajo. Viene dada por la tabla de característica de la prensa, en relación al desarrollo elegido. Este dato nos dará la altura del troquel en la fase estampa. Se presenta en la siguiente tabla.(Tabla 1)

Tabla 1: Desarrollos y alturas de cierre de la prensa			
	Cursos	Máximo	Mínimo
1	200	664	551
2	175	684	571
3	140	695	582
4	120	705	592
5	95	722	609
6	70	738	625
7	40	752	639

Fuente: Elaboración propia

- **Altura de alimentación-** Es la distancia desde la mesa de la prensa hasta la entrada de banda en el troquel. Permite una cierta flexibilidad pero se deben controlar los valores máximos y mínimos. En nuestro caso deberá ser de 350 a 450 mm.
- **Salida de chatarra-** Sistema de evacuación de los diferentes retales que se generan en el proceso de troquelado. En nuestro caso se desaloja por gravedad mediante la salida que tiene la prensa en la zona central. Se diseñarán bandejas para asegurar una correcta evacuación de los retales.
- **Salida de pieza-** Es el sistema de recogida de la pieza acabada. Para esta función se usará una bandeja colocada en la parte trasera del troquel. Esta bandeja es regulable fácilmente y con una gran versatilidad.



Fig. 4: Salida de pieza por bandeja.

1. **Diseño y aceptación de banda.** Es la primera fase del proyecto y se debe definir los pasos que debe realizar la banda. En cada paso, se desarrollarán diferentes procesos que darán forma a la banda durante su avance por el troquel.
2. **Diseño de troquel y aceptación.** En esta fase, se diseñan los pasos del troquel, empezando por los elementos de trabajo directo sobre la banda y otros elementos como los diferentes sistemas de guiado, control, sujeción y seguridad.
3. **Realización de pedidos.** Se considera como la primera fase de fabricación propiamente dicha. En esta fase, se piden los materiales y los elementos comerciales necesarios para la fabricación del troquel.
4. **Recepción de materiales.** En esta fase se realiza la recepción de cada material por los diferentes sistemas de logística.
5. **Primer mecanizado.** Se mecanizan los elementos secundarios y se desbastan las piezas que deberán ser tratadas térmicamente.
6. **Tratamientos.** En esta fase se debe llevar las piezas a una empresa externa para realizar los tratamientos térmicos necesarios.
7. **Segundo mecanizado.** Se realizan los mecanizados de acabado, a las piezas tratadas. De esta manera se eliminan las posibles deformaciones que ha sufrido la pieza en la fase anterior.
8. **Montaje.** Se montan los pasos de doblado, embutido y separado.
9. **Primeras pruebas y ajustes.** Se monta en prensa y se ajusta el golpe. Posteriormente se miden estos primeros formatos y se ajustan los desarrollos calculados inicialmente.
10. **Pedido de segundos formatos.** Una vez actualizado el desarrollo de la pieza se pide nuevamente formatos cortados por láser.
11. **Segundas pruebas y ajustes.** Se introduce en prensa para comprobar los ajustes realizados. Posteriormente se miden las piezas fabricadas y si las medidas son las adecuadas se modifica las zonas de corte del troquel.
12. **Mecanizado zonas de corte.** Se mecanizan las últimas partes del corte que se habían pospuesto hasta realizar las pruebas de desarrollo.
13. **Ajustes finales.** Se realizan los últimos ajustes para la puesta en marcha del troquel.
14. **Tiradas de homologación.** Se fabrican las piezas troqueladas necesarias para que se pueda homologar el troquel. En nuestro caso se necesitarán 50 piezas conformadas en continuo.
15. **Entrega de troquel.** Se debe entregar el troquel junto con los repuestos adecuados para un correcto mantenimiento.

Tabla 1: Planning de la fabricación del troquel.

Actividad	Julio			Agosto					Septiembre					
	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	■	■												
2		■	■	■										
3				■										
4				■	■									
5					■	■								
6						■	■							
7							■	■						
8								■	■					
9									■					
10										■				
11											■			
12											■	■		
13											■	■		
14												■		
15												■	■	

4. DISEÑO DEL TROQUEL.

El diseño del troquel se puede separar en tres grandes partes que son: desarrollo de banda, cálculos previos y desarrollo del troquel con ayuda de los programas de CAD. A continuación analizaremos estas fases del proyecto de producción de nuestro troquel de manera que más se aproxime a la ejecución de un proyecto real.

4.1 Desarrollo de banda.

En esta primera fase del diseño del troquel se parte del modelo 3D (.step) o generándolo con ayuda del plano pieza. Se debe decidir qué procesos se quieren realizar en la pieza, y una vez definidos los pasos se calculará el desarrollo que va a tener el material en cada paso. Es de gran importancia ejecutar esta fase correctamente para conseguir facilitar todo el proceso de diseño y fabricación del utillaje, ya que la banda será el corazón del troquel y nos dará las pautas que deben guiar todo el proyecto.

4.1.1 Fase 1: Análisis

En primer lugar analizaremos con un programa específico para el desarrollo de chapa las deformaciones que sufrirá el modelo para tomar su forma final. Este programa nos permitirá con una simple imagen comprender las zonas donde pueden aparecer fallos y los espesores esperados en el modelo.

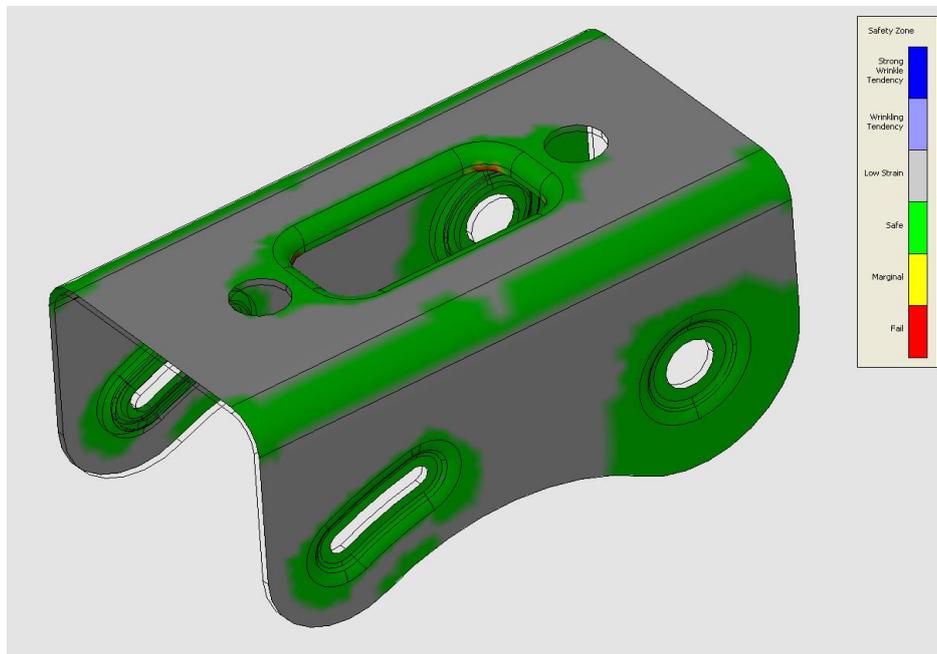


Fig. 6: Seguridad de cada zona.



Fig. 7: Análisis de espesores.

Con este análisis rápido, podemos concluir que la zona donde pueden aparecer fallos se sitúa en los radios del abocardado central que por otro lado podía ser esperable. Para

solucionar los problemas que podemos tener en esta zona podemos realizar las siguientes operaciones:

- Ampliar los radios de trabajo tanto del macho como de la matriz en la fase de ajuste.
- Modificando la geometría de desarrollo de este abocardado para conseguir más control sobre la disminución del espesor en esta zona.
- Modificar con la aceptación del cliente la geometría final en esta zona para disminuir la posibilidad de aparición de defectos. Esta será la última opción en este caso pero en ocasiones con zonas más críticas puede ser necesaria y pararía el proyecto en seco.

Una vez que tenemos una idea general del modelo, necesitamos comprender los diferentes procesos que debemos realizar sobre el modelo y el orden en el que queremos hacerlo. Para ello, debemos analizar las zonas de trabajo por separado tanto los plegados como los cortes. En segundo lugar analizaremos las diferentes interacciones entre banda y troquel en el proceso de avance y control en trabajo.

4.1.1.a) Plegados y embuticiones débiles

Tanto los plegados como las embuticiones producen una deformación en la chapa. Estas deformaciones son difíciles de calcular aunque en mayor medida en los procesos de embutición. Estas deformaciones nos obligan a dejar los cortes y perforaciones para los pasos finales. También nos obliga a tener muy en cuenta la distancia entre procesos para evitar la influencia entre ellos.

En nuestro modelo se pueden aislar 7 zonas de deformaciones, pero teniendo en cuenta la simetría de la pieza se pueden reducir a 4.

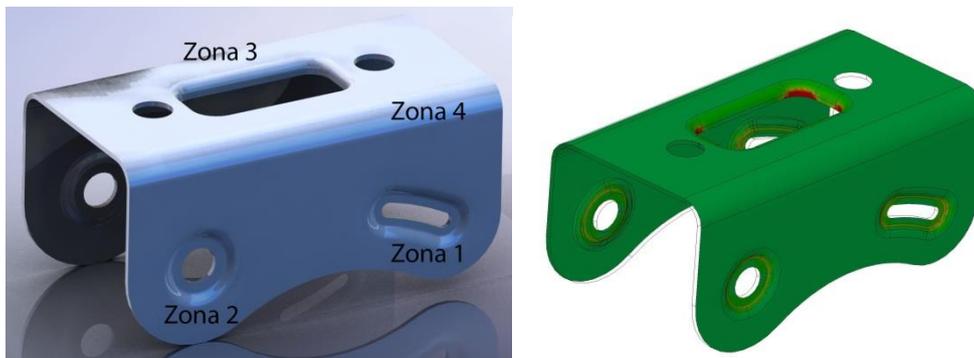


Fig. 8: Zonas de deformaciones en el modelo.

Zona 1

En esta parte de nuestro modelo, se produce una embutición débil con una geometría simple. Esta embutición causará tanto en la zona interior y como en la circundante una retracción del material. No se esperan pliegues en el material, no obstante se debe asegurar una pisada correcta para la realización de esta operación. Teniendo en cuenta todo esto y también que esta zona es cercana al corte exterior, se puede llegar a la conclusión que tanto este corte como la perforación interior deben realizarse en fases posteriores de la banda.

No será necesario el cálculo de desarrollos de chapa en esta operación ya que se realizará en fases iniciales anteriores al corte y su poca deformación nos permite un guiado sencillo de la banda.

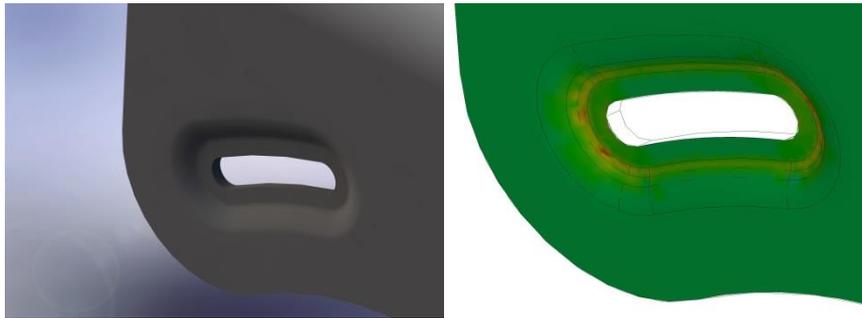


Fig. 9: Zona 1 de deformaciones.

Zona 2

En esta embutición se espera un comportamiento similar a la realizada en la zona 1, aunque con unos esfuerzos más uniformes y menos peligro de aparición de pliegues. En este caso también se debe realizar esta operación antes de los cortes periférico e interior.

En esta zona de deformaciones tampoco es necesario el cálculo de desarrollos de chapa por su posición en banda anterior a los cortes y por su poca deformación.



Fig. 10: ZONA 2 De deformaciones.

Zona 3

En esta zona de la pieza se produce un abocardado a 90° y 2 mm de radio interior, de una aleta. En este proceso se esperan unos esfuerzos uniformes exceptuando en los radios de la

geometría donde se acumularán los esfuerzos y deformaciones mayores. En esta zona tendremos una disminución del espesor que se aproximará al 20%, esto facilitará que aparezcan defectos en forma de grietas. Para subsanar estos posibles defectos, se deberá retocar los radios de la matriz en la fase de ajuste del troquel, también realizaremos diferentes pruebas modificando los radios de corte del desarrollo en las primeras pruebas de ajuste. En este caso se puede esperar influencia sobre los dos agujeros adyacente, por lo tanto se debe intentar perforarlos en fases posteriores.

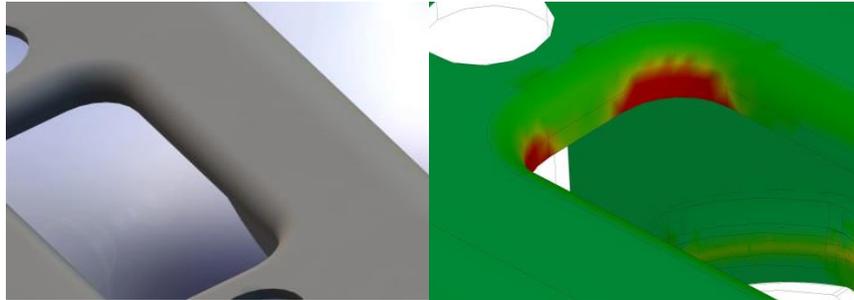


Fig. 11: Zona 3 de deformaciones.

Para el precorte de la banda en esta zona se debe calcular el desarrollo esperado de la zona abocardada.

$$\frac{R}{S} = r$$

$$L_d = \frac{\pi \cdot (R + F_r)}{2}$$

Tabla 2: Factor de radio	
r	F_r
0,2	0,347·e
0,5	0,387·e
1	0,421·e
2	0,451·e
3	0,465·e
4	0,470·e
5	0,478·e
10	0,487·e

Fuente: Elaboración propia.

R = Radio interior de plegado. (8 mm)

e = espesor de chapa. (2 mm)

r = Relacion de espesor – radio.

F_r = Factor de radio.

L_d = Longitud de desarrollo. (mm)

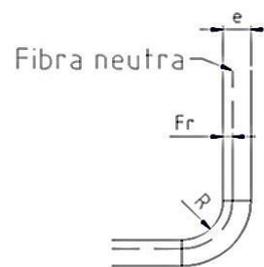


Fig. 12: calculo fibra neutra.

$$\frac{2}{2} = 1 \quad , \quad L_d = \frac{\pi \cdot (2mm + 0,842)}{2}$$

$$L_d = 4,46mm$$

Zona 4

En esta parte el modelo sufre un doblado a 90° y de 8mm de radio interior. No se esperan esfuerzos muy elevados ni la aparición de defecto alguno. Este proceso influye sobre el corte periférico, los perforados y las embuticiones laterales. Debido a la pequeña tolerancia de posicionamientos de los punzonado laterales, se deben realizar después de este doblado. Mientras que tanto el corte periférico como las embuticiones laterales se pueden realizar en fases anteriores si se desea.



Fig. 13: Zona 4 de deformaciones.

En este caso también calcularemos el desarrollo de este plegado para calcular el modelo teórico de la pieza en las fases anteriores

$$\frac{R}{S} = r$$

$$L_d = \frac{\pi \cdot (R + F_r)}{2}$$

R = Radio interior de plegado. (2mm)

e = espesor de chapa. (2mm)

r = Relacion de espesor – radio.

F_r = Factor de radio.

L_d = Longitud de desarrollo. (mm)

Tabla 4: Factor de radio	
r	F_r
0,2	0,347·e
0,5	0,387·e
1	0,421·e
2	0,451·e
3	0,465·e
4	0,470·e
5	0,478·e
10	0,487·e

Fuente: Elaboración propia.

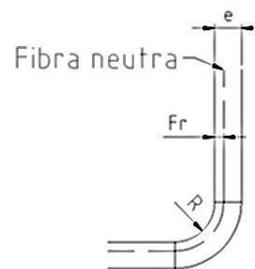


Fig. 14: Cálculos de fibra neutra.

$$\frac{2}{2} = 1 \quad , \quad L_d = \frac{\pi \cdot (8mm + 0.94)}{2}$$

$$L_d = 14.04mm$$

4.1.1. b) Corte

Es el momento de analizar los procesos de corte realizados sobre el modelo, debemos fijarnos en especial a las tolerancias que tiene cada uno de los cortes. Estas tolerancias pueden ser tanto de forma como de posición. En nuestro modelo se pueden diferenciar cinco tipos diferentes de corte y algunos se realizan más de una vez.



Fig. 15: Zonas de corte en el modelo.

Zona 1

Esta perforación se sitúa en el lateral del modelo dentro de la zona 1 de deformaciones. Debido a su localización se debe realizar en las fases finales de la banda. Para conseguir que se cumpla la tolerancia de geometría de corte requerida se deberá realizar después de la embutición colindante. Por otro lado, teniendo en cuenta que se debe realizar después del plegado de las aletas para conseguir una tolerancia de posición correcta, se deberá realizar mediante un carro de punzonado lateral.



Fig. 16: Zona 1 de corte.

Zona 2

Esta segunda perforación se realiza también en el lateral del modelo y dentro de la segunda zona de deformación. Teniendo en cuenta su posición y las tolerancias tanto de forma como de posición, se deberá realizar mediante carro de punzonado lateral en pasos posteriores al doblado.

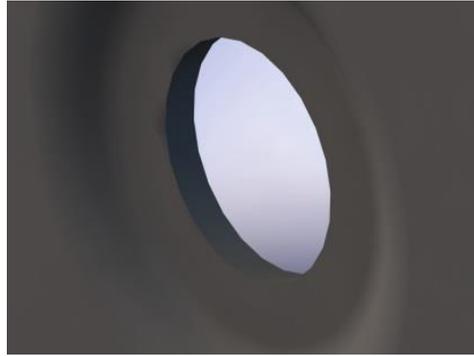


Fig. 17: Zona 2 de corte.

Zona 3

En el caso de esta perforación realizada en la parte superior del modelo, no tenemos tolerancia de posición ya que es la referencia de posición en sus dos ejes pero si de forma. Teniendo en cuenta esta tolerancia y la cercanía a la zona 3 generada por el plegado del cuello interior, podemos concluir que se debe realizar en fases posteriores a este abocardado.

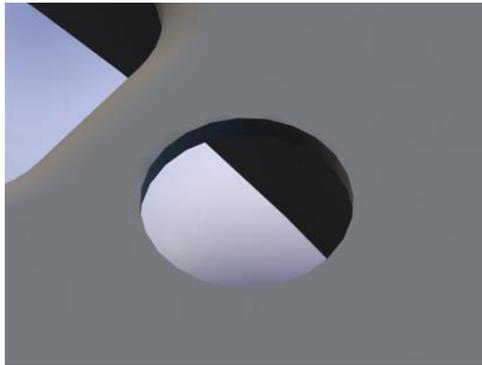


Fig. 18: Zona 3 de corte.

Zona 4 (Corte exterior)

Este corte nos definirá todo el exterior del modelo y se deberá realizar en diferentes pasos. La mayor parte se realizará después de las embuticiones débiles situadas en los laterales y antes del doblado de las caras verticales. Se recortará lo suficiente para un correcto doblado de las alas laterales pero dejando suficiente material para conseguir una rigidez adecuada de la banda.



Fig. 19: Zona 4 de corte.

Zona 5

Este último corte, aunque no se observe a primera vista ya que será un corte temporal antes del plegado del cuello interior, se debe tener en cuenta para este primer análisis del modelo. Teniendo en cuenta que requiere procesos posteriores se deberá realizar en los primeros pasos.



Fig. 20: Zona 5 de corte.

4.1.1. c) Pilotaje

Es el sistema de posicionamiento de banda para cada paso. Se pueden usar centrados perforados, embuticiones realizadas en la pieza o realizar perforaciones temporales que nos permitan un posicionamiento correcto en las diferentes fases del proceso.

En nuestra pieza se pueden usar 4 zonas de pilotaje diferentes. Pero teniendo en cuenta que ya hemos llegado a la conclusión de que los perforados laterales se deben realizar en las fases finales de la banda podemos rechazar las dos primeras zonas. Por otro lado la zona 4 puede ser usada para un reposicionamiento, pero si se quiere realizar un pilotaje preciso se pueden producir defectos superficiales en forma de gripados entre el piloto y la superficie interior del doblado. Teniendo en cuenta esto y que los dos perforados de las zonas 3 se deben realizar después del doblado interior, se puede llegar a la conclusión de que necesitaremos un pilotaje temporal en las fases iniciales de banda. Y una vez se realicen los perforados de la zona 3 nos centraremos de ellos para conseguir unas tolerancias de posición adecuadas.



Fig. 21: Zonas del pilotaje en el modelo.

4.1.1. d) Guiado

Se denomina de esta manera a los elementos secundarios que ayudan al tránsito de banda por el troquel. Los principales elementos son las guías y los rulinos. Las guías son piezas rectangulares con un resalte lateral que mantiene la banda cerca de las matrices y posiciona lateralmente la misma. Los rulinos por su parte son utilizados para piezas con embuticiones más profundas, son de forma cilíndrica con una ranura que posiciona la banda tanto lateralmente como en altura y la acompaña con un movimiento vertical.

Analizando nuestro modelo y con la premisa de un avance en banda siguiendo el eje de simetría de la pieza se puede concluir que la elevación de banda debe ser pequeña. Esta elevación viene dada por la altura abocardado interior y por las embuticiones laterales, en este caso nos da una elevación mínima de 4 mm. Teniendo en cuenta esta altura de avance de banda se pueden elegir un sistema de guías.

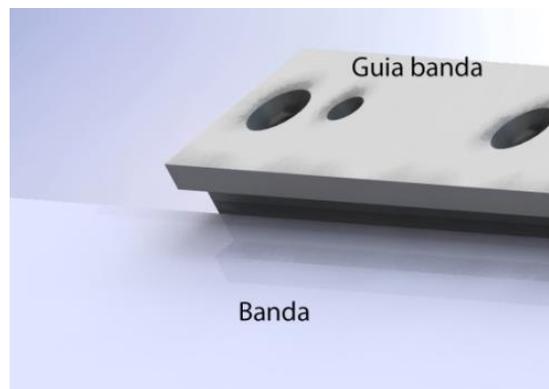


Fig. 22: Sistema de guiado por banda guía.

4.1.1. e) Control de paso.

Estos sistemas realizan un control del avance necesario entre cada golpe. Estos elementos deben obstaculizar el desplazamiento y en el caso de procesos automatizados se debe dar una señal eléctrica. Si el troquel es de alimentación automática se utiliza gatillo, detector capacitivo o detector inductivo. Los finales de carrera se pueden usar en troqueles de alimentación manual y automática. Teniendo en cuenta el sistema de guiado, la altura de elevación de banda y la automatización del proceso usaremos un sistema de gatillo para control automático con detector mecánico.

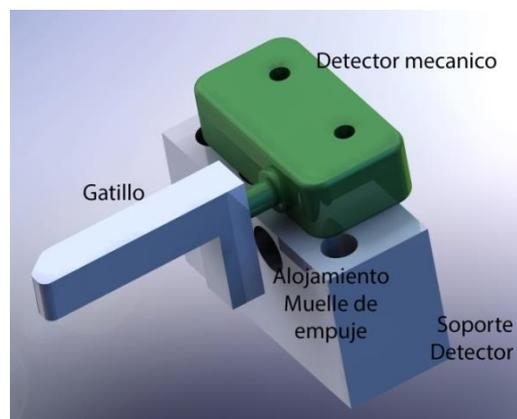


Fig. 23: Sistema de control de paso por gatillo.

4.1.1. f) Sistemas de seguridad

Se utiliza esencialmente para la detección de salida de pieza y de chatarra para controlar posibles atascos en el trabajo. Se utilizan detectores capacitivos o inductivos. En nuestro troquel colocaremos un detector capacitivo para asegurar la salida de pieza. Este detector se colocará en la zona de salida de pieza y deberá asegurar que la banda no ha sufrido un atascamiento en el avance por el troquel. El montaje de este detector se deja pendiente hasta la finalización del troquel y puesta en marcha en la prensa del cliente.



Fig. 24: Detector capacitivo.

4.1.2 Fase 2: Diseño de la banda.

Una vez analizado el modelo y los procesos que se deben realizar para conseguir su geometría final. Pasamos a dar forma a la banda utilizando el modelo 3D y los cálculos de desarrollos tanto del doblado de las alas laterales como del abocardado central.

Antes de dar forma al primer paso de la banda, se dibuja el desarrollo para calcular la anchura de la banda. En nuestro caso se calcula un desarrollo con una anchura de 223,24mm por lo tanto teniendo en cuenta una demasía adecuada y una medida de banda estándar decidimos elegirla de una anchura de 230mm.

4.1.2. Paso 1

En esta fase de la banda se realizan la preparación de la misma y algunos procesos de deformación.

- Las acciones que se realizan sobre la banda son las siguientes:
 1. Perforado de pilotaje temporal a diámetro 12,1mm para piloto de diámetro de 12mm.
 2. Corte de muesca para control de paso.
 3. Corte central con la geometría de desarrollo del abocardado interior.
 4. También se realizan las embuticiones laterales.
- En este primer paso no se necesita pilotaje.

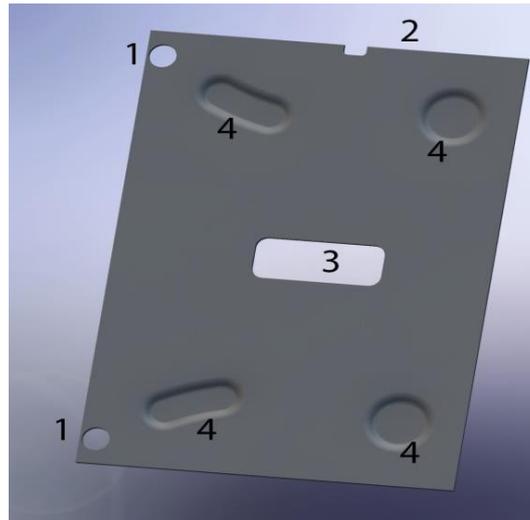


Fig. 25: Paso 1 de la banda.

4.1.2. Paso 2

- Las acciones que se realizan en este paso son:
 1. Abocardado del cuello interior.
 2. Inicio del corte periférico.
 3. Control de paso con sistema de gatillo.
- Se utiliza de pilotaje:
 - A. Lo pilotajes temporales.
 - B. También nos servirá de ayuda las embuticiones débiles de ambos lados de la banda.

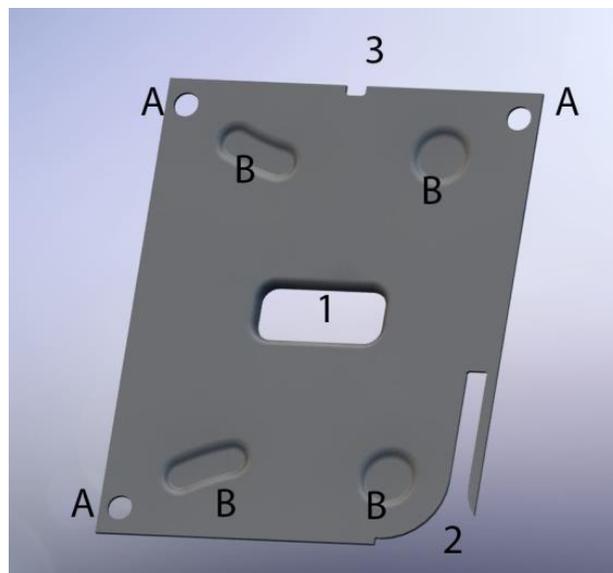


Fig. 26: Paso 2 de la banda.

4.1.2 Paso 3

- Las acciones realizadas a la banda en este paso son solamente de corte y son:
 1. Perforación de agujeros centrales.
 2. Corte periférico.

- Se utiliza para un correcto posicionamiento:
 - A. El pilotaje temporal.
 - B. Las embuticiones débiles.
 - C. El cuello abocardado central.

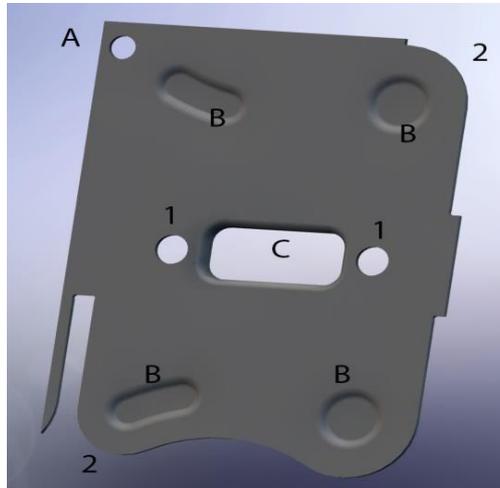


Fig. 27: Paso 3 de la banda.

4.1.2. Paso 4

- En esta fase se realizan los siguientes procesos sobre la banda:
 1. Se calibra la altura del abocardado.
 2. Se achaflana el cuello abocardado.
 3. Se termina el corte periférico.
- Se utiliza para el posicionamiento:
 - A. Principalmente de los pilotos superiores.
 - B. Del abocardado central.
 - C. De las embuticiones exteriores.

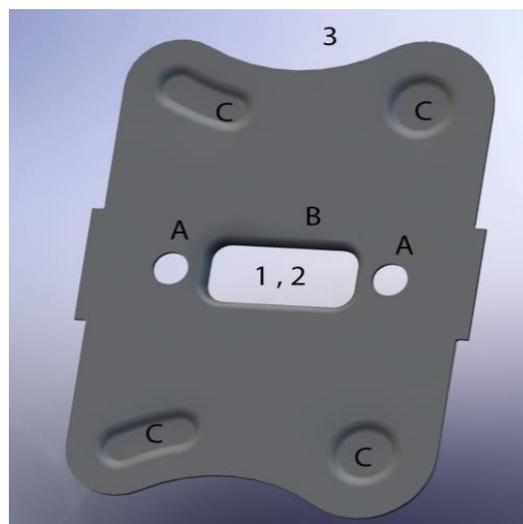


Fig. 28: Paso 4 de la banda.

4.1.2. Paso 5

- Procesos realizados sobre la banda.
 1. Doblado de las dos aletas laterales.
- El posicionamiento se realizará.
 - A. Los perforados superiores.

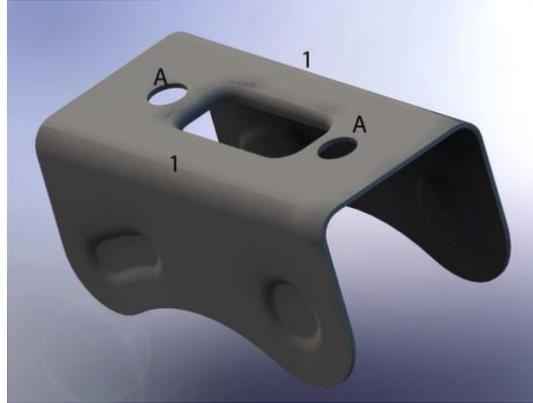


Fig. 29: Paso 5 de la banda.

4.1.2 Paso 6

Este es un paso de transito que se hace necesario debido a que se debe dejar espacio para introducir el carro de punzonado necesario para el siguiente paso.

4.1.2 Paso 7

- Las operaciones realizadas sobre la banda en este paso son:
 1. Perforación lateral del corte 1.
 2. Perforación lateral del corte 2.
- Se utiliza para central la pieza en esta fase.
 - A. Perforaciones superiores.

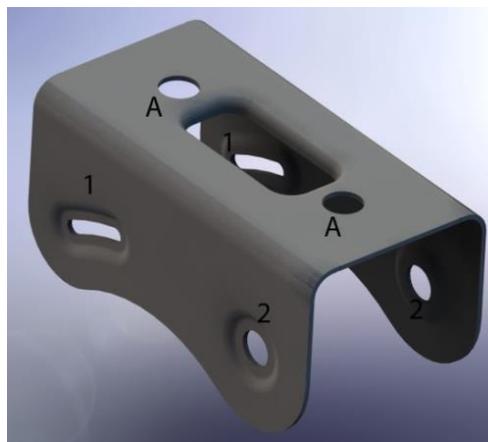


Fig. 30: Paso 7 de la banda.

4.1.2 Paso 8

En esta fase se posiciona la pieza pilotando sobre los agujeros de diámetro 15 colocados en la parte superiores, para realizar el corte de separado.

4.1.2 Paso 9

Este es el último paso, denominado separado de banda. Se realiza el corte que separa la pieza del resto de la banda, pilotando sobre uno de los agujeros de diámetro 15 se realiza el corte de separado.



Fig. 31: Paso 9 de la banda.

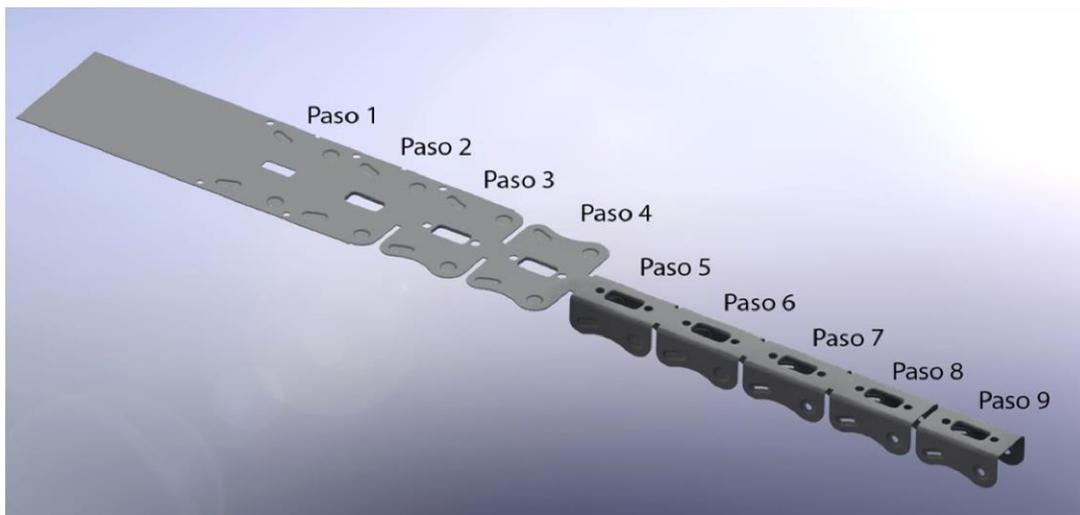


Fig. 32: Banda completa.

4.2 Cálculos previos.

En el diseño del troquel se deberán tener en cuenta las fuerzas generadas en el troquel en la fase de trabajo. Estas fuerzas nos servirán en la elección de los diferentes espesores, materiales y elementos comerciales a utilizar.

4.2.1 Fuerzas en las fases de Corte.

Una vez que hemos analizado la banda y hemos concluido que este diseño es el correcto, pasamos a calcular las fuerzas generadas en el troquel debidas a los cortes planteados en la banda.

4.2.1. a) Cálculos de longitud de corte.

Para calcular estas fuerzas se deben analizar los diferentes procesos de corte que sufre la banda en su paso por el troquel. En nuestro caso hemos diferenciados 9 cortes diferentes, algunos se realizan más de una vez.

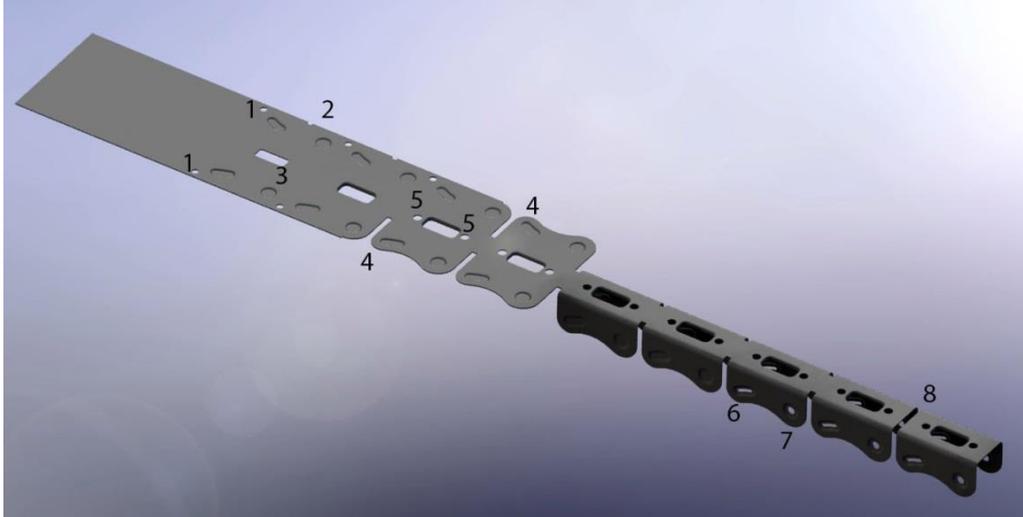


Fig. 33: Cortes realizados sobre la banda.

Corte banda 1

Situado en el paso 1, el perforado del alojamiento para el pilotaje temporal tiene la geometría de un círculo de diámetro $D=12.1\text{mm}$. Por lo tanto podemos calcular el perímetro de corte fácilmente.

$$P_c1 = D \cdot \pi$$

$$P_c1 = 12.1\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_c1 = 38.1\text{mm}$$

Corte banda 2

Situado en el paso 1, el corte para el control de paso consta de cinco partes, las dos partes rectas de $L=3\text{mm}$ en el lateral del corta, la delantera de $D=6\text{mm}$ y dos radios de 90° con $R=2\text{mm}$.

$$P_c2 = 2L + D + \frac{2R\pi}{2}$$

$$P_c2 = 2 \cdot 3\text{mm} + 6\text{mm} + \frac{2 \cdot 2\text{mm} \cdot \pi}{2}$$

$$P_c2 = 18.28\text{mm}$$

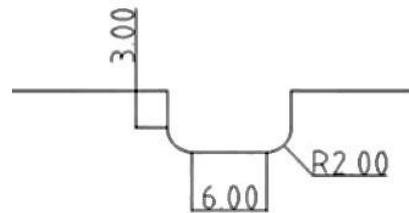


Fig. 34: Corte de banda 2.

Corte banda 3

También situado en el paso 1, el perforado de la ventana central consta de ocho partes, las dos partes rectas de $L=46\text{mm}$ del lado largo, las cortas de $C=11\text{mm}$ y cuatros radios de 90° con $R=5,25\text{mm}$.

$$P_c3 = 2L + 2C + 2R\pi$$

$$P_c3 = 2 \cdot 46\text{mm} + 2 \cdot 11\text{mm} + 2 \cdot 5.25\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_c3 = 146.98\text{mm}$$

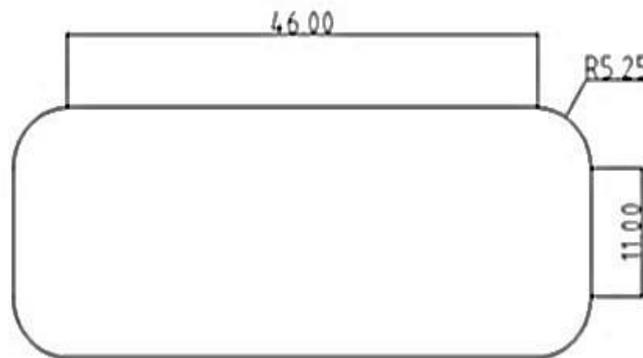


Fig. 35: corte de banda 3.

Corte banda 4

Este corte de la geometría exterior se sitúa en las fases 2, 3 y 4, la complejidad del corte nos obliga a acudir a un programa de CAD que nos calcule el perímetro de corte. Ofreciéndonos un resultado de 321.64mm de perímetro de corte.

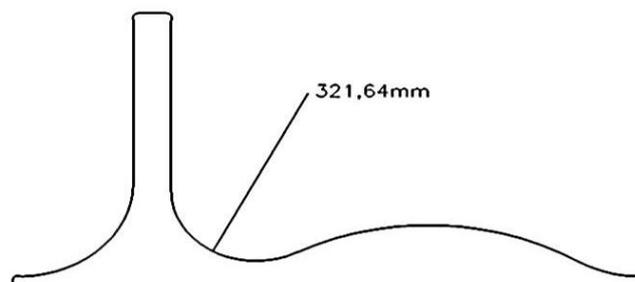


Fig. 36: Corte de banda 4.

Corte banda 5

Este perforado situado en la zona central se realiza en el paso 3. Con geometría circular de $D=15\text{mm}$.

$$P_c5 = D \cdot \pi$$

$$P_c5 = 15\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_c5 = 47.12\text{mm}$$

Corte banda 6

Situado en el paso 7, tiene una geometría que consta de 4 arcos, dos iguales de 180° con radio $R1=3\text{mm}$, otro con 15° y radio $R2=92\text{mm}$ y por ultimo uno de 15° con radio $R3=98\text{mm}$.

$$P_c6 = 4R1\pi \frac{180}{360} + 2R2\pi \frac{15}{360} + 2R3\pi \frac{15}{360}$$

$$P_c6 = 4 \cdot 3\text{mm} \cdot \pi \frac{180}{360} + 2 \cdot 92\text{mm} \cdot \pi \frac{15}{360} + 2 \cdot 98\text{mm} \cdot \pi \frac{15}{360}$$

$$P_c6 = 68.59\text{mm}$$

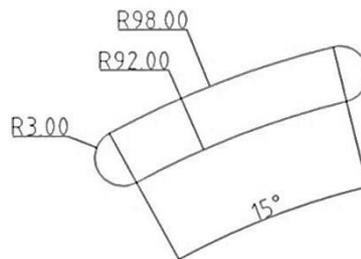


Fig. 37: Corte de banda 6.

Corte banda 7

Este perforado se realiza mediante carro lateral en el paso 7. Con geometría circular de $D=14\text{mm}$.

$$P_c7 = D \cdot \pi$$

$$P_c7 = 14\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_c7 = 43.98\text{mm}$$

Corte banda 8

Este es el último corte realizado sobre el modelo y se denomina como corte de separado. Se realiza entre los pasos 8 y 9. Con geometría de dos rectas iguales con longitud $L=52\text{mm}$.

$$P_c8 = 2L$$

$$P_c8 = 2 \cdot 52\text{mm}$$

$$P_c8 = 104\text{mm}$$

Una vez calculados los perímetros de corte de las diferentes operaciones se usa este dato para calcular tres valores específicos para la ejecución del troquel.

4.2.1.b) Fuerza de corte.

En primer lugar calcularemos la fuerza necesaria para realizar el corte.

$$\sigma_c = \text{resistencia a la zizalladura}(420\text{N/mm}^2)$$

$$P = \text{perímetro del punzón}$$

$$e = \text{espesor de la chapa (2mm)}$$

Tabla 5: Fuerzas de corte.		
Denominación	Perímetro de corte (mm)	Fc (N)
Corte 1	38,1mm	32.004N
Corte 2	18,28mm	15.355N
Corte 3	146,98mm	123.463,2N
Corte 4	321,64mm	270.177,6N
Corte 5	47,12mm	39.580,8N
Corte 6	68,59mm	57.615,6N
Corte 7	43,98mm	36.943N
Corte 8	104mm	87.360N
Fuente: Elaboración propia		

4.2.1.c) Fuerza de pisado.

Fuerza necesaria para una correcta sujeción en un proceso de corte. Esta fuerza está relacionada directamente con la fuerza ejercida para el corte. Se calcula como el 5% de la Fc e introducimos un valor de seguridad del 10%.

$$Fp = Fc \cdot 0.05 \cdot 1.1$$

Tabla 6: fuerzas de pisada para el corte.		
Denominación	Fc (N)	Fp(N)
Corte 1	32.004N	1760,22N
Corte 2	15.355N	844,52N
Corte 3	123.463,2N	6.790,46N
Corte 4	270.177,6N	14.859,76N
Corte 5	39.580,8N	2.176,94N
Corte 6	57.615,6N	3.168,82N
Corte 7	36.943N	2.031,86N

Corte 8	87.360N	4.804,8N
Total	662.499,2N	36.437,45N
Fuente: Elaboración propia		

4.2.1.d) Fuerza de extracción.

Se llama así a la fuerza que se requiere para separar los punzones del trozo de chapa adherida a estos, una vez ha sido efectuado el corte. Se calcula como el 10% de la Fc.

$$F_{ext} = F_c \cdot 0.1$$

Tabla 7: Fuerzas de extracción para el corte.		
Denominación	Fc (N)	Fext(N)
Corte 1	32.004N	3.200,4N
Corte 2	15.355N	1.535,5N
Corte 3	123.463,2N	12.346,32N
Corte 4	270.177,6N	27.017,76N
Corte 5	39.580,8N	3.958,08N
Corte 6	57.615,6N	5.761,56N
Corte 7	36.943N	3.694,3N
Corte 8	87.360N	8.736N
Totales	662.499,2N	66.249,92N
Fuente: Elaboración propia		

4.2.1.e) Fuerzas de expulsión

Se denomina de esta manera a los esfuerzos generados por la adherencia o rozamiento de la pieza en el interior de la matriz que representa un esfuerzo que se debe tener en cuenta para el correcto avance de la banda. Se considera como el 1,5% de Fc.

$$F_{exp} = F_c \cdot 0.015$$

Tabla 8: Fuerzas de expulsión en el corte.		
Denominación	Fc (N)	Fexp(N)
Corte 1	32004N	480,06N
Corte 2	15.355N	230,32N
Corte 3	123.463,2N	1.851,94N
Corte 4	270.177,6N	4.052,66N
Corte 5	39.580,8N	593,71N
Corte 6	57.615,6N	864,23N

Corte 7	36.943N	554,14N
Corte 8	87.360N	1310.4N
Totales	662.499,2N	9937.46N
Fuente: Elaboración propia		

4.1.3. f) Resumen fuerzas de corte.

Tabla 9: Resumen de fuerzas para el corte.					
Denominación	Perímetro de corte(mm)	Fc (N)	Fp(N)	Fext(N)	Fexp(N)
Corte 1	38,1mm	32004N	1760,22N	3.200,4N	480,06N
Corte 2	18,28mm	15.355N	844,52N	1.535,5N	230,32N
Corte 3	146,98mm	123.463,2N	6.790,46N	12.346.32N	1.851,94N
Corte 4	315mm	264.600N	14.553N	26.460N	3.969N
Corte 5	47,12mm	39.580,8N	2176,94N	3.958,08N	593,71N
Corte 6	68,59mm	57.615,6N	3168.82N	5.761,56N	864,234N
Corte 7	43,98mm	36.943N	2031.86N	3.694,3N	554,14N
Corte 8	104mm	87.360N	4804.8N	8.736N	1310.4N
Fuente: Elaboración propia					

4.2.2. Fuerzas en el doblado.

Para calcular las fuerzas necesarias para los procesos de doblado desarrolladas en el troquel debemos analizar los diferentes tipos por separado. Se realizarán cálculos aproximados para tener una idea orientativa de los procesos. En nuestro modelo existen cuatro tipos diferentes:

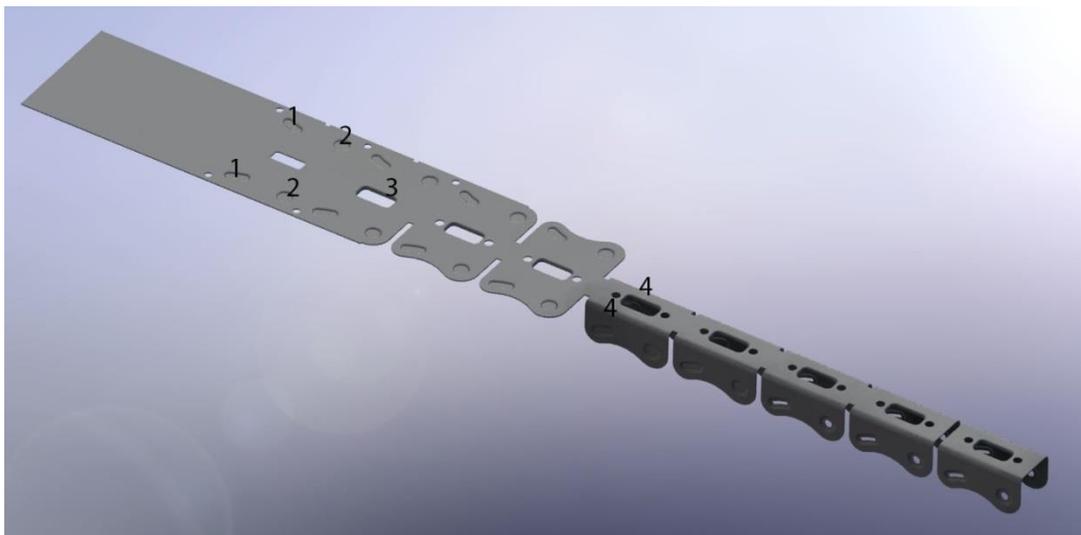


Fig. 38: Deformaciones realizadas en la banda.

4.2.2.a) Perímetro de doblado.

Para realizar los cálculos de fuerzas generadas en el doblado de la banda para dar forma al modelo final, debemos calcular el perímetro doblado en cada caso. A continuación analizaremos la forma de los diferentes doblados sufridos por la banda y la longitud de los mismos.

Doblado 1(Estampado 1)

En primer lugar analizaremos una embutición débil realizada en el paso 1 del troquel. Esta embutición tiene una geometría compuesta por cuatro arcos. Para calcular las fuerzas simplificaremos esta embutición como dos doblados de 90° cada uno. En primer lugar debemos calcular la longitud de doblado. El doblado superior tiene una longitud compuesta por dos arcos de 180° con radio R1=11,21mm, un arco de 15° con radio R2=106,21mm y un arco de 15° de radio R3=83,79mm.

$$P_{D1.1} = 4R1\pi \frac{180}{360} + 2R2\pi \frac{15}{360} + 2R3\pi \frac{15}{360}$$

$$P_{D1.1} = 4 \cdot 11,21mm \cdot \pi \frac{180}{360} + 2 \cdot 106,21mm \cdot \pi \frac{15}{360} + 2 \cdot 83,79mm \cdot \pi \frac{15}{360}$$

$$P_{D1.1} = 120,17mm$$

Por otro lado el perímetro del plegado inferior se compone de dos arcos de 180° con radio R1=5,79 mm, un arco de 15° con radio R2=100,79 mm y un arco de 15° de radio R3=89,21mm.

$$P_{D1.2} = 4R1\pi \frac{180}{360} + 2R2\pi \frac{15}{360} + 2R3\pi \frac{15}{360}$$

$$P_{D1.2} = 4 \cdot 5,79mm \cdot \pi \frac{180}{360} + 2 \cdot 100,79mm \cdot \pi \frac{15}{360} + 2 \cdot 89,21mm \cdot \pi \frac{15}{360}$$

$$P_{D1.2} = 86,12mm$$

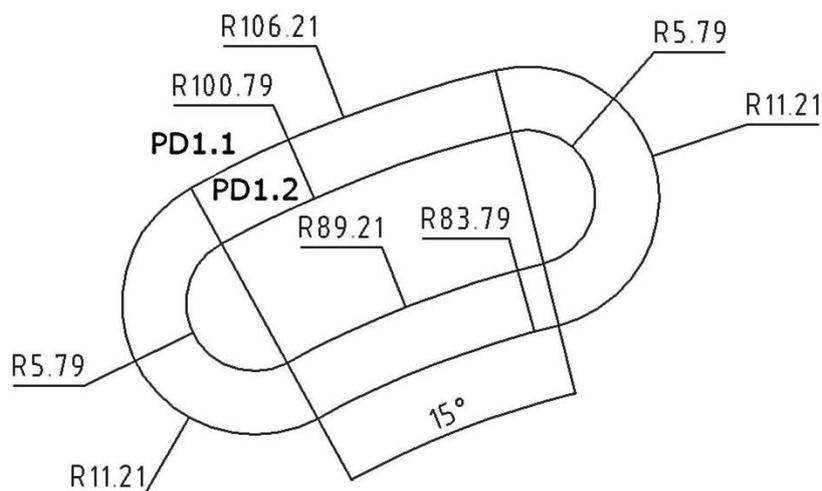


Fig. 39: Zona de deformación 1 de la banda.

Doblado 2 (Estampado 2)

También en el paso 1 se realiza otra embutición débil con geometría cónica. En este caso también simplificaremos la embutición en dos dobles simples de 90°. Se debe calcular los perímetros de ambos plegados de forma. El plegado superior tiene un diámetro $D1=32,42\text{mm}$ y el inferior tiene un diámetro $D2=20,97\text{mm}$.

$$P_{D2.1} = D1 \cdot \pi$$

$$P_{D2.1} = 32,42\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_{D2.1} = 101.85\text{mm}$$

$$P_{D2.2} = D2 \cdot \pi$$

$$P_{D2.2} = 20,97\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_{D2.2} = 65.87\text{mm}$$

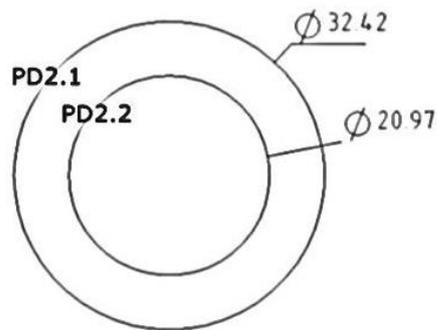


Fig. 40: Zona de deformación 2 de la banda.

Doblado 3(abocardado)

Este abocardado se realiza en el paso 2. Con geometría compuesta de cuatro rectas y cuatro arcos. Dos rectas iguales de longitud $L1=46$, dos rectas más de longitud $L2=11$ y cuatro arcos de 90° con radio $R=12\text{mm}$.

$$P_{D3} = 2L1 + 2L2 + 2R\pi$$

$$P_{D3} = 2 \cdot 46\text{mm} + 2 \cdot 11\text{mm} + 2 \cdot 12\text{mm} \cdot \pi$$

$$P_{D3} = 189.39\text{mm}$$

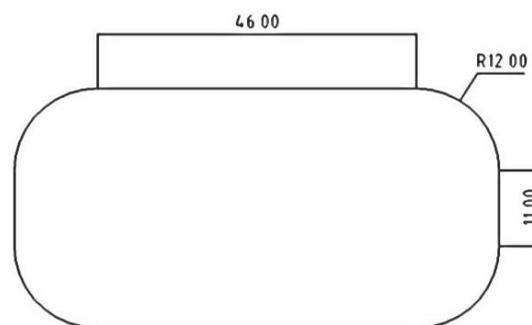


Fig. 41: Zona 3 de abocardado de la banda.

Doblado 4

En último lugar se doblan las aletas exteriores. Este plegado tiene una longitud $P_{D4} = 150\text{mm}$ y se realiza en el mismo paso de forma simétrica. Con este doblado conseguiremos la geometría final del modelo, a falta de los cortes laterales y el separado.

4.2.2.b) Fuerza de doblado.

Después de calculados los perímetros de doblado de las diferentes operaciones, se usa estos datos para calcular tres valores específicos para la ejecución del troquel.

4.2.2.c) Fuerza de doblado.

$$F_D = \frac{e \cdot P \cdot R_e}{6}$$

$$F_D = \text{Fuerza de doblado (N)}$$

$$P = \text{perímetro doblado (mm)}$$

$$e = \text{espesor de la chapa (2mm)}$$

$$R_e = \text{Solicitud a la flexión (N/mm}^2\text{)} 320\text{N/mm}^2$$

Tabla 10: Fuerzas de doblado.		
Denominación	Pd(mm)	Fd (N)
Doblado 1.1	120,17mm	12.818,13N
Doblado 1.2	86,12mm	9.186,13N
Doblado 1 Total	206,29mm	22.004,26N
Doblado 2.1	101,85mm	10.864N
Doblado 2.2	65,87mm	7.026,13N
Doblado 2 Total	167,72mm	17.890,13N
Doblado 3	146,98mm	20.202,47N
Doblado 4	155mm	16.533,33N
Fuente: Elaboración propia		

4.2.2.d) Fuerza de pisada.

Esta fuerza se aproxima como el 40% de la fuerza necesaria para el doblado. Esta fuerza nos permite no sólo sujetar la pieza para un correcto doblado sino que también previene la aparición de arrugas y defectos de forma.

$$F_{PD} = 0.4 \cdot F_D$$

$$F_{PD} = \text{Fuerza de pisado en el proceso de doblado.}$$

$$F_D = \text{Fuerza necesaria para el doblado.}$$

Tabla 11: fuerzas de pisada para el doblado.		
Denominación	FD (N)	FPD(N)
Doblado 1.1	12.818,13N	5.127,25N
Doblado 1.2	9.186,13N	3.674,45N
Doblado 1 Total	22.004,26N	8.801,7N
Doblado 2.1	10.864N	4.345,6N
Doblado 2.2	7.026,13N	2.810,45N
Doblado 2 Total	17.890,13N	7.156,052N
Doblado 3	15.677,86N	8.080,99N
Doblado 4	16.533,33N	6.613,33N
Totales	111.466,64N	44.586,65N
Fuente: Elaboración propia		

4.2.2.e) Fuerza de expulsión de matriz.

En nuestro caso consideramos necesaria la expulsión de la banda en el abocardado del paso 3. En este doblado se incorporará un expulsor especial con una fuerza que aproximaremos al 30% de la fuerza utilizada para la realización de este plegado.

$$F_{expD3} = 0.3 \cdot F_{D3}$$

$$F_{expD3} = 0.3 \cdot 20.202,86N$$

$$F_{expD3} = 6.060,74N$$

4.3 Desarrollo del troquel.

Partiendo de la banda se comienza a dar forma a las partes y elementos que compondrán el troquel progresivo. En esta fase del proyecto también se debe tener en cuenta las diferentes especificaciones recogidas en el pedido y los valores recabados en la fase de cálculos previos. Tanto los elementos de F-521, F-522 y M2 se tratarán térmicamente, mientras que el F-111 y el St52 se montarán sin tratar.

4.3.1 Parte inferior.

Comenzaremos este diseño con la parte inferior del troquel y continuaremos apoyándonos en todo momento en la banda.

4.3.1.a) Grupo matriz.

En primer lugar se debe dar la forma general al grupo de matriz. En nuestra banda se pueden diferenciar dos zonas, la primera comprendería a los cuatro primeros pasos en los que la banda mantiene la forma plana. Después de realizar el plegado de las alas pasa a tener una geometría con menor anchura pero con una altura bastante mayor. Con el estudio de la banda desde el lateral podemos definir las alturas de las matrices de ambas zonas.

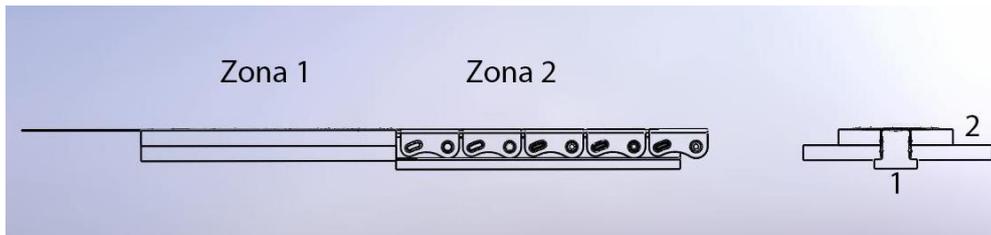


Fig. 42: Vista lateral grupo matriz.

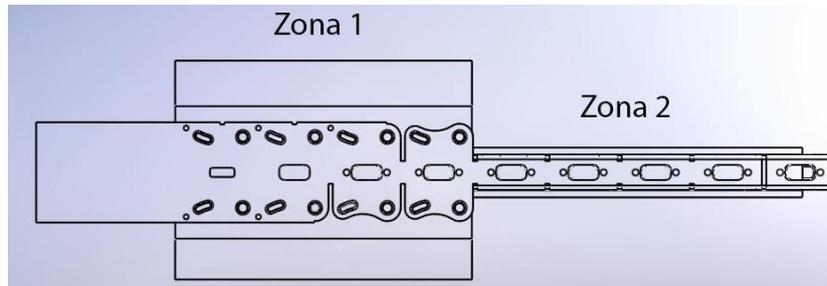


Fig. 43: Vista de alzado grupo matriz.

En este caso se decide introducir un portamatrices de St52, las características de este material se pueden encontrar en el Anexo 4.3. Este elemento nos permita elevar las matrices que compondrán los cuatro primeros pasos. De esta manera se simplifican las diferentes matrices. Una vez que hemos definido los espesores con la vista superior podemos definir las anchuras que tendrán las matrices con ayuda del alzado de la banda.

En este momento ya tenemos el volumen general del grupo matriz, ahora es el momento de realizar la separación en matrices más óptimas para el ajuste, montaje y mantenimiento. En nuestro caso separamos las matrices planas en dos. La primera comprende los dos primeros pasos exceptuando la zona de corte exterior y la segunda abarca los dos siguientes pasos. En el caso de las matrices altas se separan por pasos incluyendo una para el medio paso de separado.

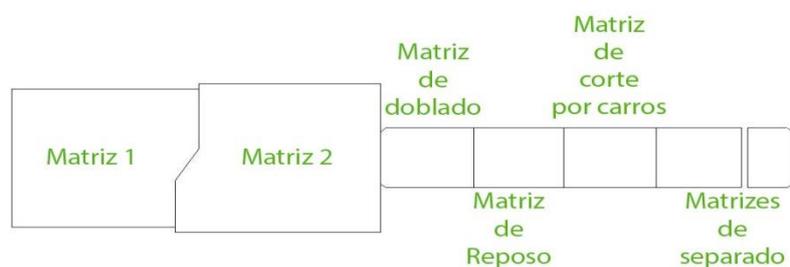


Fig. 44: Separación del grupo matriz.

Una vez que se han definido la geometría general de todas las matrices, se comienzan a diseñar las zonas de trabajo de las mismas.

Matriz 1.

En primer lugar se debe decidir el material de la misma, en este caso se decide realizarla en F-522 las características de este material se pueden encontrar en el Anexo 4.2. También se diseñarán los postizos de F-521 para las zonas de mayores esfuerzos, las características de este material se pueden encontrar en el Anexo 4.1. Se incorporarán buterolas de corte para los perforados de pilotaje temporal, el corte de control de paso y el corte de la ventana central. También alojará una buterola para realizar el abocardado de la ventana interior en el segundo paso de banda. Estas buterolas tanto las de corte como las de doblado nos permiten una mayor facilidad para el ajuste y mantenimiento del troquel. En el caso de la buterola de abocardado se le aplicará aparte del tratamiento térmico de temple y revenido que tienen los otros elementos, un recubrimiento TICN. Este recubrimiento se realizará una vez que se defina su geometría final después del ajuste del troquel, y nos permitirá una mayor durabilidad de la misma. En las zonas de corte se debe tener en cuenta la holgura de corte necesaria en nuestro caso, como queremos una holgura del 7% del espesor decidimos dar 0.15mm de holgura en estas zonas.

En el caso de las embuticiones débiles se realizarán directamente sobre la matriz. Por último se realizan los librados de estas zonas estampadas en los pasos siguientes y los diferentes amarres y alojamientos para su posicionamiento.

Esta matriz debe tener los siguientes elementos:

1. Alojamiento para las buterolas de corte y abocardado. También se deberá realizar un alojamiento para tornillo M6 por cada buterola para sujetarla en el proceso de trabajo.

Se deberá alojar y diseñar las siguientes buterolas:

- A. Buterola de $\varnothing 12.4$ para el pilotaje temporal.
 - B. Buterola de control de paso.
 - C. Buterola de corte para el abocardado central.
 - D. Buterola de abocardado.
 - E. Elevadores de banda.
2. Geometría para la realización de las embuticiones débiles y los librados necesarios para el resto de los pasos.
 3. Amarres a el porta matrices para tornillo de M12.
 4. Alojamientos para los posicionadores de forma cilíndrica de diámetro 12.
 5. Roscas M8 y alojamientos de posicionado de $\varnothing 8$ por 20 de profundidad para la sujeción de las guías de banda.

Matriz de doblado.

Se realizará en F-521 enteramente. La geometría de esta matriz debe coincidir con el interior del modelo liberando las embuticiones débiles que quedarán en contacto con la matriz. Para contrarrestar la recuperación elástica del material doblado daremos una inclinación a las paredes laterales. En algunos casos se debe diseñar también un rompe fibra para conseguir un doblado más estable.

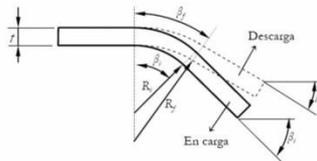


Fig. 47: Recuperación elástica.

Tabla 3: Tabla de ángulos de recuperación.

Espesor de la chapa e (mm)	Radio interior r	Material doblado		
		Acero dulce Aluminio	Acero semiduro Latón agrio	Acero duro
$e \leq 0.8$	$r \leq e$	4°	5°	7°
	$e < r < 5e$	5°	6°	9°
	$r > 5e$	6°	8°	12°
$0.8 < e < 2$	$r \leq e$	2°	2°	4°
	$e < r < 5e$	3°	3°	5°
	$r > 5e$	4°	5°	7°
$e > 2$	$r \leq e$	0°	0°	2°
	$e < r < 5e$	1°	1°	3°
	$r > 5e$	2°	3°	5°

Teniendo en cuenta que nuestro material con un 0,10% de C se puede clasificar dentro de los aceros dulces, el espesor ($e=2$) y el radio interior ($r=8\text{mm}$). Utilizando las tablas 12 podemos obtener que el ángulo necesario para contrarrestar la recuperación elástica del material, en nuestro caso estimamos un ángulo de $2,5^\circ$. En este caso analizando las medidas del plegado se decide que no es necesario un rompe fibras.

Además esta matriz debe contar con los siguientes elementos:

1. Alojamiento para los elevadores de $\varnothing 14$.
2. Librados para el pilotaje y para el cuello abocardado.
3. Geometría de trabajo.
4. Amarres a la placa inferior para tornillo de M12.
5. Alojamientos para los posicionadores de forma cilíndrica de diámetro 12.



Fig. 48: Matriz de doblado.

Matriz de reposo.

Esta matriz la realizaremos en F-522 ya que no tiene mayores funciones de ayudar en el pilotaje y en la pisada para los dos pasos colindantes. Con geometría similar a la anterior pero con una décima menos en cada lateral para permitir el avance de la banda. Y asegura que la preforma se adapte a la matriz de punzonado donde rozara con ambas aletas.

Se le deben añadir las siguientes partes:

1. Alojamiento para los elevadores de $\varnothing 14$.
2. Librados para el pilotaje y para el cuello abocardado.
3. Amarres a la placa inferior para tornillo de M12.
4. Alojamientos para los posicionadores de forma cilíndrica de diámetro 12.

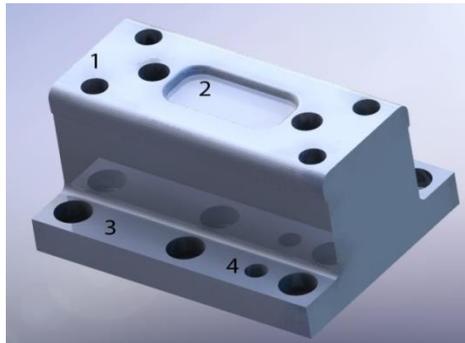


Fig. 49: Matriz de reposo.

Matriz de punzonado por carros.

Se realizará en F-522 con buterolas de corte de F-521 injertadas de forma simétrica en ambos laterales. Su geometría general será similar a la matriz de separado pero irá ajustada respecto a las embuticiones débiles donde se realizarán los cortes. En este paso se diseñan también las dos buterolas de corte por carro.

Esta matriz contará con las siguientes partes:

1. Alojamientos para el posicionamiento y el amarre de las buterolas.
2. Cajeras para el desalojo de los retales cortados.
3. Los alojamientos para los elevadores de $\varnothing 14$.
4. Los librados para el pilotaje y el cuello abocardado.
5. Amarres a la placa inferior para tornillo de M12.
6. Alojamientos para los posicionadores de forma cilíndrica de diámetro 12.

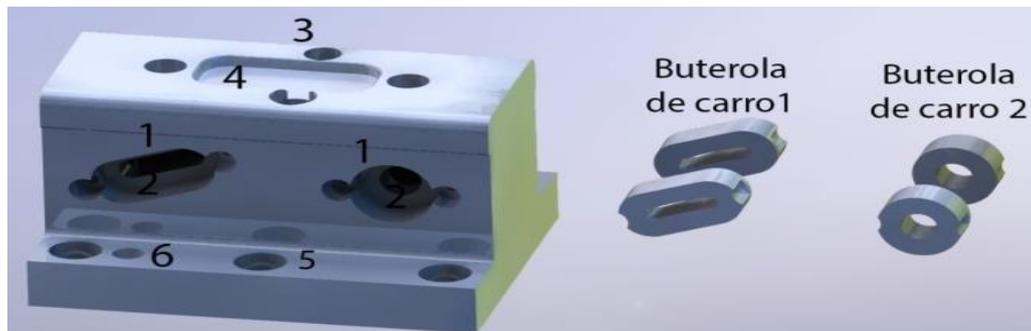


Fig. 50: Matriz de punzonado.

Matriz de separado larga.

Se realizará en F-522 con postizo de corte en F-521 para el corte de separado. La geometría se cierra en la zona superior del lateral para facilitar el avance. En este paso también se diseña la cuchilla de separado que irá en la matriz.

En esta matriz se debe añadir:

1. Alojamiento de la cuchilla de separado que se sujetarán con dos tornillos de M6.
2. Alojamiento para los elevadores de $\varnothing 14$.
3. Librados para el pilotaje y para el cuello abocardado.
4. Amarres a la placa inferior para tornillo de M12.
5. Alojamientos para los posicionadores de forma cilíndrica de diámetro 12.

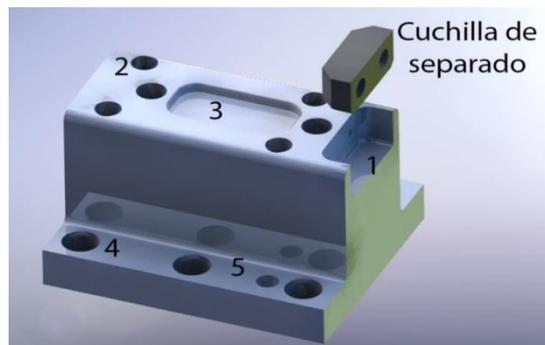


Fig. 51: Matriz de separado 1.

Matriz de separado corta.

Se realizará en F-522 con postizo de corte en F-521 para el separado de la pieza. Con geometría simétrica a la matriz de separado larga pero con ángulos de salida para facilitar la salida de pieza. En esta matriz también se debe tener en cuenta la posición de los elevadores para conseguir el efecto palanca deseado respecto a los expulsores del pisador.

Esta matriz contará con:

1. Alojamiento de la cuchilla de separado que se sujetarán con dos tornillos de M6.
2. Alojamiento para los elevadores de $\varnothing 14$.
3. Librados para el pilotaje y para el cuello abocardado.
4. Amarres a la placa inferior para tornillo de M12.
5. Alojamientos para los posicionadores de forma cilíndrica de diámetro 12.



Fig. 52: Matriz de separado 2.

Con esta matriz terminamos el diseño de las matrices de trabajo que tendrá nuestro troquel. Una vez concretado los elementos de trabajo directo, se deben diseñar los elementos secundarios que contiene la parte inferior del troquel.

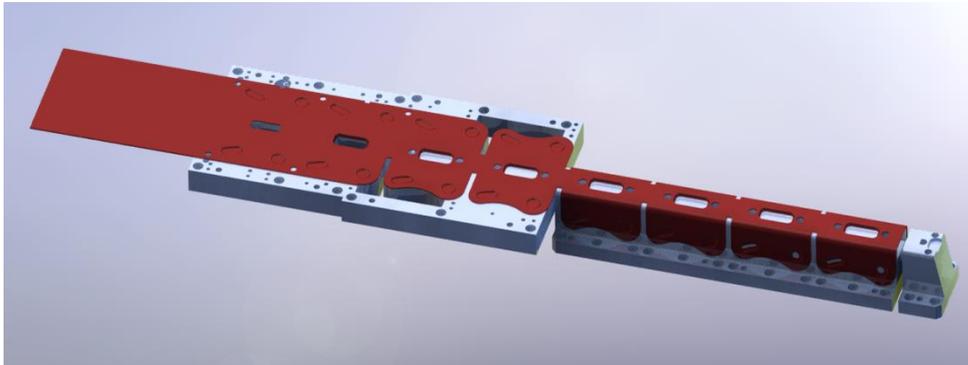


Fig. 53: Grupo matriz completo con banda.

4.31 b) Elementos de guiado y control de paso.

En nuestro caso se utilizarán guías laterales de F-522 para los primeros cuatro pasos del troquel y en los siguientes se centrará gracias al ajuste de la geometría de la pieza con las matrices.

Se diseñan las guías laterales teniendo en cuenta las medidas de las matrices y las zonas donde deben tener acceso los machos de corte, los punzones del pilotaje temporal y el punzón de paso. Posteriormente se diseña el sistema de gatillo incorporando también el alojamiento para el muelle de presión para asegurar un contacto constante con la banda durante el proceso.

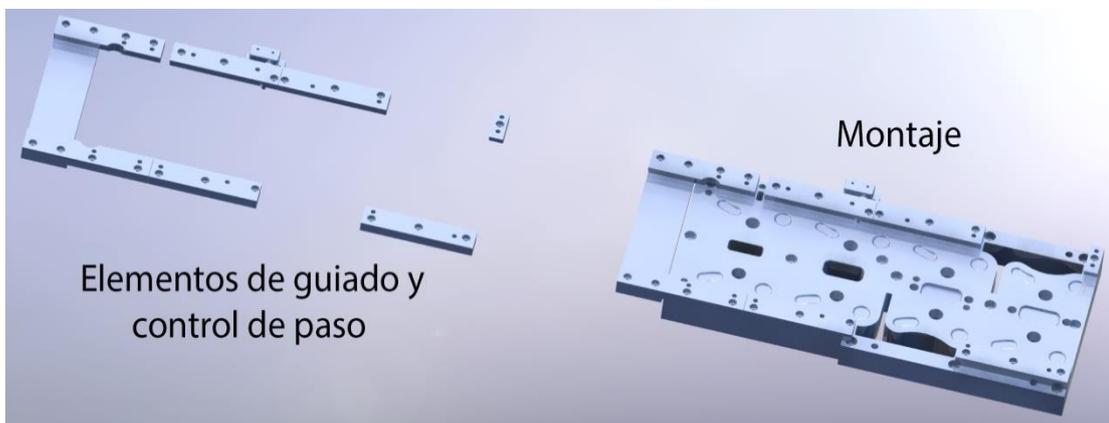


Fig. 54: Bandas de guiado.

Por último se coloca el soporte del detector mecánico. Se debe elegir un detector comercial con un tamaño, mecanismo y precio adecuado para nuestro troquel. Lo deberemos ajustar con respecto al corte realizado en la banda para el control de paso. Debe permitir su retroceso cuando la banda avance y la correcta detección una vez que llegue a la posición adecuada para el trabajo del troquel.

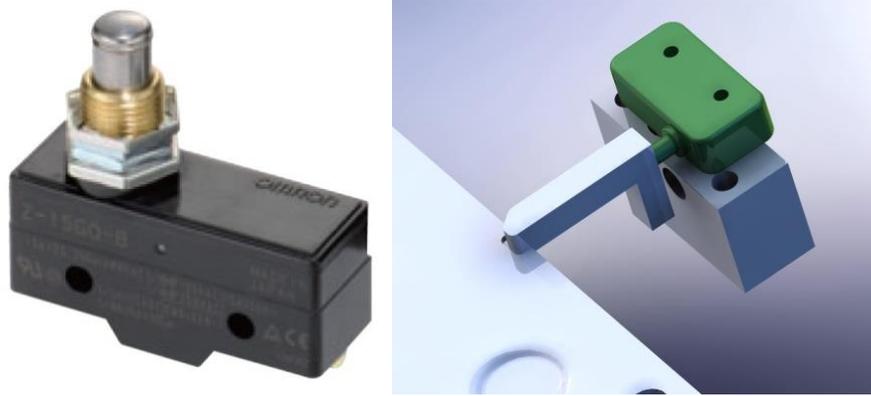


Fig. 55: Detector Omron Z-15GS-B(Anexo 4.7) y sistema de gatillo completo.

4.3.1.c) Carros de punzonado.

Por último se deben diseñar los carros de punzonado lateral. Estos carros los diseñaremos de forma simétrica. Por lo tanto nos centraremos en uno y lo copiaremos con simetría una vez acabado. En primer lugar se debe decidir los espesores que debe tener el conjunto se realiza un boceto de vista lateral del carro y se asignan los diferentes espesores pisador, porta, velas de retención, carro de empuje, cuña y tacón posterior. Estos espesores se deciden en función de: Geometría del modelo, tamaño de los nitrógenos de pisada y retroceso de carro, tamaño de las velas retención y geometría a cortar.

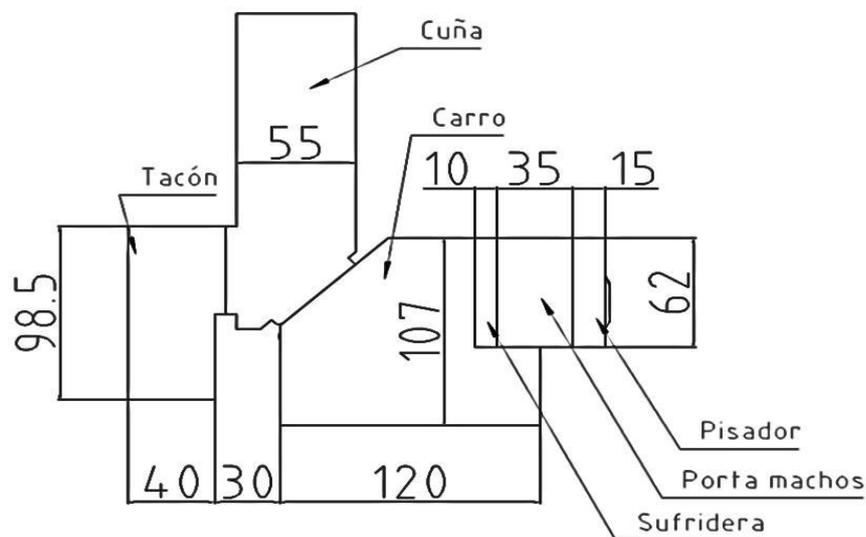


Fig. 56: Carro boceto de volúmenes.

Una vez tenemos claro los espesores y tamaños de los elementos a utilizar, definimos la posición que deben tener en el carro. Mediante un boceto perpendicular a la matriz comenzamos a dar volumen a los diferentes elementos. Los elementos que compondrán el carro y que se tendrán que diseñar teniendo en cuenta las interacciones entre ellos son los siguientes:

1. **Pisador:** Realizado en F-522 con un espesor de 15mm tendrá una zona de pisada que no se ajustará con la de la pieza para no guiar el punzonado y dejar que mande el pilotaje superior.
2. **Porta machos:** Fabricado en F-522 con un temple inferior y un espesor de 35 posicionará los machos y los casquillos de guiado.
3. **Sufridera:** También se fabricará en F-522 y un espesor de 10mm.
4. **Carro:** Se realizará en F-522 y tendrá como función la unión de los elementos de trabajo.
5. **Guías laterales:** Se fabricarán en F-111(Anexo 4.3) y realizarán el guiado del carro.
6. **Bronces de contacto:** Se usarán para que todos los rozamientos de este sistema sean de Bronce-F522 templado.
7. **Tacón:** Se realizará en F-111. Su función es la de ayudar a la cuña a aguantar la fuerza ejercida en la fase de trabajo por los nitrógenos de pisada y recorrido.
8. **Velas:** Fabricadas en F-522. Realizarán la transmisión de los nitrógenos al pisador y al mismo tiempo realizan el guiado del mismo.
9. **Macho 1:** Se fabricará en F-521 y tendrá la geometría del corte 1.
10. **Macho 2:** Se fabricará en F-521 y será de $\varnothing 14$.
11. **Nitrógeno 1:** Para realizar el esfuerzo de pisada se usarán dos K-200-7 Yellow que nos darán una fuerza máxima próxima a los 6000N superior a lo calculado previamente que sumaría 5200.68N para los dos perforados. Las características de los mismos se encuentran en el Anexo 3.3 Pagina 38.
12. **Nitrógeno 2:** En este caso sin cálculos previos elegiremos dos CN 150-25 Yellow que nos ofrecerán una fuerza máxima próxima a los 3600N que nos asegurará un correcto retroceso del carro. Las características de los mismos se encuentran en el Anexo 3.3 Pagina 46.
13. **Casquillos:** Se usarán dos XM 098 D15 x 27 de bronce al aluminio. Las características de los mismos se encuentran en el Anexo 3.1 Pagina 15.
14. **Limitadores:** Para sujetar el pisador se usarán dos limitadores comerciales de M10 x 20. Las características de los mismos se encuentran en el Anexo 3.1 Pagina 30.

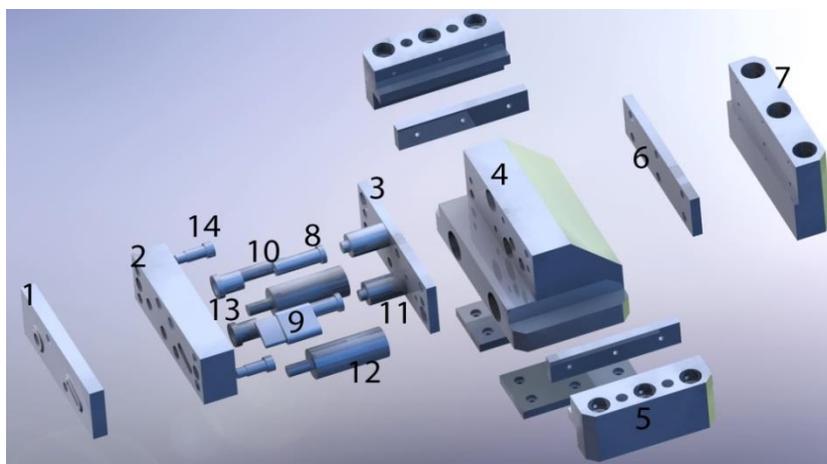


Fig. 57: Carro explosionado.

4.3.1.d) Placa inferior y porta matrices.

Una vez tenemos todos los elementos de trabajo directo sobre la banda diseñados pasamos a definir el aspecto de la placa inferior y al mismo tiempo el porta matrices delantero que se realizarán en St52.

En estas piezas se deben añadir los siguientes elementos:

1. En primer lugar se realizan las uniones entre porta matrices y placa.
2. Salidas de chatarra.
3. Cajeras de posicionamiento para los diferentes elementos que deben ir integrado en la parte inferior.
4. Cajeras para introducir las diferentes sufrideras de las buterolas.
5. Amarres y posicionadores de las matrices.
6. Alojamientos de los muelles de elevación.

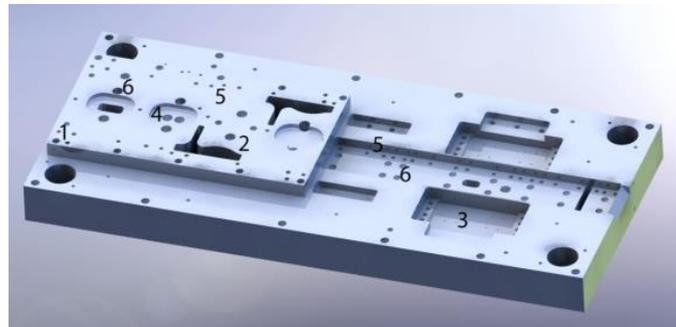


Fig. 58: Porta matrices y placa inferior.

En este momento dejamos aparcado la parte inferior a falta de definir los tacónes de doblado que se diseñarán junto con los machos de doblado en la parte superior. También se pospone el diseño de los topes de cierre y pisada, junto con el encolumnado para realizarlos una vez que tengamos las dos partes acabadas.

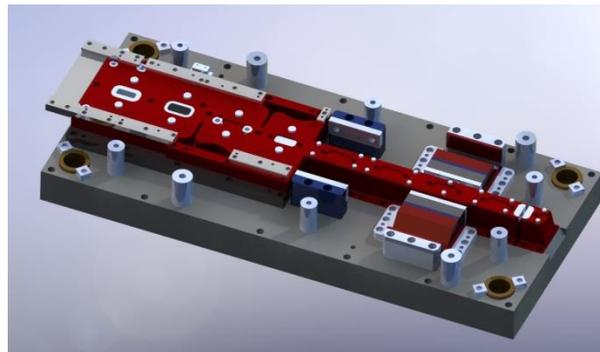


Fig. 59: Parte inferior.

4.3.2 Parte superior.

Para diseñar la parte superior, debemos guiarnos no sólo de la banda sino que debemos tener en cuenta las diferentes interacciones entre ambas partes. El diseño de esta parte también se realiza de dentro hacia afuera, empezando el grupo de supepizas que estará en contacto directo con la banda hasta la placa superior que unirá todos los elementos de la parte superior.

4.3.2. a) Conjunto de suplepisas.

Estos elementos tienen la función principal de realizar la pisada de la banda aunque pueden cumplir otras funciones como el acompañamiento en diferentes estampas, el guiado a punzones demasiado esbeltos que puedan pandear en el corte y el calibrado de zonas importantes del modelo. Estos suplepisas se realizarán en F-522 con un tratamiento térmico de temple y revenido para alcanzar una dureza entre 54/56 Hrc. De esta manera podremos complementar una buena tenacidad con una dureza suficiente para soportar el desgaste.

En primer lugar se definen los volúmenes generales del conjunto de suplepisas, con ayuda de la parte inferior. El diseño de este volumen general será aquel que nos permita pisar la mayor área de la banda, pero evitando interferencias con el resto de los elementos que compondrán la parte inferior. Una vez que tenemos la forma general del conjunto de suplepisas, se realizará un separado en piezas más pequeñas para evitar grandes deformaciones durante el proceso de templado, mejorar el montaje y el mantenimiento de los mismos.

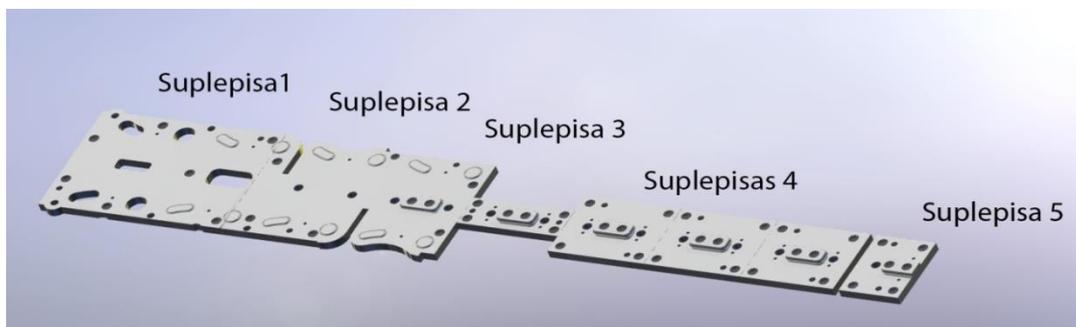


Fig. 60: Conjunto de suplepisas.

Estos suplepisas se realizarán en F-522 con un tratamiento térmico de temple y revenido para alcanzar una dureza entre 54/56 Hrc. De esta manera podremos complementar una buena tenacidad con una dureza suficiente para soportar el desgaste.

Una vez separados los diferentes suplepisas debemos incorporar los siguientes elementos a cada uno:

1. Librados para el paso de los diferentes machos y punzones.
2. Geometría de acompañamiento al pilotaje en la pisada.
3. Alojamiento para los pilotos.
4. Alojamiento para los despegadores.
5. Postizos de contraje en el abocardado central.
6. Alojamiento para los amarres y posicionamiento a la placa pisón.



Fig. 61: Ejemplo de suplepisa.

4.3.2.b) Placa pisón.

Una vez están definidos los diferentes suplepisas se puede dar forma a la placa pisón que los albergará. Esta placa fabricada en ST-52 que diseñaremos con un espesor de 45mm tiene como función agrupar el conjunto de suplepisas y posicionarlos correctamente mediante el sistema casquillo-columna a la placa superior. También soportará la fuerza de los nitrógenos de pisada y la reparte para una pisada uniforme por toda la banda.

En este paso se le debe añadir:

1. Las roscas de amarre y los alojamientos para los pasadores de posicionamiento.
2. Los alojamientos para los muelles de expulsión.
3. Los librados de los diferentes elementos de corte ya definidos.
4. Roscas para los limitadores.
5. Alojamiento de los casquillos de guiado.

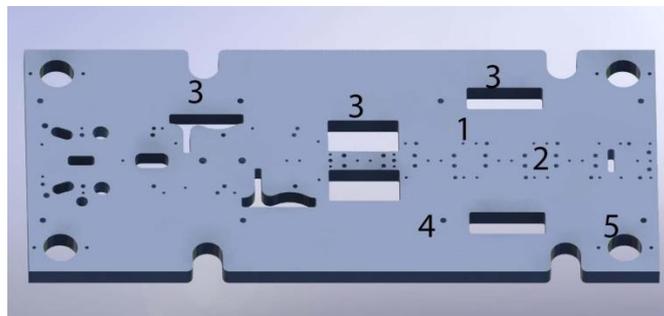


Fig. 62: Placa Pisón.

4.3.2.c) Machos y punzones de corte.

Ayudándonos de la banda, las buterolas y más matrices de corte podemos dar forma a los diferentes machos de corte, estampado y doblado. También podemos dar forma a los punzones de pilotaje temporal y el control de paso. La altura de estos elementos vendrá dada por los punzones que deberán tener una medida comercial para ofrecer la posibilidad obtener recambios fácilmente. En nuestro caso utilizaremos unas alturas que son:

1. **Punzones de pilotaje temporal $\phi 12.1$:** Fabricado en M2 con un temple de 62Hrc, las características de este material se pueden encontrar en el Anexo 4.4. También se le aplicará un recubrimiento de titanio, más concretamente se le aplicará TICN. Toda la información referente a este recubrimiento se recogen en el Anexo 4.5.
2. **Punzón de paso:** Fabricado en M2 con un temple de 62Hrc, se le aplicará un recubrimiento TICN.
3. **Macho de estampado 1:** Fabricado en F-521 con un temple de 60Hrc, se le aplicará un recubrimiento TICN.
4. **Macho de estampado 2:** Fabricado en F-521 con un temple de 60Hrc, se le aplicará un recubrimiento TICN.
5. **Macho de corte de ventana central:** Se fabricará en F-521 con una dureza de 60Hrc.
6. **Macho de abocardado:** Fabricado en F-521 con un temple de 60Hrc, se le aplicará un recubrimiento TICN.

7. **Punzones de corte central $\varnothing 15$:** Fabricado en M2 con un temple de 62Hrc, se le aplicará un recubrimiento TICN.
8. **Machos de corte exterior con tacón:** Se fabricará en F-521 con una dureza de 60Hrc. Deberá tener tacón para apoyarse en el interior de la matriz en la fase de trabajo.
9. **Machos de doblado:** Fabricado en F-521 con un temple de 60Hrc, se le aplicará un recubrimiento TICN.
10. **Macho de separado:** Se fabricará en F-521 con una dureza de 60Hrc.

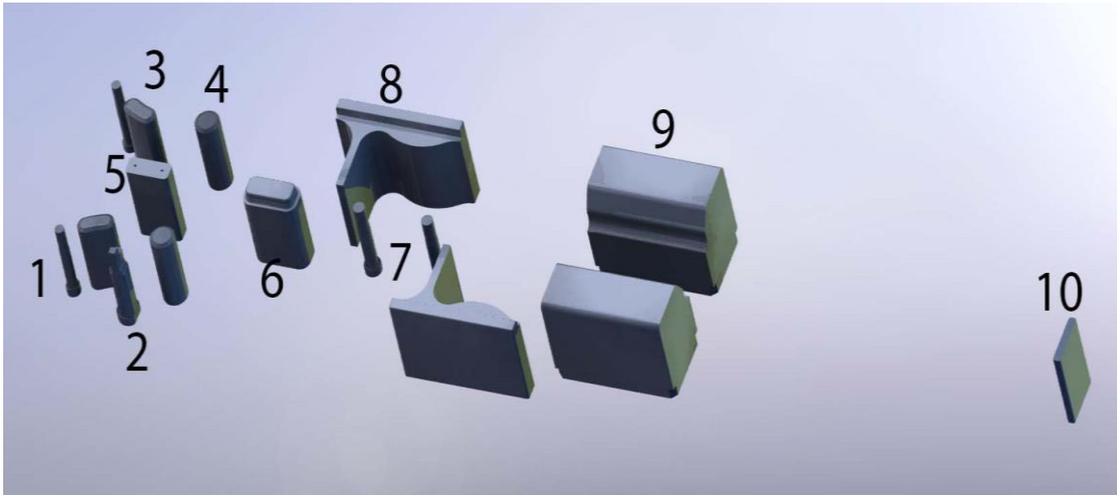


Fig. 63: Punzones y machos.

4.3.2.d) Porta machos.

Una vez que tengamos diseñados los elementos de accionamiento en banda se pueden diseñar los portamachos que los posicionarán en la placa superior. Los portamachos de corte se realizan en St-52 sin tratamiento térmico con un espesor de 42mm, mientras que el portamachos de doblado se realizará con un espesor de 55mm para contrarrestar la falta de sufridera.

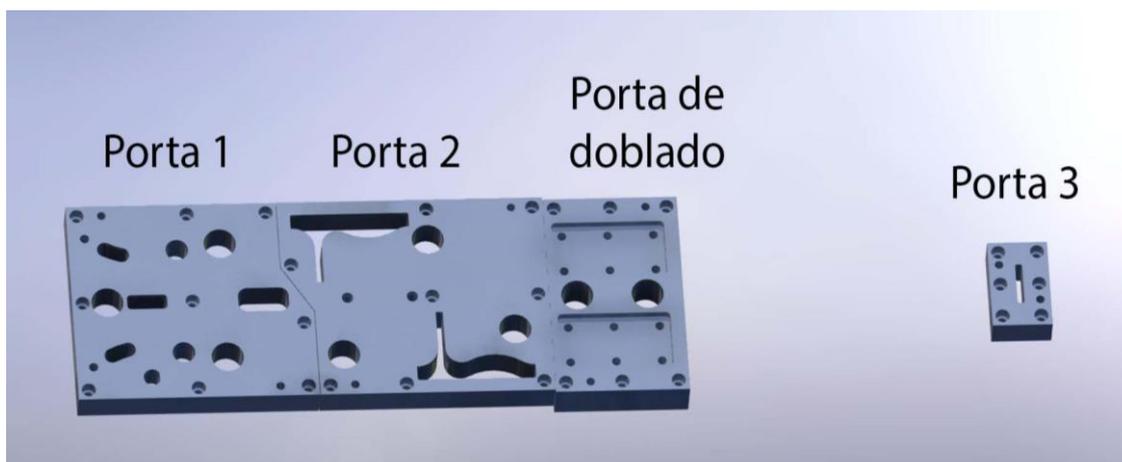


Fig. 64: Conjunto de portas.

Los portamachos deben contar con:

1. Alojamiento para el posicionamiento de los punzones y de los diferentes machos.

2. Alojamiento para los nitrógenos.
3. Alojamiento de los amarres a placas de M12.
4. Alojamiento para el posicionado $\varnothing 12$.

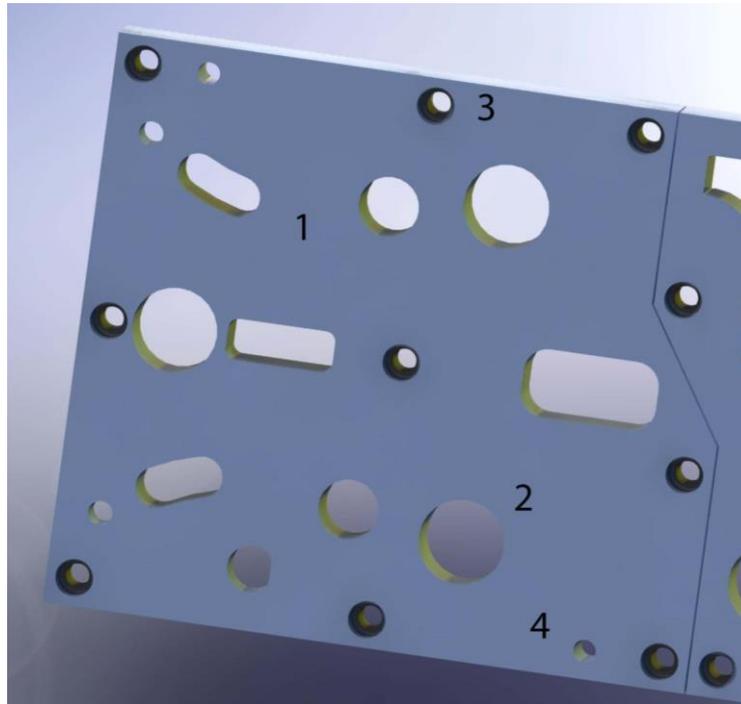


FIG. 65: Porta.

Una vez definidos los portamachos se deben hacer los librados necesario en la placa pisón para conseguir una contra estampa de cierre uniforme contra los diferentes porta machos, ya que si no cajeamos los de corte, no llegará a estampar el de doblado.

4.3.2.e) Sufrideras.

Estos elementos deben colocarse debajo de los portas para soportar la fuerza ejercida por los punzones y machos de corte en el proceso de trabajo. Se realizarán de F-522 y se les aplicará un tratamiento térmico de temple y revenido para dejarlo con una dureza de 56Hrc. Se realizarán tres sufrideras separadas con la misma geometría que los portas y 15mm de espesor.

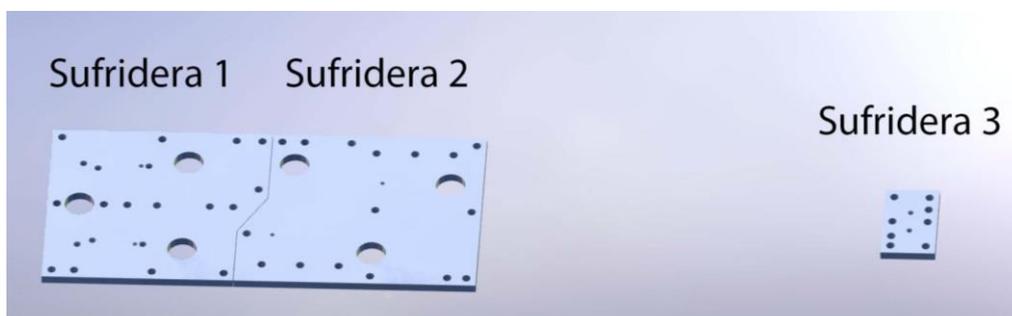


Fig. 66: Conjunto de sufrideras.

Los elementos a los que les debemos librar el paso son los siguientes:

1. Tornillos de sujeción de los machos.

2. Nitrógenos.
3. Tornillos de sujeción de los portamachos.
4. Pasadores de posicionamiento de los portamachos.

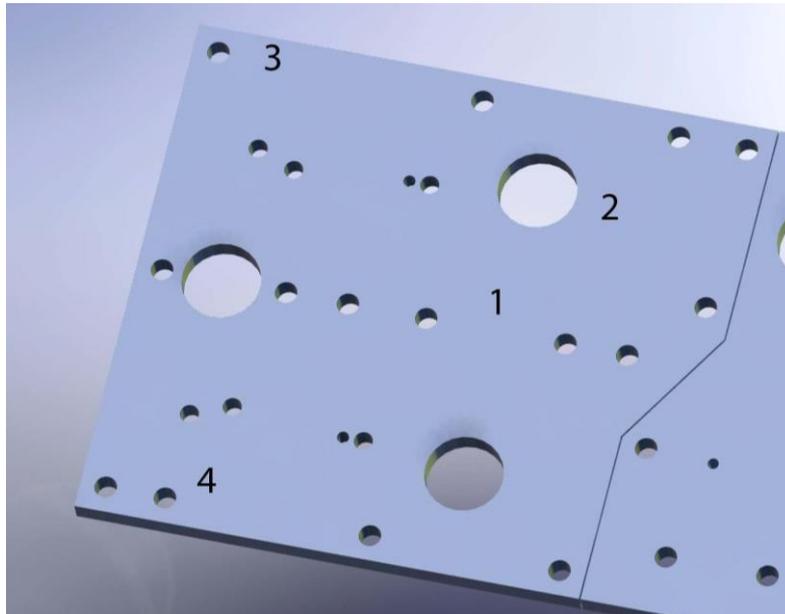


FIG. 67: sufridera.

4.3.2.f) Placa superior

La placa superior realizará la unión de todos los elementos y realizará el guiado con cuatro columnas de $\varnothing 63$. Es la placa más sencilla junto con la sobre placa y debe tener:

1. Cajeras de posicionamiento para las cuñas de accionamiento para el carro de punzonado.
2. Amarres y posicionadores de los portamachos.
3. Alojamiento de los nitrógenos de pisada general.
4. Alojamiento de los limitadores de sujeción de la placa pisón.
5. Alojamiento para encolumnado.

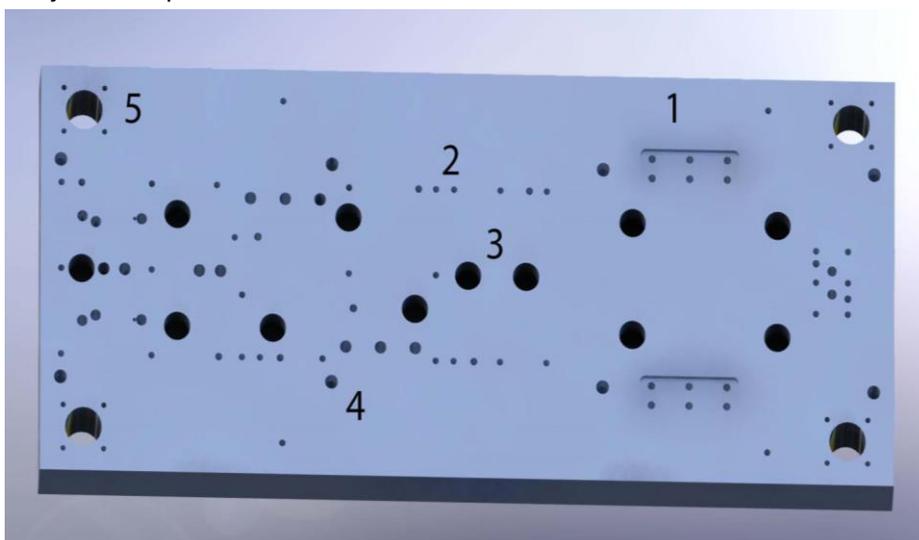


FIG. 68: Placa superior.

4.3.2.g) Sistema de pisada y soporte de la placa pisón.

Cuando ya hemos definido las formas generales de la parte superior, podemos elegir los nitrógenos y los limitadores que encajen en nuestro troquel. La medida de estos elementos vendrá dada por la geometría de la pieza. En el caso de piezas con sólo corte, el desarrollo necesario es pequeño alrededor de 7 mm más el espesor de la pieza, en el caso de piezas dobladas como la nuestra depende de la geometría de los machos de doblado. En nuestro caso los machos que necesitan mayor desarrollo para el doblado serán los machos de doblado de las alas exteriores.

Este desplazamiento será de 50mm, para este desarrollo y teniendo en cuenta que para los nitrógenos de matricería se recomienda dejar un 10% de desarrollo sin trabajar, decidimos usar unos KP 750-63 que con un desarrollo de 63mm nos ofrecen una fuerza de 11000N. Para conseguir una pisada más que suficiente montamos 12 repartidos por todo el troquel que nos ofrecerán una fuerza de pisada de 132.000N superior a lo calculado 113.735N. Las características de estos nitrógenos se encuentran en el Anexo 3.3 Página 106. También montamos 8 limitadores M16 x 120 para soportar el peso de la Placa pisón cuando el troquel este abierto. Las características de los mismos se encuentran en el Anexo 3.1 Pagina 30.

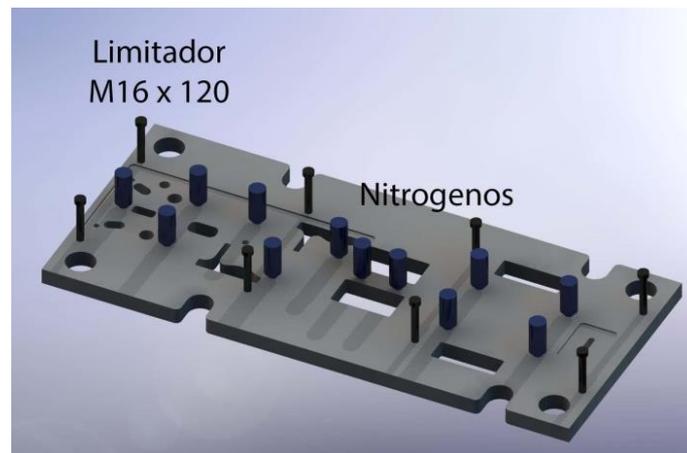


FIG. 69: Sistema de pisado.

4.3.2.h) Encolumnado.

Para el sistema de centraje de las dos partes, se montarán sistemas de encolumnado de casquillo en placa inferior, casquillo en la placa pisón y columna en la placa superior. En primer lugar decidimos el diámetro de la columna, en nuestro caso nos decantamos por cuatro columnas de diámetro 63. En este punto me gustaría resaltar que al contraje entre ambas, parte durante el proceso de trabajo no sólo depende del sistema columna-casquillo, sino que también se ayuda en gran medida de las interacciones de las diferentes partes de troquel (Tacones de machos-Matriz, Machos de doblado-Matriz de doblado...). Una vez decidido el diámetro de la columna, diseñamos los casquillos normalizados para la placa pisón y la placa inferior. Ambos casquillos se sujetarán en su lugar gracias a dos bridas por casquillo colocadas a 180°.

Es momento ahora de plantear la altura de las columnas, para ello se debe tener en cuenta que cuando el pisador empiece a trabajar las columnas deben estar guiados un 50% del espesor de la placa. Por lo tanto se montaran 4 columnas de 400mm de altura y diámetro 63.

Tabla 13: Elementos de Encolumnado (Anexo 3.2)		
	Elemento	Material-Norma
1	Casquillo auto lubricante G-307 $\phi 63$	Bronce al aluminio-Lubricación por grafito
2	Brida casquillos placa inferior G-403 $\phi 63$	C45
3	Casquillo auto lubricante G-309 $\phi 63$	Bronce al aluminio-Lubricación por grafito
4	Brida casquillos placa inferior G-402 t 10	C45
5	Columna de retención intermedia G-202 $\phi 63$	Acero de cementación (60-62Hrc)
6	Anillo de retención de columna G-405 $\phi 63$	
7	Brida retención de columna G-406 $\phi 63$	C45 (Pavonado negro)

Fuente: Elaboración propia.

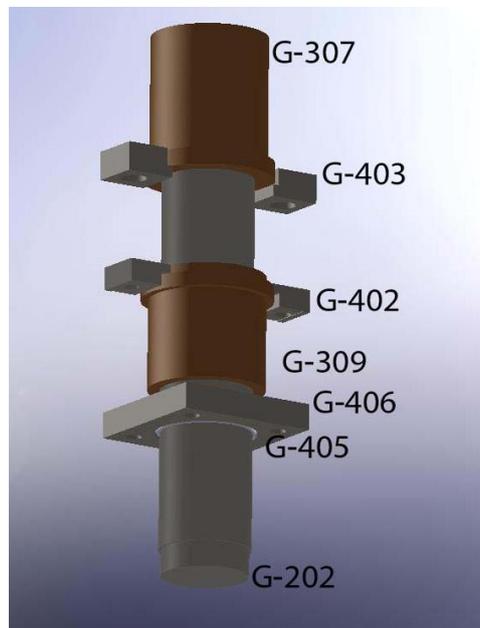


Fig. 70: Sistema de encolumnado.

4.1.4. Topes de cierre y de pisada.

Para terminar la parte central del troquel de deben incorporar dos tipos de topes diferentes:

1. **Topes de cierre:** Tienen como función mantener siempre una distancia mínima entre los elementos de trabajo superiores y las matrices. De esta manera aseguramos que no van a tener un contacto directo, ya que teniendo en cuenta el tratamiento de ambas produciría un estallamiento de ambos elementos. También nos permite ajustar correctamente el recorrido de la prensa. En nuestro caso montaremos 4 de forma simétrica en las placas inferior y superior, además deberemos liberar el paso por la placa pisón en su parte exterior para poder observar el contacto entre ambos topes. En nuestro caso serán de diámetro 60mm y una altura de 95mm cada uno.

2. **Topes de compensación de pisada:** Nos permiten realizar una pisada más uniforme y segura de la placa pisón sobre las matrices y la banda. Montaremos seis de diámetro 50mm por 97mm de altura en la placa inferior repartidos uniformemente.

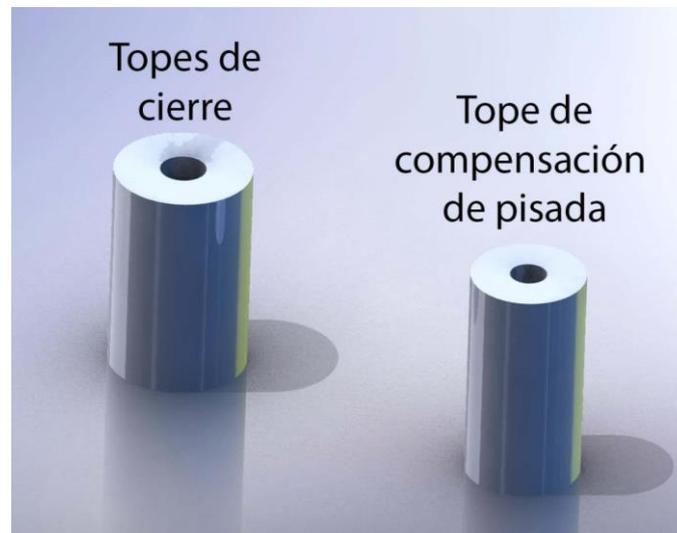


Fig. 71: Topes de cierre.

4.3.3. Pies y sobre placa.

Las principales funciones de estos elementos son unir el troquel a la prensa y adaptar el troquel a las alturas requeridas en las especificaciones del proyecto. En nuestro caso como la evacuación de los retales, se realizará por gravedad mediante la oquedad central de la base de la prensa. Se deberá diseñar los pies asegurando el correcto guiado de los retales hasta la misma.

Para la composición de estos elementos usaremos placas de ST-52 con un espesor de 50mm cortadas por oxicorte. En primer lugar deberemos calcular las medidas generales para conseguir el cierre requerido, elegir elegiremos un cierre que permita usarlo en diferentes desarrollos. En nuestro caso elegiremos una altura de 640mm por lo tanto teniendo en cuenta que la sobre placa es de 50mm y el conjunto central tiene una altura de 390mm. Podemos concluir que nuestros pies deberán tener una altura total de 200mm.

Es el momento de calcular el centro de gravedad de las fuerzas generadas en la prensa para diseñar correctamente los alojamientos de los pernos de posicionamiento, las ranuras para alojar los tornillos de amarre a la misma y para diseñar las bandejas de guiado de los retales en la parte inferior.

4.3.3.a) Cálculos de centro de gravedad.

Para realizar este análisis se debe calcular la posición tanto en X como en Y del eje de fuerza de los diferentes machos y los diferentes nitros repartidos por el troquel. Para ello realizamos un análisis de centro de gravedad de cada uno de ellos con ayuda de un programa de CAD. Realizamos una tabla Excel combinando estos datos con los resultados de los cálculos previos del troquel.

$$\sum F_R \cdot cdf_x = F_T \cdot x$$

$F_R =$ Fuerza realizada.

$cdf_x =$ Centro de fuerzas de cada punzon en el eje x.

$F_T =$ Fuerza total.

$X =$ Posicion en el eje X del centro de fuerza.

$$\sum F_R \cdot cdf_Y = F_T \cdot Y$$

$F_R =$ Fuerza realizada.

$cdf_Y =$ Centro de fuerzas de cada punzon en el eje Y.

$F_T =$ Fuerza total.

$Y =$ Posicion en el eje Y del centro de fuerza.

Tabla 14: Calculo de centro de gravedad. (Anexo 5.3)			
Ref:	Posición en X (mm)	Posición en Y (mm)	Fuerza (N)
1	45,00	427,00	32.004,00
2	45,00	223,00	32.004,00
3	84,06	404,76	22.004,26
4	71,00	325,00	11.000,00
5	84,06	245,24	22.004,26
6	127,50	445,00	15.355,00
7	127,50	325,00	123.463,20
8	174,50	406,35	17.890,13
9	174,50	243,66	17.890,13
10	236,00	415,00	11.000,00
11	236,00	235,00	11.000,00
12	292,50	325,00	15.677,86
13	421,99	245,31	270.177,60
14	411,50	325,00	39.580,80
15	401,00	415,00	11.000,00
16	503,50	325,00	39.580,80
17	531,00	235,00	11.000,00
18	586,99	404,69	270.177,60
19	646,00	380,00	11.000,00
20	737,50	325,00	11.000,00
21	837,50	325,00	11.000,00
22	787,50	397,50	16.533,33
23	787,50	252,50	16.533,33
24	1.021,00	415,00	11.000,00
25	1.021,00	235,00	11.000,00
26	1.271,00	415,00	11.000,00
27	1.271,00	235,00	11.000,00
28	1.119,50	507,50	94.558,60
29	1.119,50	142,50	94.558,60
30	1.365,00	325,00	87.360,00
Total:	582,64	326,80	1.359.353,50

Fuente: Elaboración propia.

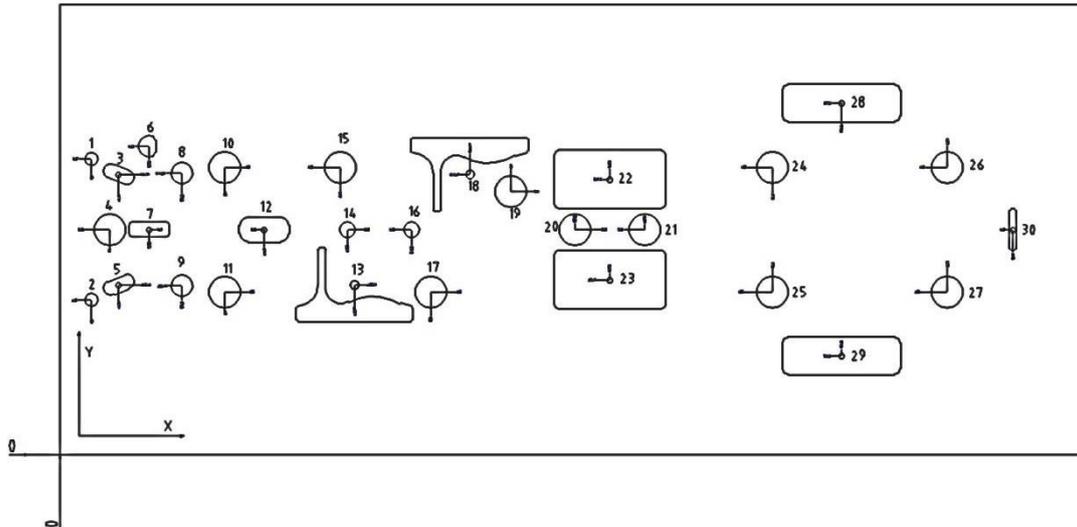


Fig. 72: Croquis de fuerzas.

Una vez que contamos con la información necesaria para el correcto diseño de ambos elementos podemos terminar el diseño del troquel.

4.4.3.b) Sobre placa.

Con una anchura que sobrepasa la de la placa superior en 75mm por lado para alojar las ranura de posicionamiento y una longitud similar a la misma. Este elemento tiene la función principal de unir la parte superior del troquel al carro de la prensa. Deberá tener los siguientes elementos:

1. Ranuras de amarre a prensa que deberán ser dibujadas usando el plano de la prensa y teniendo en cuenta el centro de gravedad que se ha calculado anteriormente.
2. Los orificios para soltar los limitadores.
3. Los orificios para el desmontado de los machos.
4. Los alojamientos para los tornillos de M14 que la unen a la placa superior.

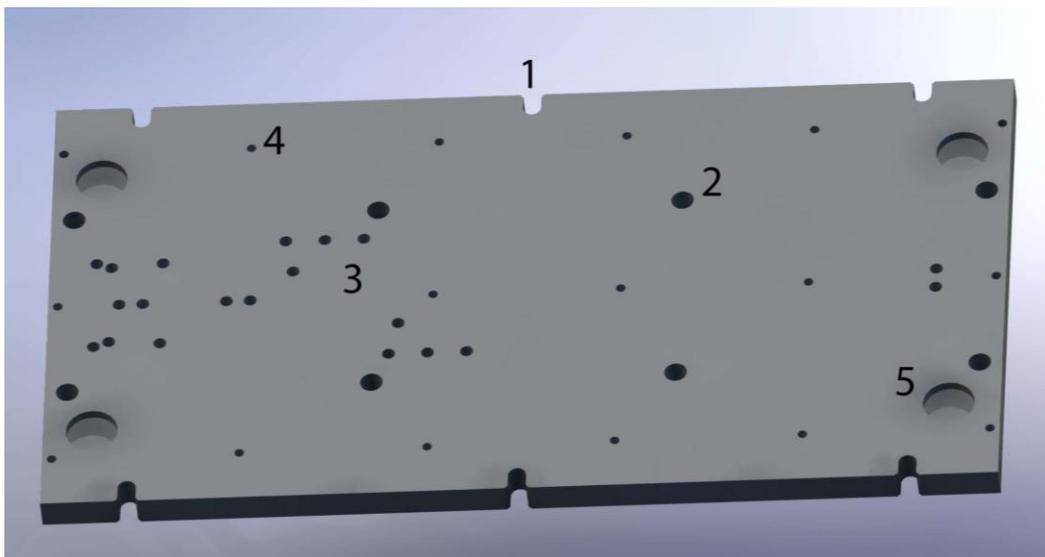


FIG. 73: Sobreplaca.

4.4.3.c) Pies.

La base será igual que la sobre placa pero se le dará una demasía a la longitud para un correcto soldado. Para la colocación de los nervios verticales se debe tener e en cuenta los siguientes factores:

- Fuerzas desarrolladas en el troquel.
- Salida de retales.
- Posibilidad de amarre y posicionamiento a la placa inferior.

Una vez diseñado las formas generales se debe realizar las siguientes operaciones:

1. Rampas de salida de retales.
2. Amarre y posicionamiento a la placa inferior.
3. Amarre y posicionamiento a la prensa.
4. Oquedades en la base para salida de retales.

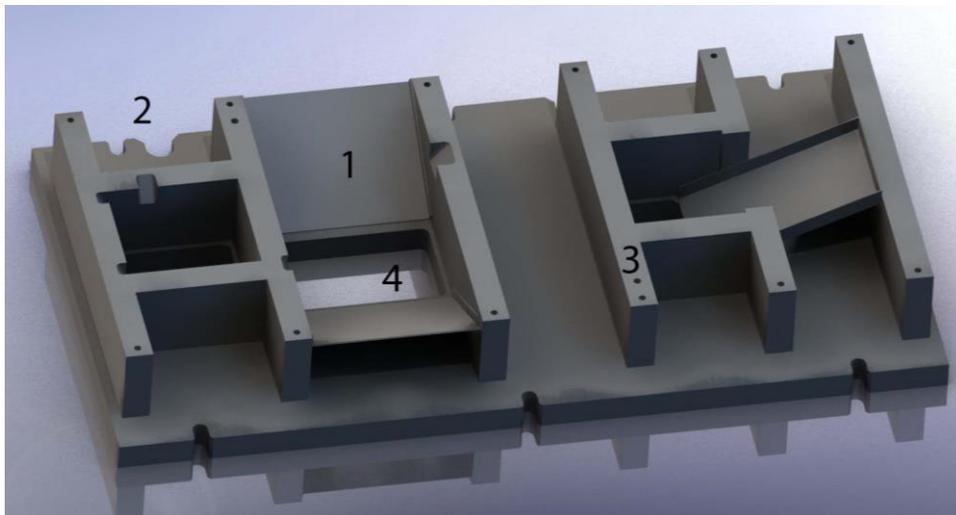


Fig. 74: Pies.

5. DOCUMENTACIÓN PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN Y AJUSTE.

Para la correcta fabricación del troquel, se deben desarrollar una serie de documento que ayuden y organicen los diferentes procesos de ejecución del proyecto.

5.1 Planos. (Anexo 1.1)

En primer lugar, se realizarán los planos de las piezas fabricar. Estos planos serán para una utilización interna en la fabricación del troquel. Deben reflejar todas las medidas necesarias para la fabricación de la pieza. En el desarrollo de estos planos, se debe tener como punto central los diferentes procesos que se deben realizar utilizando el conjunto de máquinas de las que disponemos, hasta dar la forma final a cada una de las piezas. No sólo debemos conocer el tipo de máquina, sino que también tendremos que tener en cuenta otros parámetros como son las holguras o desgastes de la máquina que nos dará las tolerancias que puede ofrecer en el mecanizado, el tipo de programación del procesador, los tipos de herramientas con las que se cuentan en la empresa y en pequeñas troquelarías, se podría decir que también se debe tener en cuenta la manera de trabajar del operario que la maneja.

Teniendo en cuenta los procesos por los cuales se dará forma a cada una de las piezas, se utiliza un estilo de acotación característico que busca disminuir la posibilidad de errores en la fabricación. A continuación explicamos algunos cambios respecto a la acotación normalizada y los motivos por los que se dan:

1. En estos planos, debido a la geometría de las piezas, se le da gran importancia al alzado de la pieza en donde se incorporará la mayoría de la información.
2. No se dibujarán los ejes para no sobrecargar demasiado los planos, siempre se contará con las vistas necesarias para que no exista posibilidad de error por este motivo.
3. En este tipo de mecanizados se utiliza en gran medida programas de CAD-CAM para mecanizar barridos de zonas de trabajo, por lo tanto para evitar que los operarios que deben preparar la pieza anteriormente mecanicen estas zonas que se deban reservar, no se acotarán este tipo de geometría. Solamente se acotarán las medidas generales de la pieza para poder cortar el material adecuado y cantearlo a las medidas exteriores adecuadas. También se introducirán algunas cotas para que el operario pueda controlar si el barrido se ha realizado correctamente.

Ejemplo: En el caso de la matriz de doblado no se acotarán la geometría de trabajo situado en las esquinas superiores, pero se acotará la altura total para cortar el material, los taladros que se realizarán en fresadora de forma manual y la anchura de la pieza en las esquinas superiores de trabajo para el control del operario en máquina.

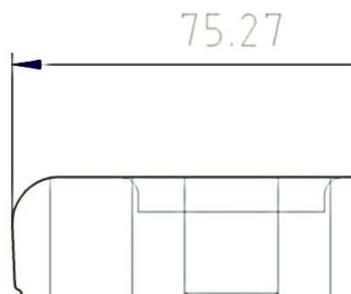


FIG. 75: Ejemplo matriz de doblado.

4. Teniendo en cuenta que a la mayoría de las piezas se le deberán realizar diferentes procesos en fresadora, se hace esencial la utilización de acotación por coordenadas, ya que en este tipo de máquina se realiza una programación por coordenadas para realizar las cajeras simples y los taladros.
5. Para señalar el número y tipo de taladros a realizar en cada pieza, se usará una anotación donde se indiquen los siguientes parámetros necesarios en la programación:
 - a. Número de elementos en toda la pieza.
 - b. Medidas de geometría y de altura de cada elemento.
 - c. Calidad de tolerancia geométrica para el caso de alojamiento para posicionadores.
 - d. En el caso de alojar elementos comerciales se señalará para permitir el ajuste en máquina durante el proceso de mecanizado. De esta manera aseguramos un ajuste perfecto independiente de las variaciones de medida, de los diferentes elementos.

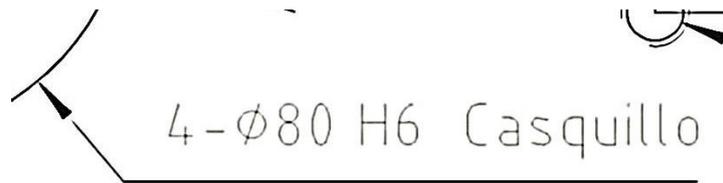


FIG. 76: Ejemplo Directriz De Taladro.

Para evitar errores, se diseñarán las piezas para que todos los elementos con la misma geometría tengan una medidas iguales, en el caso de que no se pueda se deberá dejar claro cuáles son de cada tipo. Por ejemplo todas las matrices se sujetarán con tornillos M12 y posicionadores de $\varnothing 12$.

6. En el caso de las geometrías cortadas por electroerosión por hilo, esencialmente localizadas en los machos, los suplepisas y las matrices de corte no se acotarán esta geometría a excepción de las medidas generales de los machos, para poder hacernos una idea del tamaño de los mismos. Esta geometría no es necesario acotarla ya que en primer lugar no se definirá hasta después de las pruebas de ajuste del desarrollo donde se definirá la geometría de corte correcta. Tampoco se hace necesario ya que estas máquinas de electroerosión trabajan usando las polilíneas sacadas directamente del dibujo.
7. Tampoco se acotarán las geometrías que se pedirán hechas en los formatos oxicortados para no sobrecargar el plano con cotas inútiles.
8. Se indicarán en una lista al margen de las diferentes tolerancias específicas y generales de la pieza.
9. También se señalarán los filos de corte, para conseguir un mayor cuidado con estas zonas, en donde si se realiza el mínimo chaflán o si por falta de cuidado en la manipulación se realiza algún tipo de muesca tendrán consecuencias fatales en el funcionamiento del elemento. Estos defectos pueden hacer incluso que se tenga que repetir el elemento en el peor de los casos. Pudiendo tener solución si se realiza un aporte de material y un posterior remecanizado.
10. También se señalarán las zonas de trabajo en los procesos de deformación. Esto tendrá gran importancia en el proceso de pulido donde se trabajará en especial en estas zonas. Este pulido será un factor fundamental para evitar posibles gripados o defectos de arrastre en el producto final. También toma gran importancia para conseguir una correcta adhesión de los recubrimientos de TICN.

Estos planos recogerán los siguientes datos internos de la pieza:

- **Número de referencia:** Cada pieza tendrá un número que servirá no sólo para el montaje sino que ayudará en la fabricación de repuestos.
- **Denominación de la pieza:** Nos debe permitir localizar rápidamente su posición y su función en el troquel.
- **Nombre del proyecto:** Denominación del proyecto en general.
- **Escala de dibujo:** Nos permite comprender la relación de la pieza real frente a la representada en el plano.

- **Número de plano:** Facilita la organización de los planos.
- **Fecha de dibujo:** Para organizar posibles modificaciones.
- **El nombre del diseñador:** Nos permitirá resolver posibles dudas de fabricación y ajuste directamente con el diseñador del troquel.
- **Cantidad:** Número de piezas a fabricar.
- **Material:** Material utilizado para la fabricación.
- **Tratamiento:** De esta manera reflejamos los diferentes tratamientos térmicos o de recubrimiento que debemos aplicar en la pieza.
- **Logotipo de la entidad.**

Nº Plano 85	Cantidad 24	Material Comercial XM046 D5	Tratamiento 950 HV 0.3		
Diseñado por I. Agreda Sola	Nombre del proyecto Troquel progresivo		Fecha 12-6-15	Escala 2:1	E.T.S. de ingeniería industrial, Informática y de telecomunicación.
Nº de ref: 83		Subconjunto/Pieza Epulsor normal		Lámina 1/1	
				Edición 1	

FIG. 77: Cajetín de planos.

Posteriormente se realizarán los planos de conjunto que se podrán usar tanto para el montaje como para el mantenimiento del troquel, se adjuntarán en el Anexo 1.2. Estos planos permitirán en un futuro un rápido reconocimiento del elemento roto o desgastado que se desea reponer. El troquel estará explosionado para permitir localizar los componentes ocultos, pero también se añadirá una vista del conjunto cerrado para observar la forma final que deberá tener. La tabla de despiece incorporada nos ofrecerá la siguiente información:

- **Referencia de cada pieza.**
- **Cantidad.**
- **Nombre.**
- **Descripción.**
- **Material.**
- **Tratamiento que se le debe aplicar a cada una.**

5.2 Pedidos. (Anexo 5.2)

La última documentación serán los pedidos que por otro lado darán lugar el comienzo a la fabricación del troquel propiamente dicho. Normalmente en el propio centro se contarán con un pequeño almacén de material que nos permita la fabricación de pequeñas piezas con una geometría muy similar en los troqueles como pueden ser, las guías de banda, los gatillos, los diferentes soportes... Para el resto del material se deben suministrar externamente. Dentro de los pedidos se pueden separar dependiendo del suministrador en:

5.2.1. Oxicorte.

Para los elementos de ST52 con unas tolerancias geométricas que permitan su corte para este método. Se realizará mediante un plano Dxf con los formatos que necesitamos principalmente con la geometría exterior, también se adjuntará una tabla donde informaremos de el espesor necesario y la cantidad. Deberemos tener en cuenta la mala tolerancia de acabado de este tipo de corte, no se debe usar para zonas importante sino que sólo lo usaremos para caras que no tengan ningún requerimiento de forma ni de apoyo. En el diseño de los formatos del pedido se debe tener en cuenta algunas limitaciones que no permiten cortar aberturas de anchura inferior al 10% del espesor y que en valores cercanos a esta relación se obtendrán tolerancias superficiales mayores pudiendo llegar a ser de varios milímetros.

Tabla 15: Pedido de oxicortes.		
Posición	Material	Espesor(mm)
1	St52	110
2	St52	95
4	St52	50
5	St52	45
6	St52	50
6.1	St52	50
6.2	St52	50
6.3	St52	50
6.4	St52	50
6.5	St52	50

Fuente: Elaboración propia.

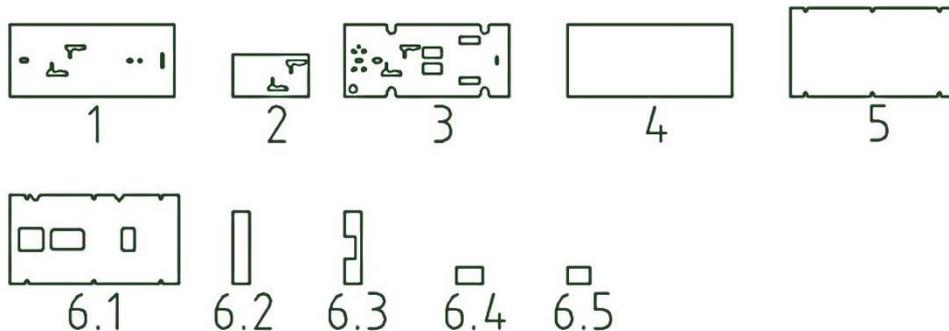


FIG. 78: Dxf pedido oxicorte. (Anexo 1.4)

5.2.2 Aceros.

Para el material necesario para las grandes piezas como pueden ser las matrices o los sulepisas, debemos realizar un pedido específico a un suministrador de aceros. Debemos tener en cuenta las demasías necesarias para el mecanizado. Normalmente las demasías para el F-521 será de 3mm mínimo por lado, en el caso del F-522 se dará 3mm para piezas pequeñas y 5mm para piezas grandes o muy esbeltas que pueden sufrir deformaciones durante el tratamiento térmico. En el caso de las piezas cortadas por electroerosión por hilo deberán tener una demasía en anchura y largura de 15mm mínimo.

Tabla 16: Pedido de material.						
Tabla propia						
Denominación	Tabla proveedor					
	Material	REF	Cantidad	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)
Matriz 2	F-521	10	1	377,5	326,0	42,0
Matriz de doblado	F-521	11	1	170,0	132,0	105,0
Cuchilla de separado	F-521	21	2	56,0	19,5	25,0
Buterola carro 1	F-521	33	2	47,0	33,0	15,0
Buterola carro 2	F-521	34	2	32,0	32,0	15,0
Punzón carro 1	F-521	36	2	36,8	12,0	57,0
B. de abocardado	F-521	45	1	94,5	59,5	42,0
B. ventana central	F-521	46	1	94,5	59,5	42,0
B. control de paso	F-521	47	1	35,0	30,0	30,0
Buterola d15,3	F-521	48	2	30,0	30,0	30,0
Buterola d12,4	F-521	49	2	25,0	25,0	30,0
Achaflanador	F-521	54	1	80,0	45,0	38,5
Macho de separado	F-521	76	1	61,0	10,0	100,0
Macho de estampado 1	F-521	77	2	45,1	31,0	95,0
Macho corte ventana	F-521	78	1	57,1	22,1	100,0
Abocardador	F-521	80	1	72,0	37,0	105,0
Macho de corte exterior	F-521	81	2	168,0	107,2	110,0
Macho doblado	F-521	82	2	160,0	85,0	117,0
Matriz 1	F-522	9	1	344,0	304,0	42,0
Matriz de reposo	F-522	12	1	165,0	132,0	105,0
Matriz de punzonado	F-522	13	1	170,0	132,0	105,0
Matriz de separado 1	F-522	14	1	156,5	132,0	105,0
Matriz de separado 2	F-522	15	1	81,5	132,0	105,0
Sufridera buterola 1	F-522	17	1	120,0	85,5	12,0
Sufridera buterola 2	F-522	18	1	120,5	85,5	15,0
Sufridera buterola 3	F-522	19	1	120,5	85,5	12,0
Carro de punzonado	F-522	22	2	214,0	120,0	107,0
Sufridera de Punzonado.	F-522	26	2	174,0	62,0	10,0
Porta de punzonado	F-522	27	2	174,0	62,0	35,0
Pisador de punzonado	F-522	28	2	174,0	62,0	17,0
Postizo de acero	F-522	31	2	170,0	50,0	10,0
Banda 1	F-522	38	1	188,5	39,5	34,0
Banda 2	F-522	39	2	181,0	42,0	16,0
Banda 3	F-522	40	1	212,5	42,0	16,0
Banda 4	F-522	41	1	179,5	42,0	16,0
Banda 5	F-522	42	1	182,0	42,0	16,0
Banda 6	F-522	43	1	59,0	23,0	16,0
Gatillo	F-522	50	1	50,0	30,0	10,0

Elevador 3	F-522	57	1	76,0	41,0	47,0
Suplepisa 1	F-522	58	1	312,8	109,5	17,0
Suplepisa 2	F-522	59	1	362,8	224,0	17,0
Suplepisa 3	F-522	60	1	172,5	59,0	15,0
Suplepisa 4	F-522	61	3	164,5	129,0	15,0
Suplepisa 5	F-522	62	1	101,5	129,0	15,0
Postizo suplepisa 1	F-522	63	1	72,0	37,0	20,0
Postizo suplepisa 2	F-522	64	4	72,0	37,0	21,0
Postizo suplepisa 3	F-522	65	1	60,0	37,0	21,0
Sufridera 1	F-522	70	1	342,0	306,0	15,0
Sufridera 2	F-522	71	1	377,0	306,0	15,0
Sufridera 3	F-522	72	1	131,0	85,0	15,0
Tacón de doblado	F 111	16	2	160,0	114,0	50,0
Guía lateral	F 111	23	4	135,0	62,0	49,5
Tacón de punzonado	F 111	24	2	170,0	99,0	40,0
Cuña	F 111	25	2	170,0	55,0	180,0
Bandeja de entrada	F-111	44	1	304,0	77,0	8,0
Porta detector	F-111	51	1	65,0	25,0	35,0
Porta 1	F-111	66	1	342,0	306,0	38,0
Porta 2	F-111	67	1	377,0	306,0	38,0
Porta 3	F-111	68	1	131,0	85,0	38,0
Porta doblado	F-111	69	1	306,0	190,0	48,0
Bronce de doblado	Bronce	20	2	160,0	50,0	20,0
Bronce punzonado 1	Bronce	29	4	135,0	28,0	10,0
Bronce punzonado 2	Bronce	30	2	170,0	50,0	10,0
Bronce punzonado 3	Bronce	32	4	120,0	60,0	10,0

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Elementos comerciales.

Los diferentes elementos comerciales, los pediremos a una ferretería especializada que tenga suministros de los diferentes elementos que necesitamos para el montaje en nuestro troquel. Debemos realizar un pedido indicando la denominación de cada elemento y el número de unidades necesarias.

Tabla 17: Pedido de elementos comerciales.		
Elemento	Cantidad	Material-Norma
G-307 ø63	4	Bronce al aluminio-Lubricación por grafito
G-403 ø63	8	C45
G-309 ø63	4	Bronce al aluminio-Lubricación por grafito
G-402 t 10	8	C45
G-202 ø63	4	Acero de cementación (60-62Hrc)
G-405 ø63	4	
G-406 ø63	4	C45 (Pavonado negro)
XM194 ø25x32	8	ISO 10243
XM194 ø16x32	16	ISO 10243
Z-15GS-B	1	Omron
Z-200-13 Yellow	2	Nitrogas
K-200-7 Yellow	4	Nitrogas
CN 150-25 Yellow	4	Nitrogas
Limitador M10 x 20	4	Acero de alta resistencia (37/43 Hrc)
XM194 ø10x25	26	ISO 10243
KP 750-63 Yellow	12	Nitrogas
Limitador M16 x 120	8	Acero de alta resistencia (37/43 Hrc)
XM048 ø5	28	2344(40/50HRC)
XM048 ø3	2	2344(40/50HRC)
Fuente: Elaboración propia.		

5.3 Guía de fabricación.

Esta guía sirve junto los planos de conjunto explosionados para realizar un montaje correcto del troquel. En el proceso de montaje, será indispensable seguir estos dos documentos ya que la guía nos permitirá saber el orden de montaje y la tornillería a usar, por otro lado el plano explosionado nos permitirá reconocer los diferentes elementos y su posición en el troquel.

5.3.1 Fase 1. Placa inferior.

De la misma forma que se comienza el diseño de un troquel, se debe empezar a montar. Para el montaje de la parte inferior del troquel, se comenzará colocando los casquillos del sistema de encolumnado. En este caso se montaran 4 casquillos auto lubricante G-307 ø63 de bronce al aluminio con lubricación por grafito, para su sujeción a la placa se usarán dos brida G-403 para ø63 por cada casquillo. Es de gran importancia que los casquillos entren fácilmente en sus alojamiento casi con holgura, ya que este tipo de elemento tiende a cerrarse si se le fuerza impidiendo un correcto ajuste columna- casquillo.

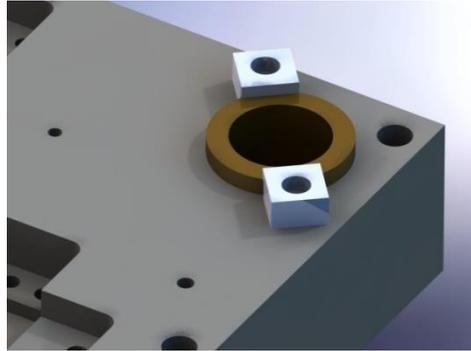


FIG. 79: Encolumnado placa inferior.

Posteriormente se colocará el porta matrices que se sujetará con diez tornillos de M12 x 45 y se posicionará correctamente gracias a 4 guías de $\varnothing 12 \times 50$. Se deberá asegurar que las salidas de retales que se cortan por oxicorte están correctamente alineadas en ambas placas.

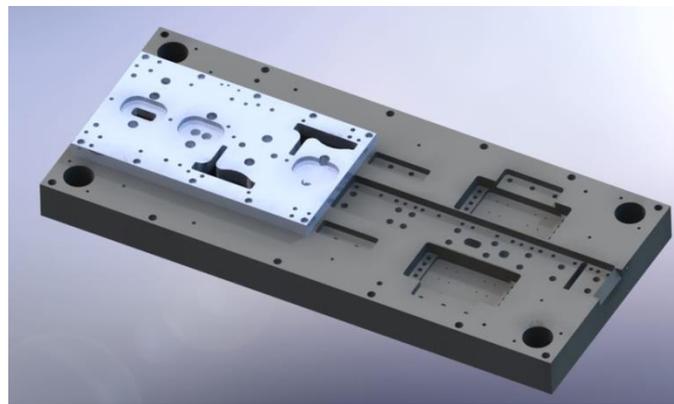


FIG. 80: Montaje porta matrices.

El siguiente paso será comenzar con el montaje de las matrices de trabajo. En el caso de las dos primeras matrices, que irán colocadas encima del portamatrices y se sujetarán con 16 tornillos de M12 x 40 y se posicionarán gracias a 4 guías de $\varnothing 12 \times 40$ cada una. Antes de colocar las matrices se deberá colocar las tres sufrideras para las buterolas que se alojarán en el portamachos. También se deberán montar las buterolas de trabajo, para lo que necesitaremos 5 tornillos de M6 x 10 y el sistema de elevación general, que se realizará por 8 elevadores de $\varnothing 24$ con accionamiento por muelle XM194 $\varnothing 25 \times 32$. Para la elevación del cuello abocardado, se utilizarán 2 nitrógenos Z-200-13 Yellow. Una vez colocados en sus alojamientos los muelles, las buterolas y los elevadores podemos pasar los pasadores y amarrar los tornillos. En este paso, también será importante que las salidas de chatarra coincidan con las de las matrices, si se han desplazado, deberemos librar la salida de los retales, para impedir posibles atascos en el proceso de trabajo continuo.

Para montar el resto de matrices, se seguirá el orden reflejado en el plano de conjunto y se usarán 28 tornillos de M12 x 35 junto con 10 pasadores de $\varnothing 12 \times 35$ para su colocación y amarre dentro de las cajas realizadas para alojarlas. Estas matrices contarán con 16 elevadores de $\varnothing 14 \times 100$ accionado por muelles XM194 $\varnothing 16 \times 32$. En el caso de la matriz de punzonado, deberemos montar también las buterolas de corte que lleva a ambos lados, para sujetarlas, necesitaremos 8 tornillos de M6 x 10. En las dos matrices de calibrado, deberemos montar también las cuchillas de separado que se sujetarán en las cajas con 2 tornillos de M6 x 20.

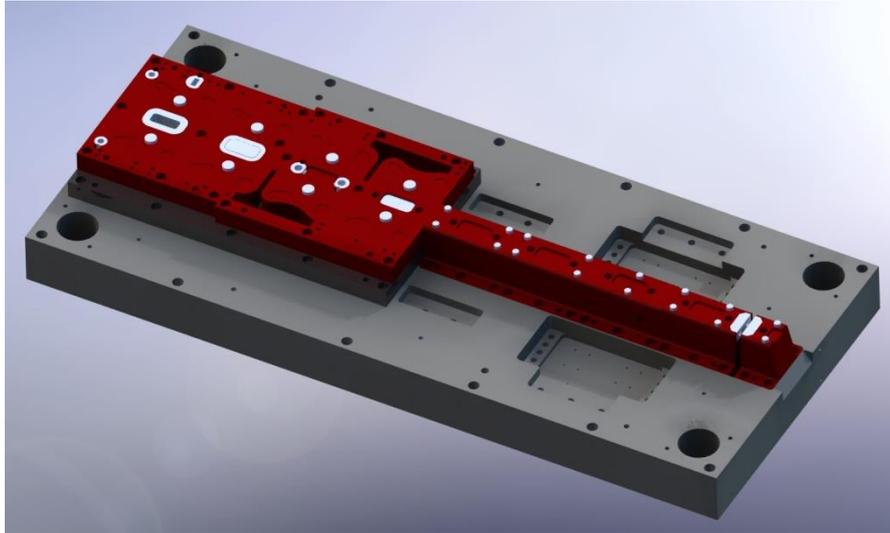


FIG. 81: Montaje del grupo matriz.

Una vez montadas todas las matrices y los elementos alojados en ellas, se debe realizar el montaje de las guías de banda que van colocadas en las dos primeras matrices. Para ello se necesitarán 17 tornillos de M8 x 25 y 14 guías de $\varnothing 10 \times 30$. También se montará el detector con su soporte correspondiente con un tornillo de M8 x 35 y 2 guías de $\varnothing 8 \times 35$. También será el momento de montar la bandeja de entrada con 4 tornillos de M8 x 15.

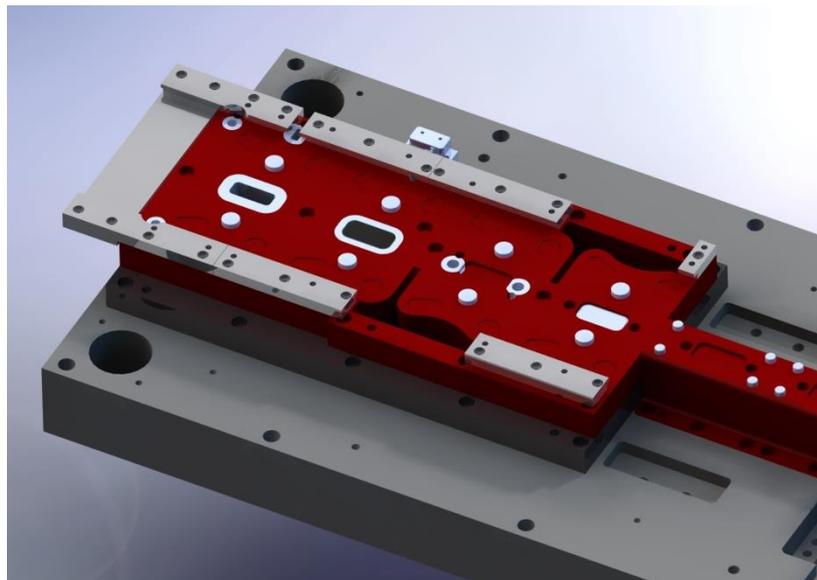


FIG. 82: Montaje De Guías Banda Y Sistema De Gatillo.

Dentro de la parte inferior también se sitúan los carros de punzonado. En este momento comienza el ajuste propiamente dicho. Estos carros que se sitúan gracias a las guías laterales, deben tener una alineación exacta respecto a la matriz de punzonado. En nuestro caso trabajando con un espesor de 2 mm contaríamos con una holgura de 0.15mm, pero la mínima variación de esta holgura, causaría una clara desigualdad de la zona del corte. Por lo tanto, se debe alinear perfectamente utilizando galgas o fleje de espesor 0.15mm. Una vez alineado, se pasarán los pasadores de las guías laterales del carro.

Estos carros se compondrán de los siguientes elementos:

- Bronces y postizo de acero que se montarán con 60 tornillos de M5 x 15.
- Tacónes sujetos con 6 tornillos de M16 x90.
- Carros con un accionamiento por 4 nitrógenos CN 150-25 Yellow.
- Sufridera situada entre el carro y el portamachos.
- Portas de punzonado que se montarán con 4 tornillos de M10 x 40 y con 2 pasadores de $\varnothing 12$ x 40.
- Los pisadores del carro sujetos por 2 limitadores limitador M10 x 20 y accionados por 4 nitrógenos K-200-7 Yellow.
- Las guías laterales sujetas con 12 tornillos de M14 x 65 y posicionadas por 8 pasadores de $\varnothing 12$ x 65.
- Machos de geometría compleja sujetos a la sufridera con 2 tornillos de M6 x 20.
- Punzones de $\varnothing 14$ sujetos en el portamachos.
- Velas para el empuje del pisador alojado en el porta sujetas por 4 tornillos de M5 x 10 con arandela de seguridad.

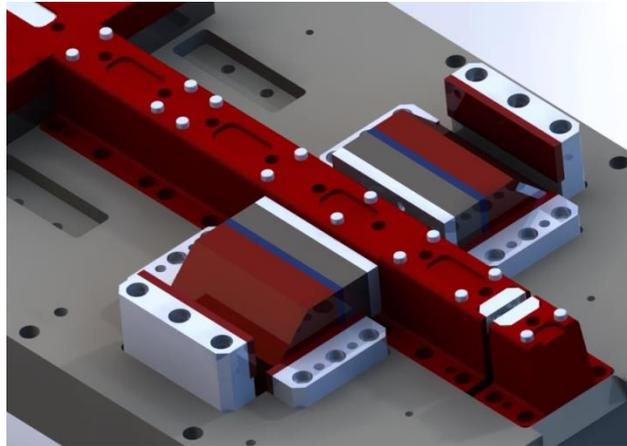


FIG. 83: Montaje de carro de punzonado.

Para terminar el montaje de la parte inferior, debemos montar los tacónes para los machos de doblado que se sujetarán con 4 tornillos de M16 x 95, los topes de cierre con 4 tornillos de M12 x 80 y los compensadores de pisada con 6 tornillos de M10 x80.

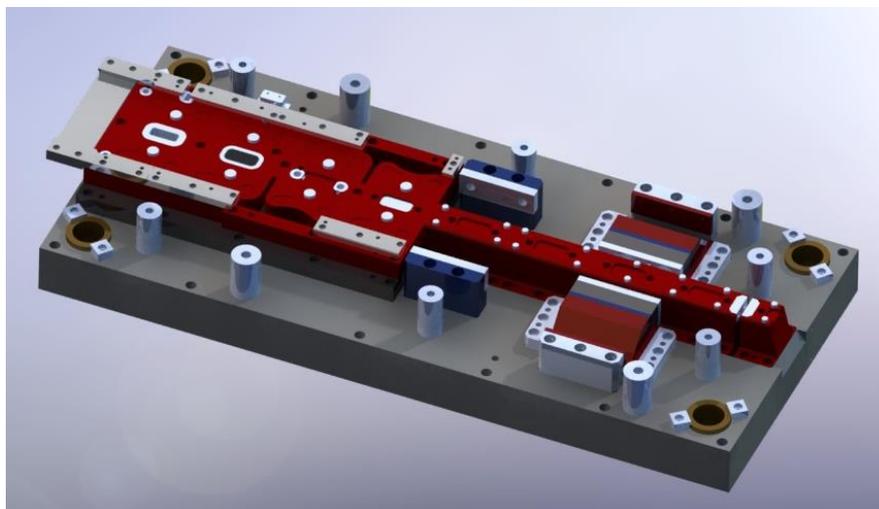


FIG. 84: Parte inferior completa.

5.3.2 Fase 2. Placa superior.

En esta segunda fase, vamos a montar los elementos que forman la parte superior del troquel. Comenzaremos colocando las columnas del sistema del encolumnado general, que lo compondrán de:

- 4 Columna de retención intermedia G-202 $\varnothing 63$.
- Un anillo de retención de columna G-405 $\varnothing 63$ por columna.
- Una brida retención de columna G-406 $\varnothing 63$ por columna.

En primer lugar, debemos alojar los punzones en los portas, posteriormente se colocarán el grupo de portas y el grupo de sufrideras. Estos elementos se sujetarán con 23 tornillos de M12 x60 para los portas de corte y en el caso del porta de doblado, necesitaremos seis tornillos de M12 x 70. El posicionado de estos elementos, se realizará con pasadores de $\varnothing 12$ x 45 una vez se ajusten los machos respecto a las matrices.

Sujetados los portamachos, se introducen los diferentes machos y se sujetan con los siguientes tornillos:

- Machos de estampado 1 sujetos con 4 tornillos de M10 x 35.
- Machos de estampado 2 sujetos con 4 tornillos de M10 x 35 y se usará un pasador de $\varnothing 6$ x 30 para evitar el giro que puede causar que el macho se suelte.
- Macho de corte de ventana sujeto con 2 tornillos de M12 x 35.
- Macho de abocardado sujeto con 2 tornillos de M12 x 35.
- Machos de corte exterior para la sujeción de estos machos se necesitarán 6 tornillos M12 x 40 y dos tornillos de M6 x 40.
- Machos de doblado sujetos por 12 tornillos de M12 x 60.
- Macho de separado que se sujetará con 2 tornillos de M8 x 35.

Por último, se montará la cuña del carro de punzonado con 12 tornillos de M12 x 50 y los topes de cierre con 4 tornillos de M12 x 80 con arandela de seguridad.

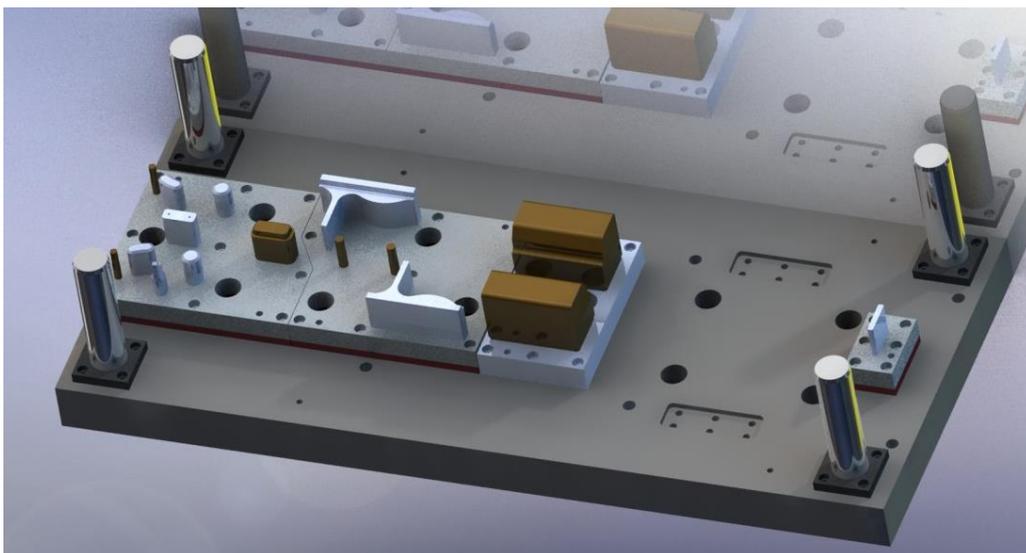


FIG. 85: Placa superior.

Es el momento de realizar el cierre del troquel sin el pisador para tener mejor acceso visual de los diferentes elementos para realizar el ajuste entre los machos y las matrices. Para comprobar las holguras de corte se usarán flejes acerados con un espesor similar a la holgura de 0.15mm que tiene nuestro troquel. Se dará por bueno el posicionamiento de los machos cuando se consiga meter este fleje por toda las zonas de corte, entonces se sujetarán fuertemente los tornillos y se procederá a pasar las guías de los portas a la placa superior.

En el caso de las cuchillas de separado, se deberá dar la holgura correcta ya que esta tarea se deja pendiente hasta este momento, gracias a la fácil modificación de esta holgura se ajustara rectificando la parte traseras de las cuchillas de separado. Para ajustar los machos de doblado, se usan tubos de cobre o un material con similares características de ductilidad. Se deberá colocar adherido en la matriz utilizando grasa de lubricación mecánica, de esta manera, cuando bajemos el troquel, haciendo bloque con los topes de cierre, el tubo se deformará y aplanará. Cuando se abra de nuevo el troquel, podremos medir fácilmente el espacio existente entre la matriz y el macho en la fase de cierre. Podremos rectificar las superficies de doblado ore mecanizar estas zonas hasta conseguir el espesor deseado.

5.3.3. Fase 3: Placa pisón.

Por último, debemos realizar el montaje del pisador en la parte superior del troquel, para ello, en primer lugar, montaremos el sistema general de guiado, que para esta placa constará de cuatro casquillo auto lubricante G-309 $\varnothing 63$ sujetos con dos brida para casquillos G-402 con t 10.

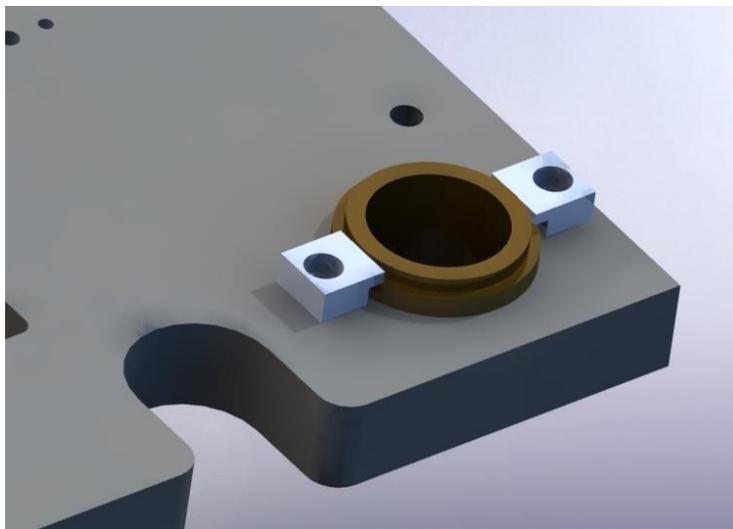


FIG. 86: Encolumnado del pisador.

En esta fase, también se montara el conjunto de suplepisas en la placa pisón. Antes debemos montar los expulsores en los diferentes pisadores, colocando 26 muelles XM194 $\varnothing 10 \times 25$ para realizar la fuerza de expulsión de cada uno. Los suplepisas se sujetarán con 33 tornillos M8 x 25 y se posicionarán con 14 pasadores de d 10 x 25.

Por último, para terminar el montaje de esta parte, colocaremos los postizos de pisada en su alojamiento, realizados en los suplepisas, tomando como referencia el plano de del conjunto explosionado. Se usarán 12 tornillos de M8 x 25 para sujetarlos a la placa pisón.

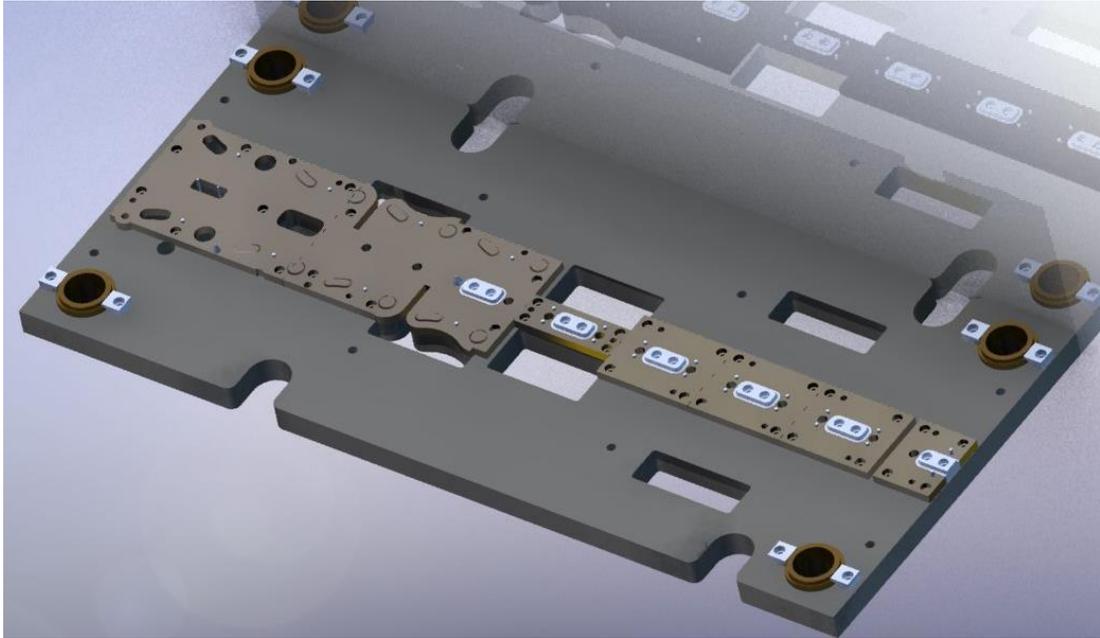


FIG. 87: Pisador.

En este momento, con el troquel terminado, se deberá introducir el pisador antes de colocar los nitrógenos de presión, para conseguir que entre hasta hacer bloque con los portamachos. De esta manera podemos observar si existe algún rozamiento entre los machos y los suplepisas, que pueden generar defectos en ambos elementos.

Una vez concluido esta comprobación, es el momento de colocar el pisador en la parte superior, introduciendo 12 nitrógenos KP 750-63 Yellow para que le aplique la fuerza necesaria a la pisada y los 8 limitadores M16 x 120 para unirlo a la placa superior.

Por último, se colocarán los pies y la sobre placa acabando así el montaje del troquel y dejando listo para meter en la prensa para realizar las primeras pruebas.

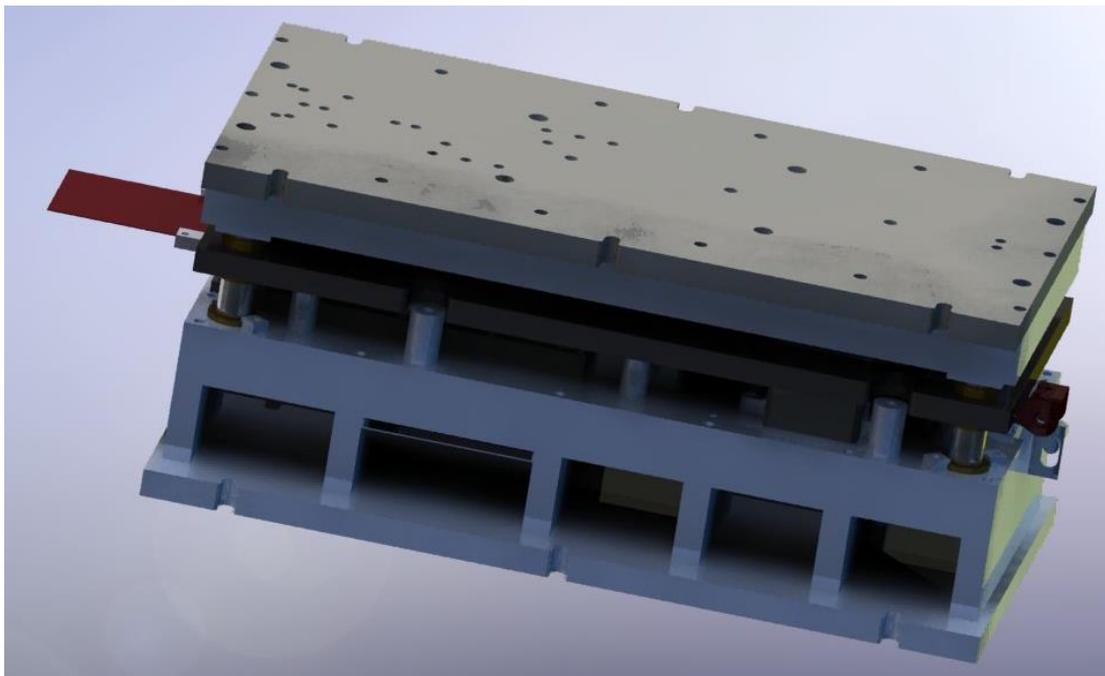


FIG. 88: Troquel completo.

6. PRESUPUESTO.(Anexo 5.1)

Este presupuesto engloba todos los costes generados en la empresa para la fabricación de troquel. Estos costes, se pueden separar en 3 grandes grupos que son: costes de mano de obra, de materiales y amortización de herramientas. En nuestro caso también lo separaremos en los diferentes departamentos que participarán en la fabricación del troquel.

6.1 Oficina técnica.

En el caso de la oficina técnica, se hace una estimación que durante el proyecto deberá dedicar un total de 200h. Teniendo en cuenta que en la oficina técnica deberá haber dos operarios para esta tarea, calculando el coste salarial generado por cada uno y la amortización del material que utilizan, podemos realizar un cálculo aproximado del coste total generado en la oficina técnica.

Tabla 18: Costes de diseño.				
Horas de diseño	Número de operarios	Coste hora operario	Amortización de Instalaciones	Total coste de diseño
100,00	2,00	35,00	3,00	7.600,00
Fuente: Elaboración propia.				

6.2 Producción.

Este departamento generara los mayores costes en el proceso. Debemos separar y estudiar cada una de las piezas que se deben fabricar por separado. Los apartados que debemos estudiar son los siguientes:

- Adquisición de materia prima para la fabricación de los diferentes elementos. Para calcular este coste, se calculará el volumen bruto de material necesario para fabricar. Para esto se sumaran las demasías para el mecanizado adecuadas en cada medida de las piezas acabadas. Una vez calculado el volumen bruto, se multiplica por la densidad de cada material y por el precio de cada material obtenido, por la observación de los precios de suministro de los últimos pedidos.
- También se deben tener en cuenta los tratamientos que se le realizarán a las diferentes piezas. Para ello, multiplicaremos las medidas generales de cada pieza por la densidad y por factor, para intentar contrarrestar los vaciados que se mecanizan del volumen neto, antes de llevar la pieza a los procesos de tratamiento. En nuestro caso aplicaremos un factor de 0.7. Una vez calculado el precio, podemos calcular el coste del proceso, ya que se facturaran por los kg de material tratado. Se realizarán tratamientos de temple y revenido para conseguir mayor dureza en los elementos de trabajo. También en el caso de los machos y matrices considerados de doblado se realizará un recubrimiento de TICN.
- En este último paso, se calcularán los costes de mano de obra y amortización de equipamientos, que en este departamento son muy elevados, debidos al alto coste de las

maquinas herramientas necesarias. Para ello se debe calcular el tiempo de fabricación de cada elemento, teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- Volumen de la pieza.
- Material.
- Número de puestas en maquina diferenciando entre fresadora, torno, taladro, rectificadora y electroerosión por hilo.
- Nº de operaciones a realizar en la pieza y tipo de proceso.
- Si necesitan barridos con ayuda de programa CAD-CA.

Una vez que sabemos el tiempo de fabricación, se multiplicara por el coste de mano de obra que se estima en 30€/hora de media y una amortización de máquina de 27€/hora de media.

Tabla 19: Costes de fabricación.								
REF	C.C	Denominación	Material	Trat.	Peso Neto (mm)	Peso en Bruto (Kg)	Tiempo de fabricación (horas)	Precio Total (€)
1	1	Placa inferior	F 111		578,53	901,61	6	1.730,48
2	1	Porta matrices	F 111		53,76	86,90	1,5	219,33
3	1	Placa pisón	F 111		236,67	413,24	4	864,39
4	1	Placa superior	F 111		473,35	751,34	4	1.385,07
5	1	Sobreplaca	F 111		323,66	554,84	1,5	939,95
6	1	Pies	Placas oxicorte F 111		0,00	0	3	171,00
7	2	Bandeja 1	Chapa corrugad a 3mm		0,00	0		40,00
8	1	Bandeja 2	Chapa corrugad a 3mm		0,00	0		20,00
9	1	Matriz 1	F-522	58Hrc	24,14	38,47	3	481,07
10	1	Matriz 2	F-521	60Hrc	28,40	45,20	5	791,86
11	1	Matriz de doblado	F-521	60Hrc+TI CN	12,95	19,98	3	415,53
12	1	Matriz de reposo	F-522	58Hrc	12,57	19,41	3	331,13
13	1	Matriz de punzonado	F-522	58Hrc	12,95	19,98	4,5	421,47
14	1	Matriz de separado 1	F-522	58Hrc	11,92	18,42	3,5	351,42
15	1	Matriz de separado 2	F-522	58Hrc	6,21	9,76	2,5	221,97
16	2	Tacón de doblado	F 111		5,01	7,88	0,25	43,47
17	1	Sufridera	F-522	56Hrc	0,68	1,13	0	9,27

		buterola 1						
18	1	Sufridera buterola 2	F-522	56Hrc	0,85	1,37	0	11,55
19	1	Sufridera buterola 3	F-522	56Hrc	0,68	1,17	0	9,39
20	2	Bronce de doblado	Bronce		0,88	1,56	0,2	47,76
21	2	Cuchilla de separado	F-521	60Hrc	0,15	0,28	0,25	34,10
22	2	Carro de punzonado	F-522	56Hrc	15,10	23,05	2,5	689,82
23	4	Guía lateral	F 111		2,28	3,70	0,5	128,05
24	2	Tacón de punzonado	F 111		3,70	5,96	0,5	68,32
25	2	Cuña	F 111		9,25	14,41	1	141,39
26	2	Sufridera de punzonado	F-522	56Hrc	0,59	1,17	0,5	74,02
27	2	Porta de punzonado	F-522	56Hrc	2,07	3,43	1,5	227,74
28	2	Pisador de punzonado	F-522	58Hrc	1,01	1,81	2	254,73
29	4	Bronce punzonado 1	Bronce		0,20	0,42	0,2	59,13
30	2	Bronce punzonado 2	Bronce		0,45	0,91	0,2	37,29
31	2	Postizo de acero	F-522	56Hrc	0,47	0,94	0,2	22,82
32	4	Bronce punzonado 3	Bronce		0,38	0,91	0,2	74,77
33	2	Buterola carro 1	F-521	60Hrc	0,13	0,42	0,25	34,82
34	2	Buterola carro 2	F-521	60Hrc	0,08	0,21	0,2	26,45
35	4	Vela	F-522	56Hrc	0,08	0,16	0,1	27,40
36	2	Punzón carro 1	F-521	60Hrc	0,14	0,22	0,75	90,48
37	2	Punzón carro 2	F-521	60Hrc	0,08	0,16	0,25	31,56
38	1	Banda 1	F-522	56Hrc	1,39	2,36	0,5	47,65
39	1	Banda 2	F-522	56Hrc	0,67	1,23	0,5	37,91
40	1	Banda 3	F-522	56Hrc	0,78	1,45	0,5	39,54
41	1	Banda 4	F-522	56Hrc	0,66	1,22	0,5	37,83
42	1	Banda 5	F-522	56Hrc	0,67	1,24	0,5	37,96
43	1	Banda 6	F-522	56Hrc	0,12	0,24	0,5	30,22
44	1	Bandeja de entrada	F-111		1,03	1,54	0,05	4,32
45	1	Buterola de abocardado	F-521	60Hrc+TI CN	1,30	2,15	2	153,51
46	1	Buterola ventana central	F-521	60Hrc	1,30	2,57	2	139,19

47	1	Buterola control de paso	F-521	60Hrc	0,17	0,57	0,25	18,51
48	2	Buterola d15,3	F-521	60Hrc	0,15	0,51	0,25	36,00
49	2	Buterola d12,4	F-521	60Hrc	0,10	0,28	0,25	33,13
50	1	Gatillo	F-522	56Hrc	0,08	0,16	0,25	15,44
51	1	Porta detector	F-111		0,31	0,51	0,25	14,73
52	8	Tope de cierre	F-111		1,48	2,18	0,1	62,13
53	6	Tope de pisada	F-111		1,05	1,54	0,1	42,99
54	1	Achaflanador	F-521	60Hrc	0,76	1,22	1	70,61
55	16	Elevador 1	F-522	56Hrc	0,12	0,25	0,05	74,49
56	8	Elevador 2	F-522	56Hrc	0,17	0,32	0,05	41,98
57	1	Elevador 3	F-522	56Hrc	0,80	1,27	0,05	13,73
58	1	Suplepisa 1	F-522	56Hrc	3,20	4,84	3	213,79
59	1	Suplepisa 2	F-522	56Hrc	7,59	11,48	3	272,53
60	1	Suplepisa 3	F-522	56Hrc	0,84	1,28	0,5	39,74
61	3	Suplepisa 4	F-522	56Hrc	1,75	2,67	0,5	155,81
62	1	Suplepisa 5	F-522	56Hrc	1,08	1,68	0,5	43,04
63	1	Postizo suplepisa 1	F-522	56Hrc	0,29	0,54	0,5	32,62
64	4	Postizo suplepisa 2	F-522	56Hrc	0,31	0,57	0,5	131,29
65	1	Postizo suplepisa 3	F-522	56Hrc	0,26	0,44	0,5	32,04
66	1	Porta 1	F-111		21,85	33,68	2,5	174,50
67	1	Porta 2	F-111		24,09	37,13	5	320,27
68	1	Porta 3	F-111		2,33	3,58	1	60,40
69	1	Porta doblado	F-111		15,34	23,28	1,5	107,61
70	1	Sufridera 1	F-522	56Hrc	8,63	13,14	0,75	158,34
71	1	Sufridera 2	F-522	56Hrc	9,51	14,49	0,75	170,17
72	1	Sufridera 3	F-522	56Hrc	0,92	1,40	0,25	26,55
73	2	Punzón d12.1	M2	62hrc+TI CN	0,14	0,28	0,25	70,30
74	2	Punzón d15	M2	62hrc+TI CN	0,21	0,40	0,25	74,66
75	1	Punzón de paso	M2	62hrc+TI CN	0,46	0,81	1	87,79
76	1	Macho de separado	F-521	60Hrc	0,34	1,54	0,75	52,79
77	2	Macho de estampado 1	F-521	60hrc+TI CN	0,73	2,13	1	147,86
78	1	Macho corte ventana	F-521	60Hrc	0,69	1,29	1	70,11
79	2	Macho de estampado 2	F-521	60hrc+TI CN	0,42	0,74	0,5	104,57
80	1	Abocardador	F-521	60hrc+TI CN	1,54	3,31	1,5	132,41
81	2	Macho de	F-521	60Hrc	10,89	19,79	1,5	579,52

		corte exterior						
82	2	Macho doblado	F-521	60hrc+TI CN	8,74	13,51	2,5	625,80
83	24	Expulsor normal	Comercia I		0,00	0	0,05	68,40
84	2	Expulsor salida	Comercia I		0,00	0	0,05	5,70
85	3	Piloto D12	F-522	58Hrc	0,02	0,06	0,1	18,12
86	2	Expulsor macho	Comercia I		0,00	0	0,05	5,70
87	11	Piloto D14,9	F-522	58Hrc	0,03	0,08	0,1	68,06
TOTAL								15.531,36
Fuente: Elaboración propia.								

6.3 Montaje y ajuste.

Por un lado, se calcularán la mano de obra junto con la amortización de las máquinas y herramientas utilizadas para el montaje y ajuste del troquel, por otro se calcularán el coste de los elementos normalizados comerciales que seden montar en el troquel.

- Para el cálculo de la primera parte, se prevé que esta tarea ocupe a dos operarios durante 90 horas. Se debe multiplicar por el coste salarial de cada uno 30€/hora y por la amortización de las maquinas-herramientas que utilicen, que aproximaremos a 20€/hora. También sumaremos el coste de los prototipos cortados por láser para las pruebas de desarrollo en la fase de ajuste y el coste aproximado de los elementos comerciales que tenemos en el almacén interno. Estos elementos serán los tornillos, los pasadores y los muelles débiles de alambre.

Tabla 20: Costes de mano de obra para montaje.						
Horas de ajuste	Número de operarios	Coste hora operario	Amortización de herramientas	Prototipos	Tornillería y pasadores	Total coste de montaje y ajuste
90,00	2,00	30,00	20,00	200,00	150,00	9.350,00
Fuente: Elaboración propia.						

- Para calcular el coste de los elementos comerciales, se realizará una tabla donde recogeremos denominación, cantidad, material-norma y precio. Para aproximar el precio de cada elemento, se usarán los precios orientativos en el caso de que estén indicados en los catálogos y si no se aproximarán usando los precios de los últimos suministros.

Tabla 21: Coste elementos comerciales.				
REF	Elemento	Cantidad	Precio(€/Unid)	Precio (€)
501,00	G-307 ø63	4	22,35	89,40
502,00	G-403 ø63	8	3,45	27,60
503,00	G-309 ø63	4	18,48	73,92
504,00	G-402 t 10	8	2,96	23,68
505,00	G-202 ø63	4	43,65	174,60
506,00	G-405 ø63	4	1,30	5,20
507,00	G-406 ø63	4	4,70	18,80
508,00	XM194 ø25x32	8	1,52	12,16
509,00	XM194 ø16x32	16	1,17	18,72
510,00	Detector Z-15GS-B	1	18,60	18,60
511,00	Z-200-13 Yellow	2	24,00	48,00
512,00	K-200-7 Yellow	4	32,40	129,60
513,00	CN 150-25 Yellow	4	38,50	154,00
514,00	Limitador M10 x 20	4	4,30	17,20
515,00	XM194 ø10x25	26	0,83	21,58
516,00	KP 750-63 Yellow	12	45,68	548,16
517,00	Limitador M16 x 120	8	12,40	99,20
	XM048 ø5	28	1,37	38,36
	XM048 ø3	2	1,12	2,24
TOTAL				1.521,02
Fuente: Elaboración propia.				

6.4 Calculo del total del presupuesto.

Una vez tenemos todos los subtotales, podemos terminar el presupuesto. En esta fase debemos sumar también la amortización de instalaciones.

Tabla 22: Total del presupuesto.	
Proceso Fabricación	Coste(€)
Diseño	7.600,00
Fabricación	16.696,58
Montaje y ajuste	9.350,00
Elementos comerciales	1.521,02
Amortización de instalaciones	1.200,00
Total	36.367,60
Fuente: Elaboración propia.	

7. CONCLUSIONES.

La realización de este trabajo me ha permitido comprender el desarrollo de un troquel progresivo en todas sus partes. También me ha ayudado a la generación de una metodología de trabajo para el desarrollo de este tipo de proyectos. Esta metodología no sólo incluye las fases de trabajo y su orden, si no, también la documentación creada durante todo el proceso. En todo el proceso de diseño he podido apreciar la gran importancia de la banda de estampación que debemos generar al inicio y que guiara todo el diseño del troquel.

Las dificultades que he encontrado en el desarrollo de este proyecto se centran en primer lugar en el cálculo de fuerzas desarrolladas en el troquel, debido a la variedad de criterios existentes en esta materia. Y en segundo lugar también he tenido dificultades en la generación del presupuesto debido a la falta de noción, de los costes de mano de obra.

Por ultimo me gustaría resaltar que se han cumplido todas las especificaciones medibles como las inherentes a la prensa. Se adjunta tabla de conclusiones del troquel en el Anexo 5.4.

8. BIBLIOGRAFÍA.

Libros

Boljanovic V. (2004). *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. Industrial Press.

Coromant Sanvik (1994). *El mecanizado moderno*, Ed. Tofter Tryckeri AB.

Rodríguez de Abajo J. y Galarraga Astibia Roberto. (1999). *Normalización del dibujo industrial*. Editorial Donostiarra.

Rossi Mario (1979). *Estampado en frio de la chapa*. Editorial Dossat.s.a

Rowe, G.W. (1972). *Conformado de los metales*. Ediciones Urmo.

Sebastián. M. A. y Luis, C. J. (1998). *Programación de máquinas-herramienta con control numérico*. Editorial UNED.

Szumer J (2002) *Metal Stamping Process: Your Product from Concept to Customer*. Industrial Press

Catálogos.

Unceta. Elementos de matricería. (Anexo 3.1)

Gallastegi. Elementos de encolumnado. (Anexo 3.2)

Nitrogas. Cilindros de gas a presión. (Anexo 3.3)

Omron. General-Purpose Basic Switch. (Anexo 3.4)

Böhler. K-110, F-521. (Anexo 4.1)

Böhler. K-720, F-522. (Anexo 4.2)

C.D.L. Aceros especiales. (Anexo 4.3)

Aceros SISA. Acero SISA M2. (Anexo 4.4)

Trateriber. Recubrimientos metálicos mediante PVD. (Anexo 4.5)

Metalasa. Productos siderúrgicos. (Anexo 4.6)