Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica

TRABAJO DE DIPLOMA

Diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas.

Autor: Rafael Danilo Baez Díaz

Tutor: Dr. C. Ing. Ricardo Alfonso Blanco

Santa Clara

2017

Año 59 de la Revolución

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica

TRABAJO DE DIPLOMA

Diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas.

Autor: Rafael Danilo Baez Díaz

rbaez@uclv.edu.cu

Tutor: Dr. C. Ing. Ricardo Alfonso Blanco

Profesor Titular

Departamento de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial

ralfonso@uclv.edu.cu

Santa Clara

2017

Año 59 de la Revolución

Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

_____

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

_____ _____

Firma del Autor

Firma del Jefe de Departamento donde se defiende el trabajo

_____

Firma del Responsable de Información Científico-Técnica

Bienaventurado el hombre que halla la sabiduría,

Y que obtiene la inteligencia;

Porque su ganancia es mejor que la ganancia de la plata,

Y sus frutos más que el oro fino.

Más preciosa es que las piedras preciosas;

Y todo lo que puedes desear, no se puede comparar a ella.

Proverbios 3:13-15

DEDICATORIA

A mi madre por haberme apoyado siempre, quien le hubiese gustado estar aquí este momento.

A mi padre por su comprensión, ayuda y apoyo incondicional

A mi abuelo por haber sido tan fuerte y ayudarme a seguir adelante.

A todos mis amigos quienes han sido mi mayor apoyo, esfuerzo y ayuda estos cinco años.

AGRADECIMIENTOS

Doy muchas gracias a Dios por haberme ayudado y permitirme llegar hasta aquí.

A mi familia por ser incondicional

A mis amigos por ayudarme en todo lo que estuvo a su alcance.

A mis profesores por haberme brindado su conocimiento y experiencia.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado que se empleará en la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas, para la empresa INPUD 1ro de mayo perteneciente al SIME del municipio de Santa Clara. Se efectuó una búsqueda bibliográfica sobre los troqueles, sus principales características, funcionamiento y los aspectos fundamentales a tener en cuenta para su diseño. Se realizaron los cálculos de cada elemento siguiendo una metodología de trabajo. Se pone en práctica el empleo de varias tablas y normas que rigen el diseño de los troqueles, los materiales comúnmente empleados en su fabricación y el tratamiento térmico que se realiza a cada una de sus partes. Se realizó además un plano de pieza con los resultados obtenidos para cada elemento y análisis económico correspondiente al proceso de producción de un troquel.

SUMMARY

In the present work the design of a progressive cutting and punching die was used to manufacture the pivot support of a five - ton jack for the company INPUD 1 of May belonging to SIME of the municipality of Santa Clara. A bibliographic search was made on the dies, their main characteristics, functioning and the fundamental aspects to be taken into account for their design. The calculations of each element were made following a working methodology. The use of several tables and standards that govern the design of the dies, the materials commonly used in their manufacture and the heat treatment that is done to each one of its parts, is put into practice. A piece plane was also made with the results obtained for each element and economic analysis corresponding to the production process of a die.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA 5

AGRADECIMIENTOS 6

RESUMEN 7

INTRODUCCIÓN 11

Estructura del trabajo.....14

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL PARA EL DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO DE CORTE Y PUNZONADO 15

1.1 Troquel 15

1.2 Clasificación de los troqueles 15

1.3 Troqueles Progresivos.....18

1.4 Elementos que componen un troquel progresivo de corte y punzonado.....19

1.5 Funcionamiento de los Troqueles Progresivos.....20

1.6 Procesos de fabricación que se pueden realizar con un troquel 21

1.6.1 Procesos de corte 21

1.6.2 Procesos de conformado.....23

1.7 Materiales y tratamientos térmicos en troqueles de corte y punzonado.....23

1.7.1 Materiales empleados en la fabricación de los elementos principales de un troquel de corte 24

1.8 Parámetros necesarios para realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado.....24

1.8.1 Verificación del plano de pieza 25
1.8.2 Selección del troquel a utilizar 25
1.8.3 Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento 25
1.8.4 Ubicación de los punzones 26
1.8.5 Determinación del centro de fuerzas.....26
1.8.6 Cálculo del juego de corte 26
1.8.7 Dimensionamiento de los elementos cortantes del troquel 26
1.8.8 Dimensionamiento de los elementos del conjunto inferior y el conjunto superior .27
1.8.9 Selección del tipo de máquina 27
1.9 Conclusiones del capítulo.....28
CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL TROQUEL PROGRESIVO DE CORTE Y PUNZONADO.....29
2.1 Descripción de la pieza 29
2.2 Cálculos para el diseño del troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas 30
2.2.1 Verificación del plano de pieza 30
2.2.2 Selección del troquel.....32
2.2.3 Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento 32
2.2.4 Ubicación de los punzones 36
2.2.5 Determinación del centro de fuerzas.....36
2.2.6 Cálculo del juego de corte y dimensionamiento de los elementos cortantes 38
2.2.7 Dimensionamiento de los elementos del conjunto inferior.....42
2.2.8 Dimensionamiento de los elementos del conjunto superior.....48
2.2.9 Cálculo de las coordenadas en el centro de fuerzas de la placa superior .……..51
2.2.10 Selección de la prensa 51

2.2.11 Longitud del punzón 51
3.1 Conclusiones del capítulo 52
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL DISEÑO DEL TROQUEL 53
3.2 Análisis económico 53
3.3 Descripción de los elementos del conjunto superior 57
3.3.1 Vástago 57
3.3.2 Placa superior 57
3.3.3 Placa sufridera 58
3.3.4 Punzón 59
3.3.5 Placa porta punzón 59
3.4 Descripción de los elementos del conjunto inferior 60
3.4.1 Placa guía 60
3.4.2 Guías laterales 60
3.4.3 Tope móvil 61
3.4.4 Matriz 61
3.4.5 Base inferior 62
3.4.6 Tope fijo 63
3.5 Conclusiones del capítulo 63
CONCLUSIONES 64
RECOMENDACIONES 65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 66
ANEXOS 68

INTRODUCCIÓN

En la actualidad las necesidades del mercado requieren formular y establecer diferentes estrategias, dentro de una empresa para mantener su principal ventaja competitiva a largo plazo. Las empresas se enfrentan a un período de tiempo caracterizado por la competitividad, el dinámico desarrollo tecnológico y las exigencias sociales. La necesidad de producir a menor costo, en menor tiempo y con calidad será en los próximos años mayor que en el presente. Por lo que se hace necesario una ética de trabajo que aspire a que la calidad sea un elemento presente en todas las actividades, en todos sus ámbitos, sea un modo de trabajo y una herramienta precisa para establecer la competencia.

Se muestra así la necesidad de cambiar las formas en que se realizan las técnicas de producción, con el propósito de ser eficaces y eficientes. Todo esto conlleva a que se haga ineludible la ayuda tecnológica a través del empleo de los troqueles garantizándose precisión, velocidad y calidad del producto.

Varias empresas se han visto encaminadas en la producción en masa de disímiles piezas en determinadas ramas de la Industria Mecánica, obtenidas a partir de chapas metálicas, por lo que el empleo de nuevas tecnologías de producción se hace imprescindible, mientras garantice seguridad, precisión y calidad del producto. Cuando se habla en términos de producción en masa, de piezas obtenidas a partir de chapas metálicas, procesos tales como corte y punzonado se hace necesario el diseño de un troquel, el cual garantice la producción en menor tiempo posible.

Varios autores han tratado el tema del diseño de los troqueles como es el caso de, (Díaz-Crespo, et al., 2012), (Hoyos, Marzo de 2013), (Ricardo & Jiménez Alcántar, 2008), (Rosales, julio de 2010).

Por otra parte, estudios realizados por diferentes autores específicamente dirigidos a esta rama de la ingeniería, plantean lo siguiente:

Muchas piezas producidas mediante chapa metálica, pueden ser fabricadas manualmente con herramientas artesanales; la obtención de cada pieza requiere de una serie de pasos como: trazar la pieza sobre la chapa, cortar el desarrollo de la pieza, producir agujeros, doblar con una herramienta no apropiada, etc. Estos procedimientos pueden utilizarse para obtener solo una muestra o prototipo, pero no permite la producción en serie; con este proceso, no se puede determinar con precisión tiempo y costo del producto. Mediante el proceso de diseño de ingeniería se logran resultados útiles, ordenados en la aplicación de una metodología de diseño de troqueles, utilizando elementos estandarizados comercialmente y unificando conceptos de diseño para este tipo de herramentales (Bermudez, 04 de Diciembre de 2009).

El estampado en frío de la chapa es la forma de obtención más racional, ya que constituye uno de los métodos tecnológicos de producción más avanzados. Este método permite: obtener piezas de forma compleja (cuya elaboración con otros métodos es difícil o imposible); crear construcciones resistentes y rígidas de piezas ligeras de poco peso y poco gasto de material y crear piezas intercambiables con bastante precisión de las medidas, sin necesidad del maquinado posterior. Como ventaja adicional se encuentra la posibilidad de emplear, económicamente, el material con desperdicios relativamente pequeños y posee una alta productividad. Los troqueles son herramentales que se utilizan para la conformación de piezas a partir de una chapa. Estos pueden poseer varias clasificaciones atendiendo a: su fin (troqueles de corte, de repasado, de doblado, de embutido y para el acuñado); al grado de complejidad (simples o complejos) y a la cantidad de operaciones o pasos que poseen (de una sola operación o progresivos) (Acosta, et al., septiembre - diciembre, 2014).

La Empresa INPUD 1ro de mayo perteneciente al SIME, que se encuentra en Carretera Central, Km. 298, Banda Esperanza, Sta. Clara, Villa Clara, necesita realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas. Con el objetivo de satisfacer necesidades en varios sectores de la sociedad.

En Cuba con el objetivo de sustituir importaciones se están confeccionando troqueles de corte y punzonado para la obtención de piezas a partir de chapas metálicas, por lo que en este trabajo de diploma se presenta un procedimiento que tiene en cuenta una serie de aspectos teóricos para el diseño de un troquel y se diseña un troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas, contribuyendo con el desarrollo científico técnico del país y así propiciar mejoras económicas al mismo.

Atendiendo a todo lo anterior se plantea el siguiente **problema científico**:

¿Cómo realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la conformación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas?

De esta manera el **objetivo general** de esta investigación se presenta de la siguiente perspectiva:

Realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la conformación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas.

Para dar respuesta al objetivo general se presentan los siguientes **objetivos específicos**:

1. Recopilar la información bibliográfica necesaria sobre los troqueles
2. Realizar los cálculos para el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado
3. Elaborar un análisis económico que permita evaluar financieramente el costo de elaboración de un troquel
4. Efectuar el análisis de los resultados obtenidos en el diseño

Preguntas de investigación

¿Qué fundamentos teóricos sustentan el proceso de diseño de un troquel de corte y punzonado?

¿Cómo realizar los cálculos para el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la obtención del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas?

¿Qué resultados se obtienen a partir de haber realizado el diseño y del análisis económico del troquel diseñado?

Aportes esperados de la investigación

Como resultado de este trabajo de diploma se obtendrá el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la obtención del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas con las exigencias técnicas necesarias para su uso, contribuyendo al desarrollo científico-técnico del país y su industria mecánica.

En base al objetivo de la investigación y el problema científico se puede plantear la siguiente **Hipótesis**:

Teniendo en cuenta todos los parámetros tecnológicos para el diseño de un troquel, será posible realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas.

Justificación

La investigación presentada en este trabajo de diploma servirá de base para el diseño de troqueles progresivos de corte y punzonado, contribuyendo de forma positiva a la implementación en la industria de todo el proceder tecnológico, a la sustitución de importaciones y al mejoramiento económico del país.

Viabilidad de la investigación

La investigación es viable debido a que se cuenta con la información necesaria, la formación profesional, y toda la documentación tecnológica y computacional para poder desarrollar la misma.

Estructura del trabajo

El trabajo de diploma presenta un resumen, introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo 1: Se realiza una fundamentación teórica sobre sobre los troqueles.

Capítulo 2: Se diseña un troquel progresivo de corte y punzonado para la obtención del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas.

Capítulo 3: Se realiza el análisis de los resultados obtenidos en el diseño y el análisis económico correspondiente al proceso de fabricación del mismo.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL PARA EL DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO DE CORTE Y PUNZONADO

En el desarrollo de este capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre los troqueles, se clasifican de acuerdo a la operación que realizan y a su forma de trabajo, haciéndose énfasis en los troqueles progresivos, su funcionamiento y elementos que lo componen. Se abordan los procesos de fabricación que se pueden realizar con un troquel. Los materiales y tratamientos térmicos que se emplean en su fabricación, y se muestran una serie de parámetros necesarios para realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado.

1.1 Troquel

Los troqueles son herramientas que se emplean para la conformación de piezas a partir de una chapa (Acosta, et al., septiembre - diciembre, 2014). Es un útil que se monta sobre una prensa (mecánica, neumática, etc.) que ejerce una fuerza sobre los elementos del troquel, provocando que la pieza superior encaje sobre la inferior o matriz. Como consecuencia se produce la deformación del material que se ha interpuesto entre ambas piezas (David & Sanchez Flores, 2008).

1.2 Clasificación de los troqueles

Se muestran a continuación algunas clasificaciones de los troqueles atendiendo a dos criterios, el primero, según la operación que realizan y el segundo, según la forma de trabajar de los troqueles.

De acuerdo a la operación que realizan

- ✓ Troqueles de corte (figura 1.1)

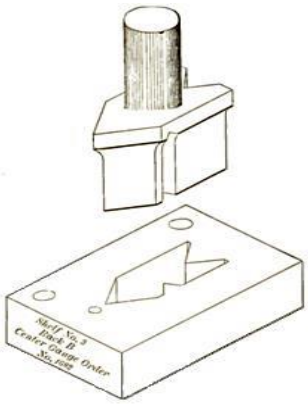


Figura 1.1 Troquel de corte

- ✓ Troqueles de embutición o estampado (figura 1.2)

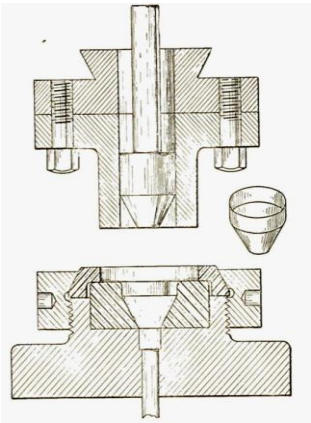


Figura 1.2 Troquel de embutición

- ✓ Troqueles de doblado (figura 1.3)

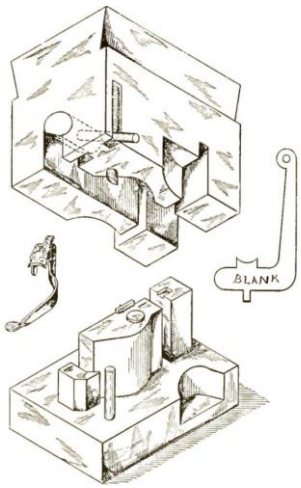


Figura 1.3 Troquel de doblado

- ✓ Troqueles para acuñar (figura 1.4)

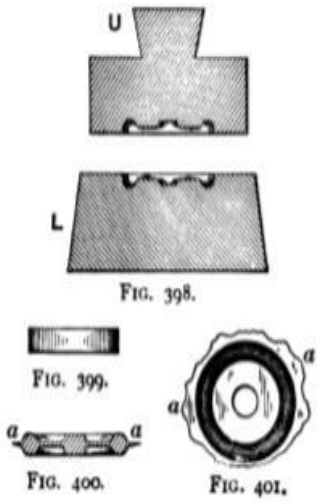


Figura 1.4 Troquel para acuñar

De acuerdo a la forma de trabajo

- ✓ Troqueles simples

Realizan una sola operación en cada golpe (figura 1.5)

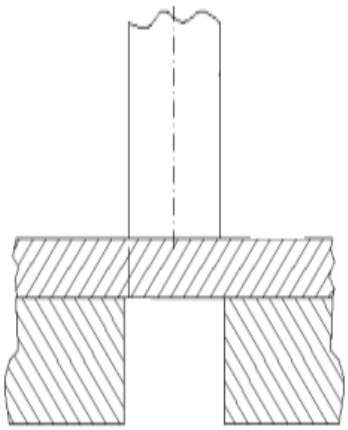


Figura 1.5 Troquel simple

- ✓ Troqueles compuestos

Los que realizan dos operaciones de corte en un solo golpe (figura 1.6).

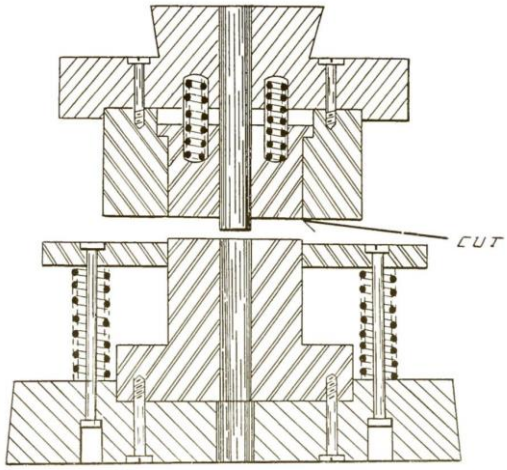


Figura 1.6 Troquel Compuesto

- ✓ Troqueles progresivos

Realizan varias operaciones en cada golpe de prensa, en diferentes etapas (figura 1.7)

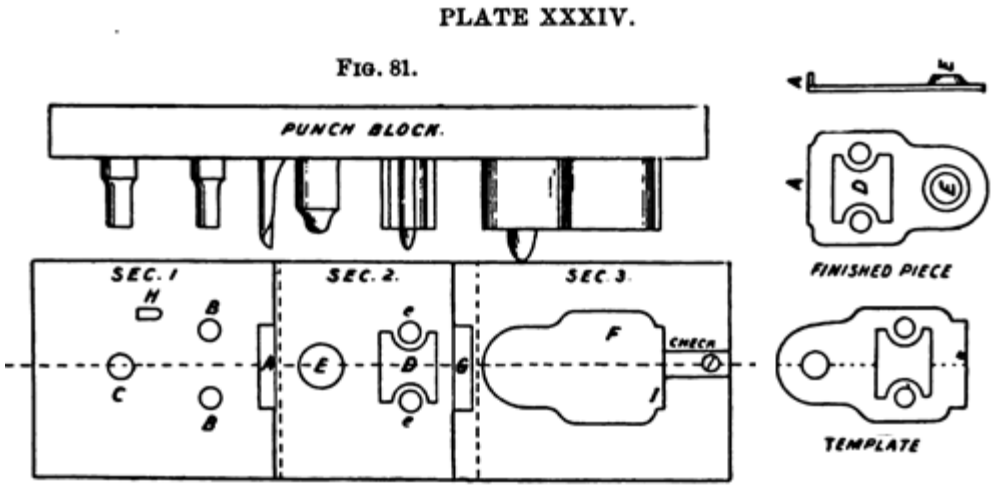


Figura 1.7 Troqueles progresivos. (Wilson 1898)

1.3 Troqueles Progresivos

Los troqueles progresivos presentan una gran complejidad en su diseño debido al gran número de operaciones que pueden ser necesarias para la obtención de una pieza determinada, lo que redunda en una gran cantidad de elementos necesarios para su construcción, que deben estar colocados y sincronizados para evitar interferencias entre ellos por lo que el coste de este tipo de troqueles es elevado, y por consiguiente se aplican principalmente para la fabricación de grandes series. Cuando la serie a fabricar no sea suficiente o resulte inviable, otra opción es utilizar varios

troqueles simples (de una sola operación), más sencillos de diseñar y más baratos de construir, si bien se necesitan varias prensas y se alarga el proceso de producción (Hoyos, Marzo de 2013).

1.4 Elementos que componen un troquel progresivo de corte y punzonado

Vástago o espiga: Elemento que une el cabezal del troquel con la prensa. Básicamente tiene una parte roscada para fijarse a la placa porta punzones y cuenta con un rebaje para ajustarse al cabezal de la prensa (Urquia, 2016).

Base superior: Tiene la función de contener en su superficie todas las placas y elementos para soportar los punzones del troquel. Se encuentra en ella también acoplado el vástago, que la inmoviliza y fija durante todo el proceso de trabajo. Es la que conduce el movimiento de la máquina para que los punzones penetren en la matriz y corten la lámina.

Placa sufridera: Placa fina y de gran dureza que transmite el esfuerzo a la cabeza del punzón, se coloca entre la placa porta punzones y la base superior, y evita el deterioro de esta última.

Punzones: Tienen el objetivo de realizar el corte de la lámina con la geometría deseada. Deben estar perfectamente diseñados y maquinados, muy bien sujetos a la placa porta punzones, acorde a las dimensiones requeridas, con excelentes acabados y un adecuado tratamiento térmico (López, 2015).

Placa porta punzones: Se ensambla debajo de la placa de choque. Tiene la función de posicionar los punzones, de protegerlos contra el pandeo y sacarlos de la matriz después de la operación de corte. Se fabrica en acero demedio carbono como el SAE-1045, sin tratamiento térmico.

Placa guía: Tiene la función de hacer de guía a los punzones en su acción de corte además juega un papel fundamental en la extracción del material con la acción de retroceso, la chapa queda adherida a los punzones.

Guías laterales: Las reglas guías de banda son uno de los componentes más característicos de las matrices progresivas. Se disponen con el fin de guiar longitudinal y transversalmente las tiras de lámina en su desplazamiento por el interior de la matriz.

Matriz: Presenta cavidades de la geometría de la pieza a obtener, a través de las cuales se introduce el punzón para provocar el corte del material. Para diseñar la matriz se deben considerar varios parámetros: juego entre el punzón y la matriz, el maquinado de las aristas de corte y el ángulo de

salida que facilita la extracción del material removido. Al igual que los punzones, se fabrica generalmente en acero para trabajo en frío con variables según el porcentaje de volframio (W), vanadio (V) y silicio (Si) en su aleación.

Base inferior: Es el elemento sobre el cual van montados todos los componentes que hacen parte de la matriz, y a su vez está sujeta fuertemente en la bancada de la prensa durante la etapa de trabajo. Hace la función de absorción de esfuerzos ya que recibe parte de la fuerza que la prensa aplique. En esta se montan también los postes guías y la matriz. Está construida en acero de medio o bajo carbono laminado, como SAE 1020; 1045. Puede ser de fundición gris, dependiendo del diseño y de los esfuerzos a que sea sometida. (Urquia, 2016)

1.5 Funcionamiento de los Troqueles Progresivos

Para diseñar un troquel progresivo es necesario conocer su funcionamiento. La placa pisadora y el pisador, al ir unidos, se desplazan a la vez (figura 1.8). La función de estas placas es fijar la banda antes de que las herramientas actúen. Para que se produzca el pisado y posteriormente baje el resto del troquel (figura 1.9), hay un margen de separación, al que se denomina carrera (Hoyos, Marzo de 2013).

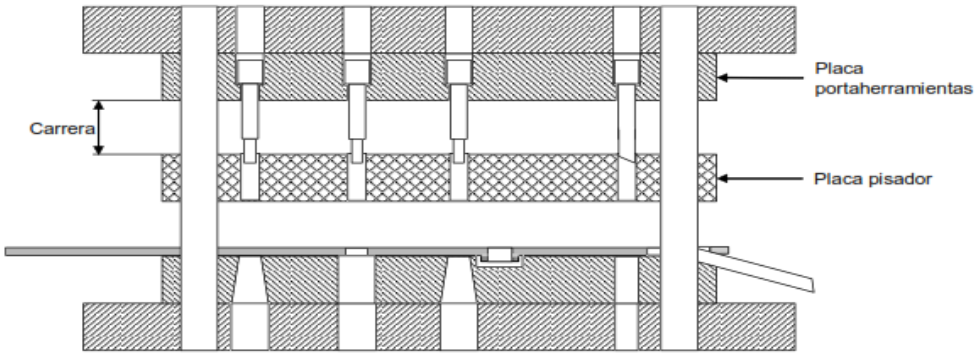


Figura 1.8 Troquel en su posición inicial

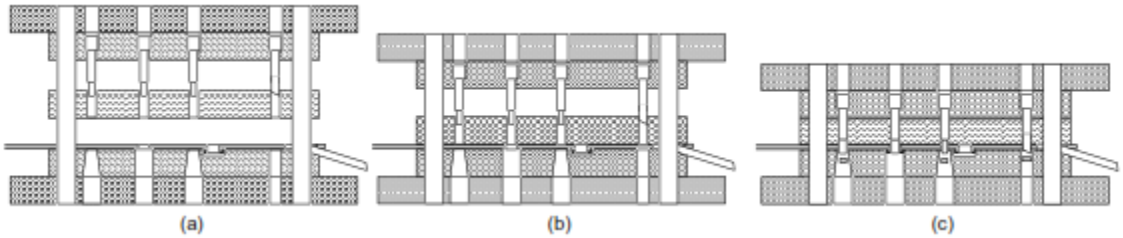


Figura 1.9 Proceso de trabajo del troquel

En la posición superior de la prensa el troquel está totalmente expandido (figura 1.9a). Al iniciar el descenso de la parte superior del troquel bajan todas las placas hasta que la placa pisadora alcanza la banda (figura 1.9b), momento en que se detiene, asegurando un correcto posicionamiento de la banda. La placa portaherramientas continúa con su movimiento descendente, introduciendo las herramientas a través de la placa pisador hasta la banda, en la que se realizan las operaciones, que finaliza cuando el troquel se cierra completamente (figura 1.9c).

A continuación, se inicia el ascenso, desacoplándose las herramientas en el primer tramo en que sigue sujeta la banda. Al iniciar el ascenso la placa pisador, se produce el avance de la banda, que se desplaza a la etapa siguiente, mientras la parte superior finaliza su ascenso (Fig. 14a). Este ciclo se repite indefinidamente. La distancia que avanza la banda entre una posición y la siguiente se denomina "paso" y es uno de los parámetros fundamentales en el diseño del troquel.

1.6 Procesos de fabricación que se pueden realizar con un troquel

Se muestran a continuación algunos de los procesos de fabricación de piezas que se realizan a través de los troqueles (figura 1.10), los cuales pueden ser empleados en la industria eléctrica, maquinaria, equipos industriales, automotrices, para el hogar o bien para oficinas.

Figura 1.10 Tipos de Troquelado

1.6.1 Procesos de corte

El corte o separación de la lámina se realiza por varios métodos, que dan un nombre específico al proceso, como son el cizallado, el punzonado y el recortado (David & Sanchez Flores, 2008).

El cizallado

Es un proceso similar a la operación de cortar papel con tijeras; hay dos formas muy usuales de cizallado: en guillotina y en cuchillas circulares (David & Sanchez Flores, 2008).

Punzonado y recortado

El punzonado o perforado (figura 1.11) consiste en cortar un agujero de forma cualquiera en una lámina o en una pieza de lámina previamente formada. Es una operación similar a la que realiza la perforadora de papel de oficina. El agujero es lo que se utiliza (David & Sanchez Flores, 2008).

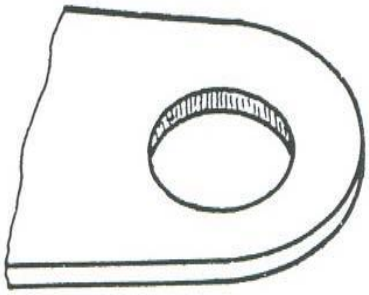


Figura 1.11 Punzonado

El recortado es una operación similar a la anterior, pero en este caso no es la perforación lo que importa, sino la pieza resultante de la forma del punzón (figura 1.12) (David & Sanchez Flores, 2008).

Figura 1.1 Recortado

1.6.2 Procesos de conformado

Doblado

Durante la operación es necesario evitar que la lámina experimente un alargamiento a fin de no alterar su espesor; lo anterior se logra mediante la regulación exacta de la carrera del punzón. Para las operaciones de doblar en general, es necesario considerar los siguientes factores: radios de curvatura interior y la elasticidad del material.

Estampado

El proceso de estampar consiste en formar piezas huecas de forma diversa, a partir de plantillas de lámina. El herramental utilizado, consiste también de un punzón y una matriz. Las piezas estampadas más sencillas son las cilíndricas.

Embutido

Este proceso es para hojas de metal, es operación de formación que transforma un disco plano de material en una copa hueca con fondo cerrado. Las operaciones de embutido también pueden crear cajas, así como otras formas más complicadas (Ricardo & Jiménez Alcántar, 2008).

1.7 Materiales y tratamientos térmicos en troqueles de corte y punzonado

Para realizar la selección de los materiales para la fabricación de los elementos de un troquel no se debe analizar solo las condiciones de trabajo a las que está sometido sino también los procesos que con él se realizan.

Una matriz destinada solamente a trabajos de embutición, permite el empleo de fundición de hierro o de metales ligeros; depende del volumen de rendimiento que se desee obtener. Sin embargo, los diversos aceros empleados en la construcción de esta clase de troqueles deben ser de alta resistencia al corte, muy estables al temple y de muy bajo índice de formabilidad. Para cada caso particular de aplicación, el acero debe seleccionarse cuidadosamente (Urquia, 2016).

Los elementos que forman un troquel deben tener alta resistencia a la compresión y al desgaste, por lo que se debe emplear en su fabricación aceros aleados con temple más revenido como tratamiento térmico en alguno de ellos.

Los troqueles deben tener una alta resistencia a la compresión y al desgaste, de modo que se deben utilizar aceros aleados con tratamiento de temple para fabricarlos. Sin embargo, la eficiencia de

las herramientas de troquelar depende no solamente del material, sino también de la calidad superficial de éstas. Las matrices nuevas tienen una duración notablemente mayor que aquellas manufacturadas, que han sido pulidas y alisadas de nuevo, después de haberse hecho rugosa su superficie. La calidad superficial de la pieza troquelada depende, en gran medida, del estado superficial de la herramienta, por lo tanto, las caras frontales del punzón y la matriz deben estar muy bien mecanizadas y sin rugosidades, de ser posible rectificadas y abrillantadas, ya que incluso la menor desigualdad se reproducirá en la forma de la pieza troquelada. Además, las rayas, aunque el proceso de troquelado se realice correctamente, ocasionan un agotamiento prematuro de la capacidad de conformación de la herramienta, debido a que van formando pequeñas grietas superficiales en la matriz que, con el paso del trabajo, la hacen inutilizable (Urquia, 2016).

1.7.1 Materiales empleados en la fabricación de los elementos principales de un troquel de corte

Los materiales empleados en la fabricación de un troquel se seleccionan en dependencia del elemento en cuestión, ya sea del conjunto superior o inferior. Para ambas bases, superior e inferior se emplea hierro fundido, hierro maleable, o aceros al carbono de mediana resistencia como SAE/AISI 1045. La placa porta punzones debe ser fabricada con aceros para trabajo en frío que presenten alta resistencia al desgaste, tenacidad y dureza. Se utiliza para los punzones materiales de alta resistencia al desgaste y con buena conservación del filo, algunas normas establecen el empleo de aceros para herramientas del tipo Y10A, Y8A* con una dureza de 54-58 HRc y se establece una rugosidad superficial de 0.8. Para la matriz se tiene en cuenta el número de piezas a fabricar, para grandes producciones se aprovechan materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste.

1.8 Parámetros necesarios para realizar el diseño de un troquel progresivo de corte y punzonado

Existen tres formas fundamentales de recibir la tarea para el diseño de un troquel, ellas son:

- ✓ Plano de la pieza a obtener
- ✓ Plano de la pieza obtenida por otro método de elaboración.
- ✓ Pieza a elaborar

Además, se debe conocer los siguientes datos:

- ✓ Material de la pieza a elaborar
- ✓ Cantidad de piezas a elaborar
- ✓ Espesor del material
- ✓ Dimensiones de la chapa
- ✓ Grado de precisión

Se brindan a continuación varios requisitos necesarios para realizar el diseño de un troquel de corte y punzonado a partir del plano de la pieza a obtener.

1.8.1 Verificación del plano de pieza

Se verifica el plano de pieza a partir del chequeo de los radios de empalme, teniendo en cuenta si son radios de empalme de contorno exterior o interior. Para ello se trabaja con la tabla 1 de la guía de troqueles, donde es necesario tener en cuenta el ángulo y el tipo de contorno (Levy, 1988).

Se determinan las tolerancias en todas las medidas libres de la pieza tomando como base las dimensiones del plano de pieza y el grado de precisión. Para ello se utilizan las tablas T-3, T-4, T-5, T-8 y T-10 guía de troqueles (Levy, 1988).

Se determina el diámetro mínimo a punzonar a partir de la tabla 2 y se realiza la verificación de las distancias entre los agujeros a punzonar y las distancias entre agujeros y el contorno exterior de la pieza, para esto se trabaja con la tabla 6 de la guía donde se entra con la forma del agujero (Levy, 1988).

1.8.2 Selección del troquel a utilizar

Para realizar la selección del troquel existen varios criterios, aunque en ocasiones se hace necesaria la toma de decisiones, esta selección se realiza en base a la cantidad de piezas que se van a producir y las tolerancias alcanzables por cada tipo de troquel, para ello se trabaja con las tablas: T-9 y T-10 (Levy, 1988).

1.8.3 Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento

Se realizan varios cálculos, como la distancia entre piezas (dpp), distancia entre piezas y borde de la chapa (dpb), se determina el paso (P), el ancho de la banda (B), número de bandas por chapa (Nb/ch), número de piezas por banda (Np/b), número de piezas por chapa (Np/ch), Estas

distancias ayudaran a determinar la variante más económica de ordenamiento de las piezas en la tira (chapa).

1.8.4 Ubicación de los punzones

La ubicación de los punzones consiste en marcar la posición y forma del diseño de la pieza obtenida anteriormente. A la hora de realizar esta ubicación se debe tener en cuenta que la tira siempre debe moverse de derecha a izquierda y que el punzonado se realiza primero (Levy, 1988).

1.8.5 Determinación del centro de fuerzas

Se le llama centro de fuerzas al punto donde se supone aplicada la fuerza resultante de las fuerzas aplicadas de cada punzón, este se calcula con el objetivo de hacer coincidir el centro de fuerzas con el eje del agujero para el vástago.

1.8.6 Cálculo del juego de corte

El juego de corte es la diferencia de diámetros entre la matriz y el punzón, influye en la calidad de la superficie de corte ya que a medida que este sea mayor peor será la calidad de esta superficie, influye además sobre la fuerza de corte debido a que a mayor juego menor será la fuerza de corte necesaria y viceversa. (Levy, 1988)

La magnitud del juego de corte determina en gran medida la calidad de la superficie de corte o sea que a mayor juego de corte menor calidad en la superficie de corte ya que el punzón corta un tercio del espesor de la chapa y los otros dos tercios se van por desgarradura. Si se tiene un juego de corte pequeño entonces aumenta la fuerza de corte.

1.8.7 Dimensionamiento de los elementos cortantes del troquel

Se hace necesario para dimensionar tanto el punzón como la matriz la utilización de las dimensiones y tolerancias de la pieza a fabricar. Este dimensionamiento se realiza en dos operaciones:

1. En el caso del recortado, de forma general se fijan las dimensiones por la matriz y por ella se ajusta el punzón. En la matriz con el inevitable desgaste a través de su explotación, las dimensiones van aumentando por lo que al fijarlas se deben tomar de forma tal que se acerquen a la menor medida de la pieza.

2. En el caso del punzonado las dimensiones se fijan por el punzón y la matriz se ajusta por este. En el punzón con el desgaste las dimensiones disminuyen, por lo que es necesario fijarlo con las mayores dimensiones permisibles.

1.8.8 Dimensionamiento de los elementos del conjunto inferior y el conjunto superior

Se determina y se normaliza las dimensiones de los elementos que componen ambos conjuntos del troquel:

- ✓ Placa Superior
- ✓ Placa sufridera en caso de que la necesite.
- ✓ Placa porta punzones
- ✓ Punzones
- ✓ Placa guía
- ✓ Guías laterales
- ✓ Topes
- ✓ Matriz
- ✓ Base inferior

1.8.9 Selección del tipo de máquina

Para seleccionar el tipo de prensa se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. El tipo de prensa y la magnitud de la carrera del cabezal deben corresponder con la operación tecnológica
2. La fuerza nominal de la prensa debe ser mayor o igual que la fuerza de corte calculada
3. La potencia de la prensa debe ser suficiente para realizar el trabajo calculado
4. La altura cerrada de la prensa debe ser mayor que la altura cerrada del troquel
5. Las dimensiones de la mesa deben ser mayores que las dimensiones del troquel seleccionado

Para realizar la selección de la prensa se emplean las tablas: T-20 y T-21, donde aparecen varias prensas con sus características más importantes. Se entra a la tabla con la fuerza de corte calculada, si no coincide con los valores de la tabla se toma el valor inmediato superior y después de efectuar dicha selección se realiza el chequeo de los demás parámetros.

1.9 Conclusiones del capítulo

- ✓ Se reúne información bibliográfica necesaria acerca de los troqueles. Sus clasificaciones, características fundamentales, funcionamiento y los principales parámetros que rigen su diseño.

CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL TROQUEL PROGRESIVO DE CORTE Y PUNZONADO

Se realiza a continuación la descripción y análisis funcional de la pieza, así como los cálculos pertinentes para el diseño del troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas.

2.1 Descripción de la pieza

La pieza que se analiza (figura 2.1), posee dimensiones de 78 mm de largo, 12 mm de ancho y 3 mm de espesor. Presenta dos agujeros de 8 mm de diámetro a 64 mm de distancia entre centros, situados a 7 mm de sus extremos teniendo estos últimos un radio de redondeo de 6 mm. Se quiere producir una cifra de 4 500 piezas con un grado de precisión de IT9, su material de fabricación es AISI 1010 que posee un módulo de elasticidad (E) igual a $2 * 10^5 MPa$ y una resistencia a la rotura o tracción de $\sigma_c = 25 \frac{kgf}{mm^2}$. Con estos valores son con los que se trabaja para su diseño.

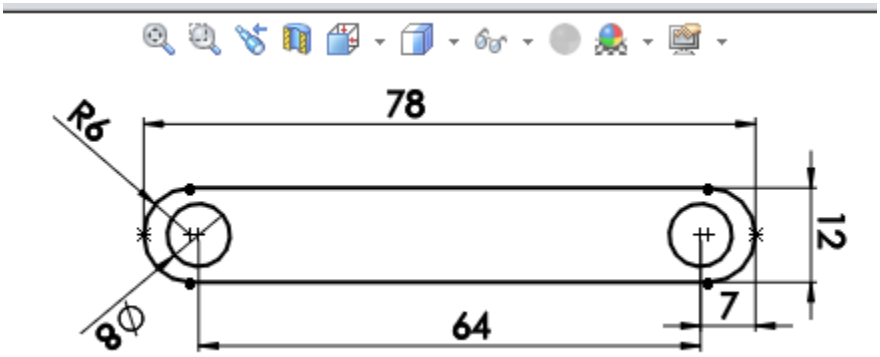


Figura 2.1 Pieza

2.2 Cálculos para el diseño del troquel progresivo de corte y punzonado para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas

2.2.1 Verificación del plano de pieza

Análisis de los contornos exteriores e interiores

La pieza no presenta contornos exteriores por lo que se analizan solo los contornos interiores (agujeros). Como el valor de $\propto > 90°$ se toma la siguiente expresión de la tabla 1 de la guía de troqueles (Levy, 1988).

Contornos interiores

$R_{min} \geq 0.35 * s$

$R_{min} \geq 0.35 * 3$

$\boldsymbol{R_{min} \geq 1.05\ mm}$

Desviaciones o tolerancias de distancias entre centros y entre centros y bordes

Se analizan a partir del croquis de la (figura 2.2)

C: Distancia del centro del agujero al centro de la pieza

C_2: Distancia entre el centro de todos los agujeros

C_4: Distancia del borde del agujero al borde de la pieza

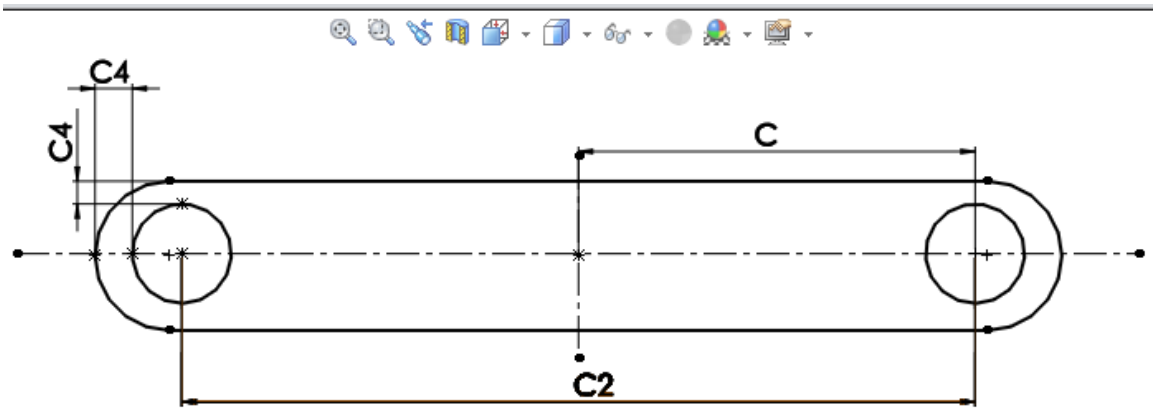


Figura 2.2 Distancia entre centros/centros y bordes

$C = 32\ \pm 0.2\ mm$

$C_2 = 64 \pm 0.2\ mm$

$C_4 = 3 \pm 0.6\ mm$

$C_4 = 2 \pm 0.6\ mm$

Tolerancia para medidas libres

Se toman los valores de tolerancia a partir de la tabla 8 guía de troqueles (Levy, 1988).

$12(\pm 0.043)\ mm$

$78\ (\pm 0.074)\ mm$

Verificación del diámetro mínimo a punzonar

$\frac{d}{s} = \frac{8}{3} = \mathbf{2.67\ mm} > 1\ mm\ (diámetro\ mínimo) se\ puede\ obtener\ por\ punzonado.$

Determinación de las desviaciones de los diámetros de los agujeros

Se toman los valores de la tabla 5 guía de troqueles (Levy, 1988).

$\emptyset 8\ \ (+0.09)\ mm$

Verificación de las distancias entre borde y borde de los agujeros y agujeros y contornos exteriores

Según la tabla 6 de la guía de troqueles los valores de a (figura 2.3) deben ser mayor que el espesor ($a > 3\ mm$) en toda la pieza. Al cumplirse que la longitud de $a < 3\ mm$ en partes de la pieza esta debe ser redimensionada para poder continuar su diseño, por tanto, se aumentan las dimensiones de ancho y largo de la pieza 1.5 mm ambos lados (figura 2.4), no variándose la distancia entre centros, para que se cumpla la condición $a > 3\ mm$, teniendo en cuenta las limitaciones de espacio.

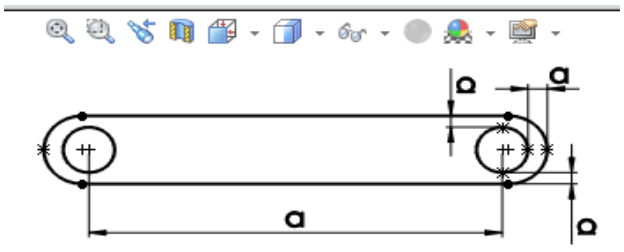


Figura 2.3 Valores de a

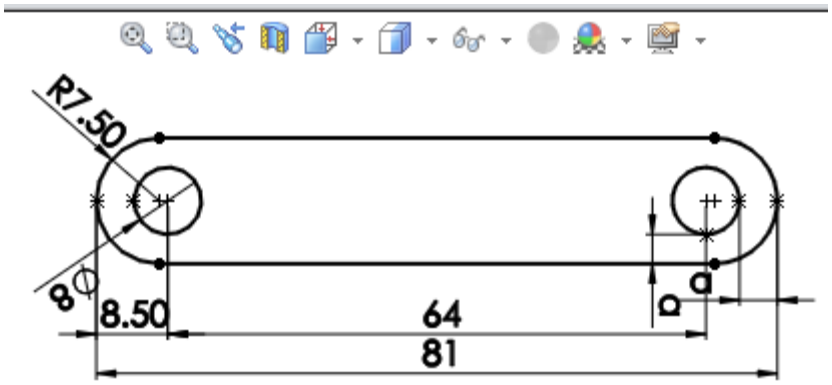


Figura 2.4 Agujeros y contornos exteriores

Se cumple que:

$a = 4.5\ mm > 3\ mm$

$a = 3.5\ mm > 3\ mm$

2.2.2 Selección del troquel

Para realizar dicha selección se debe tener en cuenta el número de piezas que se deben producir y se selecciona el troquel de acuerdo con la tabla 9 guía de troqueles (Levy, 1988). Se selecciona un troquel progresivo con placa guía.

2.2.3 Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento

Las variables que intervienen en el cálculo son las siguientes:

s $[mm]$: Espesor

dpp $[mm]$: Distancia pieza-pieza

dpb $[mm]$: Distancia pieza-borde

B $[mm]$: Ancho de la tira o banda

P $[mm]$: Paso

Hp $[mm]$: Altura de la pieza

Lp $[mm]$: Longitud de la pieza

Lch $[mm]$: Longitud de la chapa

Lb $[mm]$: Longitud de la banda

Ap $[mm^2]$: Área de la pieza

Ach $[mm^2]$: Área de la chapa

Para ordenamiento directo (figura 2.5)

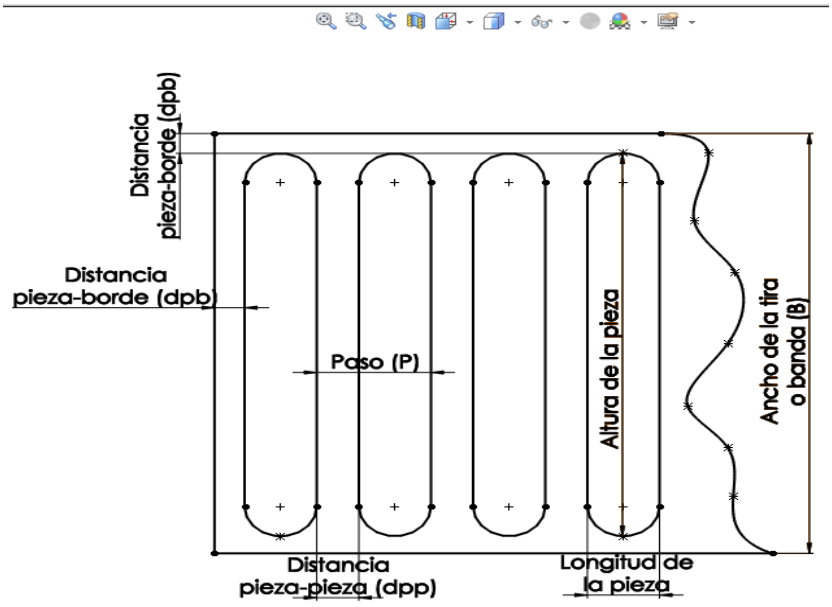


Figura 2.5 Ordenamiento directo

Cálculo el área de la pieza

$Ap = 66 * 15 + \pi * 7.5^2$

$Ap = 990 + 176.71$

$\boldsymbol{Ap = 1\,166.71\ mm^2}$

Se calcula la distancia pieza-pieza

$s \leq dpp \leq 1.5 * s$

$3 \leq dpp \leq 1.5 * 3$

$3 \leq dpp \leq 4.5$

$\boldsymbol{dpp = 4\ mm}$

Se calcula la distancia pieza-borde

$1.5 \leq dpb \leq 1.5 * s$

$1.5 \leq dpb \leq 1.5 * 3$

$1.5 \leq dpb \leq 4.5$

$\boldsymbol{dpb = 4\ mm}$

Se calcula el ancho de la tira o banda

$B = Hp + 2 * dpb$

$B = 81 + 2 * 4$

$\boldsymbol{B = 89\ mm}$

Se calcula el paso

$P = Lp + dpp$

$P = 15 + 4$

$\boldsymbol{P = 19\ mm}$

Se determina el número de bandas por chapa (Nb/ch)

Corte longitudinal

$Nb/ch = Lch/B$

$Nb/ch = 1000/89$

$\boldsymbol{Nb/ch = 11\ bandas/chapas}$

Corte transversal

$Nb/ch = Lch/B$

$Nb/ch = 2000/89$

$\boldsymbol{Nb/ch = 22\ bandas/chapas}$

Se determina el número de piezas por banda (Np/b)

$Np/b = Lb/P$

$Np/b = 2000/19$

$\boldsymbol{Np/b = 105\ piezas/bandas}$

$Np/b = Lb/P$

$Np/b = 1000/19$

$\boldsymbol{Np/b = 52\ piezas/bandas}$

Se determina el número de piezas por chapa (Np/ch)

$Np/ch = Np/b * Nb/ch$

$Np/ch = 11 * 105$

$\boldsymbol{Np/ch = 1155\ piezas/chapas}$

$Np/ch = Np/b * Nb/ch$

$Np/ch = 22 * 52$

$\boldsymbol{Np/ch = 1144\ piezas/chapas}$

Cálculo del coeficiente de aprovechamiento del material (K)

$K = \frac{Ap*Np/ch}{Ach} * 100\%$

$K = \frac{1166.71*1155}{2000000} * 100\%$

$\boldsymbol{K = 67.38\ \%}$

$K = \frac{Ap*Np/ch}{Ach} * 100\%$

$K = \frac{1166.71*1144}{2000000} * 100\%$

$\boldsymbol{K = 66.74\ \%}$

Para un ordenamiento opuesto (figura 2.6)

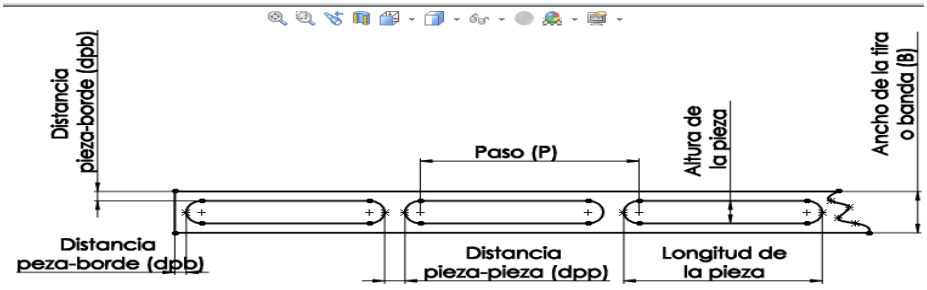


Figura 2.6 Ordenamiento opuesto

Se calcula el paso

$P = Lp + dpp$

$P = 81 + 4$

$\boldsymbol{P = 85\ mm}$

Se calcula el ancho de la tira o banda

$B = 15 + 2 * 4$

$\boldsymbol{B = 23\ mm}$

Se determina el número de bandas por chapa $(\boldsymbol{Nb/ch})$

Corte longitudinal	**Corte transversal**
$Nb/ch = Lch/B$	$Nb/ch = Lch/B$
$Nb/ch = 1000/23$	$Nb/ch = 2000/23$
$\boldsymbol{Nb/ch = 43\ \ bandas/chapas}$	$\boldsymbol{Nb/ch = 86\ bandas/chapas}$

Se determina el número de piezas por banda $(\boldsymbol{Np/b})$

$Np/b = Lb/P$	$Np/b = Lb/P$
$Np/b = 2000/85$	$Np/b = 1000/85$
$\boldsymbol{Np/b = 23\ piezas/bandas}$	$\boldsymbol{Np/b = 11\ piezas/bandas}$

Se determina el número de piezas por chapa $\boldsymbol{(Np/ch)}$

$Np/ch = Np/b * Nb/ch$	$Np/ch = Np/b * Nb/ch$
$Np/ch = 23 * 43$	$Np/ch = 11 * 86$
$\boldsymbol{Np/ch = 989\ piezas/chapas}$	$\boldsymbol{Np/ch = 946\ piezas/chapas}$

Cálculo del coeficiente de aprovechamiento del material $(\boldsymbol{K})$

$K = \frac{Ap*Np/ch}{Ach} * 100\%$	$K = \frac{Ap*Np/ch}{Ach} * 100\%$
$K = \frac{1166.71*989}{2000000} * 100\%$	$K = \frac{1166.71*946}{2000000} * 100\%$

$K = 57.69\ \%$ $K = 55.18\ \%$

Según los resultados obtenidos para un ordenamiento directo se obtiene un mayor coeficiente de aprovechamiento del material.

2.2.4 Ubicación de los punzones

La tira se mueve de derecha a izquierda y se realiza primero el punzonado como se muestra a continuación (figura 2.7).

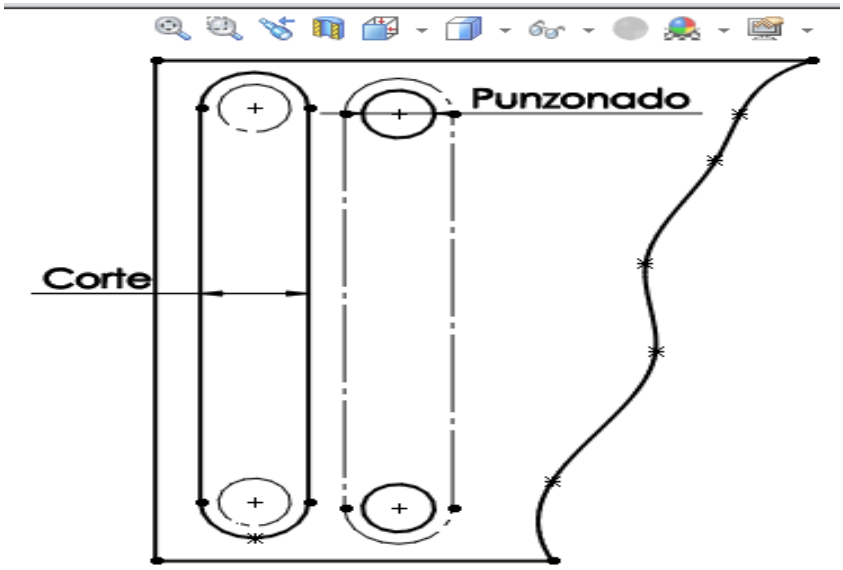


Figura 2.7 Ubicación de los punzones

2.2.5 Determinación del centro de fuerzas

Luego de ser calculado el centro de fuerzas a través de las tablas 2.1 y 2.2 se muestra su posición (figura 2.8).

Tabla 2.1 Determinación del centro de fuerzas

Partes	Perímetro de control L(mm)	X	Y	Lx	Ly
1	81	0	40.5	0	3280.5
2	47.12	7.5	2.7	353.4	127.224
3	81	15	40.5	1215	3280.5
4	47.12	7.5	78.3	353.4	3689.496
5	25.13	26.5	8.5	665.945	213.605
6	25.13	26.5	72.5	665.945	1821.925
Sumatoria	306.5	NO	NO	3253.69	12413.25

$OG = 0.64 * r$

$OG = 0.64 * 7.5$

$OG = 4.8\ mm$

Tabla 2.2 Centro de fuerzas

Cálculo del centro de fuerzas			
Centro de fuerzas en x		Centro de fuerzas en y	
CFx	∑Lx/∑L	CFy	∑Ly/∑L
CFx	10.61562806	CFy	40.5

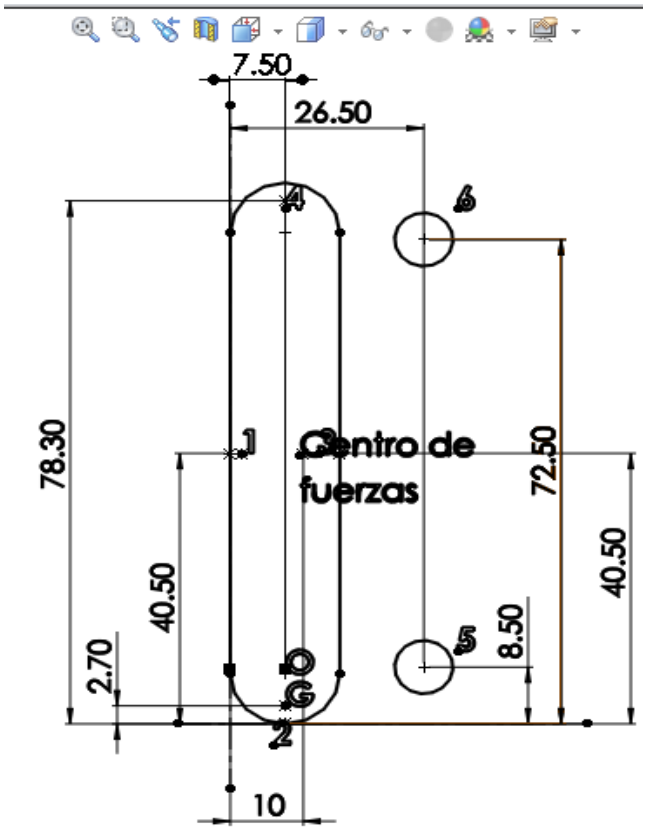


Figura 2.8 Centro de fuerzas

2.2.6 Cálculo del juego de corte y dimensionamiento de los elementos cortantes

Corte o recortado

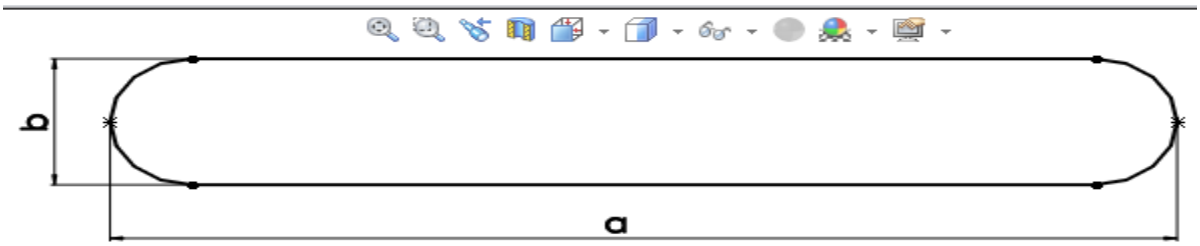


Figura 2.9 Corte

Medidas que aumentan (figura 2.9): a, b

Selección de las tolerancias de fabricación. Tabla 8, guía de troqueles (Levy, 1988)

Para la pieza	**Para la matriz**	**Para el punzón**
IT9	IT7	IT6
$a = 81 \pm 0.087\ mm$	0.035	0.022
$b = 15 \pm 0.043\ mm$	0.018	0.011

Juego de corte

Para espesores menores o iguales a 3 mm se cumple que $\mu = C * S * \sqrt{0.8 * \sigma_b}$. Para $\sigma_b \leq 50 \frac{kgf}{mm^2} \rightarrow C = 0.005$ y para $\sigma_b > 50 \frac{kgf}{mm^2} \rightarrow C = 0.01$.

$\mu = C * S * \sqrt{0.8 * \sigma_b}$

$\sigma_b = 32\ kgf/mm^2$ Tablas

$c = 0.005$

$\mu = 0.005 * 3 * \sqrt{0.8 * 32}$

$\mu = 0.076\ mm$

Dimensionamiento del agujero de la matriz

$Dm = (MN_a + EI)^{+\delta m}$

$Dm = (81 - 0.043)^{+0.035}$

$\boldsymbol{Dm = 80.957^{+0.035}\ mm}$

$Dm = (MN_b + EI)^{+\delta m}$

$Dm = (15 - 0.021)^{+0.018}$

$\boldsymbol{Dm = 14.979^{+0.018}\ mm}$

Dimensionamiento del punzón

$dp = (Dm - 2 * \mu)^{-\delta p}$

$dp = (80.957 - 2 * 0.076)^{-0.022}$

$\boldsymbol{dp = 80.805^{-0.022}\ mm}$

$dp = (Dm - 2 * \mu)^{-\delta p}$

$dp = (14.979 - 2 * 0.076)^{-0.011}$

$\boldsymbol{dp = 14.827^{-0.011}}$

Punzonado (figura 2.10)

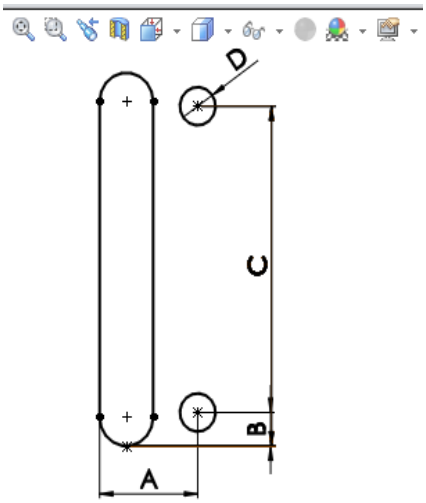


Figura 2.10 Punzonado

$A = 26.5\ mm$

$C = 72.5\ mm$

$B = 8.5\ mm$

$D = 8\ mm$

Medidas que disminuyen

Selección de las tolerancias de fabricación. Tabla 8, guía de troqueles (Levy, 1988)

Para la pieza IT9	**Para la matriz IT7**	**Para el punzón IT6**
$D = 8\,mm\ \pm 0.036$	± 0.015	± 0.009

Dimensionado del punzón

$dp = (Mn + es + Fe)^{-\delta p}$

$\mu_0 = \frac{\mu}{s} * 100\%$

$\mu_0 = \frac{0.076}{3} * 100\%$

$\boldsymbol{\mu_0 = 2.53\ \%}$

Con este valor y para obtener una dureza alrededor de los 150 HV se entra al moograma anexo 12 y se obtiene: $Fe = 0.021\,mm$

$dp = (8 + 0.018 + 0.021)^{-0.009}$

$\boldsymbol{dp = 8.039^{-0.009}\ mm}$

Dimensionado del agujero de la matriz

$Dm = (dp + 2 * \mu)^{+\delta m}$

$Dm = (8.039 + 2 * 0.076)^{+0.015}$

$\boldsymbol{Dm = 8.19^{+0.015}\ mm}$

Medidas relativas para la matriz

Variables	**Pieza IT9**	**Matriz IT7**
$A = 26.5\,mm$	±0.52	±0.021
$B = 8.5\,mm$	±0.36	±0.015
$C = 72.5\,mm$	±0.74	±0.030

$Dm = (MN_A + EI)^{+\delta m}$ $Dm = (MN_b + EI)^{+\delta m}$ $Dm = (MN_c + EI)^{+\delta m}$

$Dm = (26.5 - 0.26)^{+0.021}$ $Dm = (8.5 - 0.18)^{+0.015}$ $Dm = (72.5 - 0.37)^{+0.030}$

$\boldsymbol{Dm = 26.24^{+0.021}\ mm}$ $\boldsymbol{Dm = 8.32^{+0.015}\ mm}$ $\boldsymbol{Dm = 72.13^{+0.030}\ mm}$

Croquis de la matriz (figura 2.11)

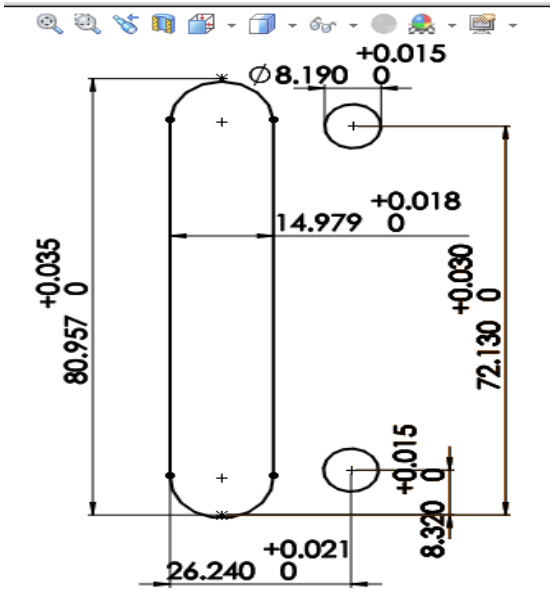


Figura 2.11 Matriz

Croquis del punzón (figura 2.12)

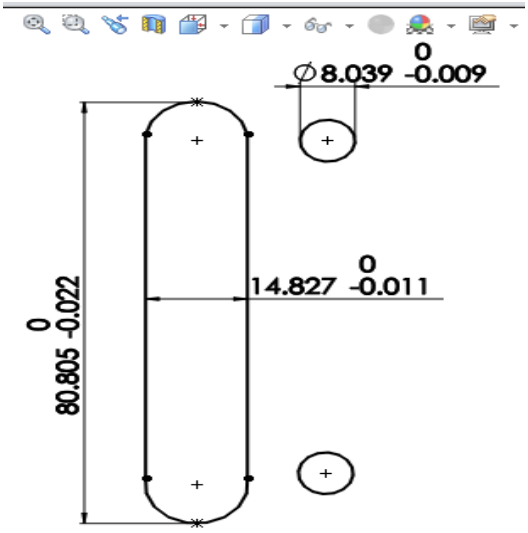


Figura 2.12 Punzón

Diseño del punzón

Se fabrica según la norma cubana NC 9-48 (figura 2.13), los parámetros se muestran en la tabla 3.3.

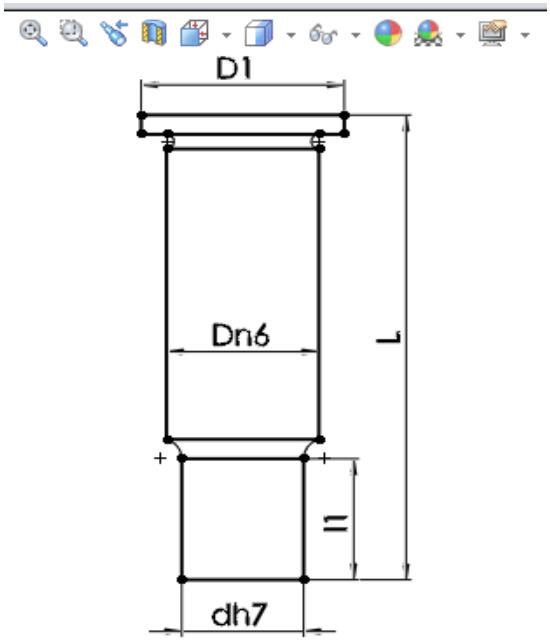


Figura 2.13 Punzón

Tabla 2.3 Dimensiones del punzón

d h7		L	l	d_1	Dn6	D_1	l_1
Más de	a						
7	9	75	--------	-------	10	14	10

2.2.7 Dimensionamiento de los elementos del conjunto inferior

Cálculo de la superficie de trabajo $(b_2 * l_1)$.

$b_2 = B + 2 * |\Delta B| + E$

ΔB: Tolerancia del ancho de la tira o banda. Se toma una calidad de corte igual a 1 y se entra con el espesor y el ancho de la chapa. Tabla 1.5 pág. 57 libro de texto: Herramientas de conformar (Gallardo, 1983).

E: Juego entre la banda o tira y las guías laterales Tabla 1.6 pág. 58 libro de texto: Herramientas de conformar (Gallardo, 1983).

$b_2 = 89 + 2 * |-0.6| + 1.5$

$b_2 = 90.7\ mm$

$l_1 = 2 * (ancho\ de\ la\ pieza) + 2 * 20 + dpp - (dpb + dpp)$

$l_1 = 2 * 15 + 2 * 20 + 4 - 8$

$l_1 = 66\ mm$

$(b_2 * l_1) \rightarrow (90.7 * 66)$: Se normaliza la superficie libro de texto: Herramientas de conformar pág. 53, se toma $(113 * 122)$ (Gallardo, 1983).

$b_1 = 157\ mm$

$l_1 = 122\ mm$

$l_3 = 172\ mm$

$S_3 = 27\ mm$

$e_1 = 135\ mm$

$e_2 = 105\ mm$

$e_3 = 75\ mm$

$b_1 = b_2 + 2 * \frac{b_3}{2}$

$b_3 = b_1 - b_2$

$b_3 = 157 - 113$

$b_3 = 44\ mm$

$b_5 = 207\ mm$

$S_4 = 32\ mm$

$S_1 = 27\ mm$

$S_2 = 8\ mm$

Dimensionamiento de la matriz (figura 2.14)

$b_1 = 157\ mm$

$l_1 = 122\ mm$

$S_3 = 27\ mm$

$e_1 = 135\ mm$

$e_2 = 105\ mm$

$e_3 = 75\ mm$

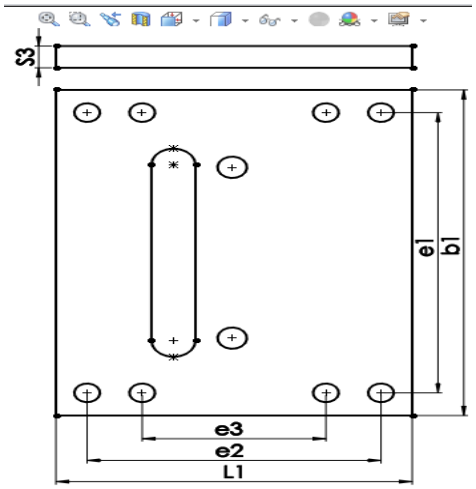


Figura 2.14 Croquis de la matriz

Dimensionamiento de la placa guía (figura 2.15)

$b_1 = 157\ mm$ $e_1 = 135\ mm$

$l_1 = 122\ mm$ $e_2 = 105\ mm$

$S_4 = 32\ mm$ $e_3 = 75\ mm$

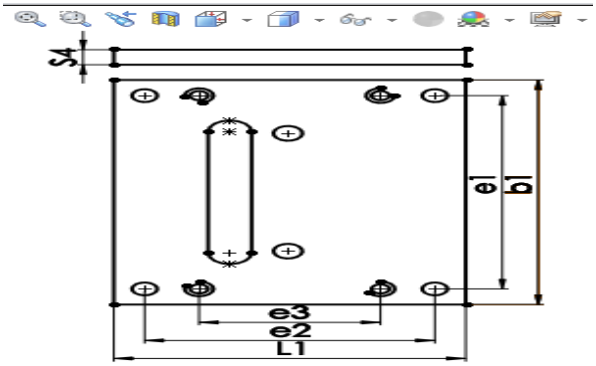


Figura 2.15 Croquis de la placa guía

Encastre

$D = dt + (5 \div 6)mm$ $h = dt + 1$

$dt = 8\ mm\ (diámetro\ del\ tornillo)$ $h = 9\ mm$

$D = 13\ mm$

Dimensionamiento base inferior (figura 2.16)

$l_3 = 172\ mm$ $e_1 = 135\ mm$

$b_5 = 207\ mm$ $e_2 = 105\ mm$

$S_4 = 32\ mm$ $e_3 = 75\ mm$

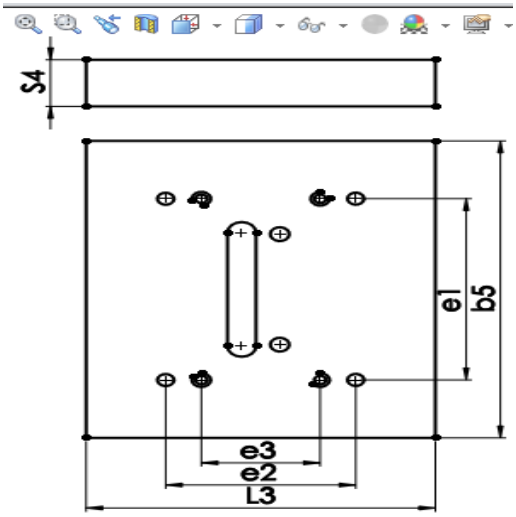


Figura 2.16 Croquis base inferior

Dimensionamiento guías laterales (figura 2.17)

Se calcula el ancho de las guías laterales para las medidas normalizadas.

$Ancho = \frac{122-(86+1.5)}{2} = 17.25\ mm$

$l_3 = 172\ mm$ $e_3 = 75\ mm$

$e_2 = 105\ mm$ $S_2 = 8\ mm$

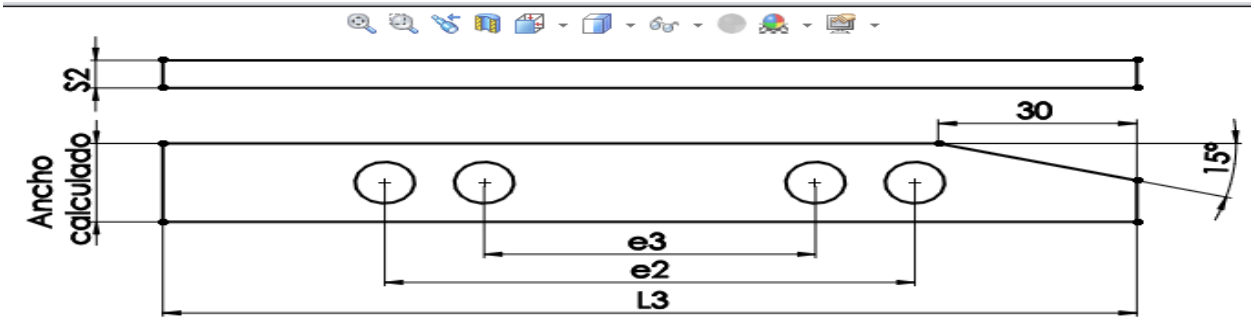


Figura 2.17 Croquis guías laterales (cantidad 2)

Tope inicial móvil.

Las dimensiones del tope inicial se pueden obtener en la NC 09-52 (figura 2.18) entrando con el espesor de la guía lateral. Para $S_2 = 8\ mm$ se obtienen los valores de la tabla 2.4.

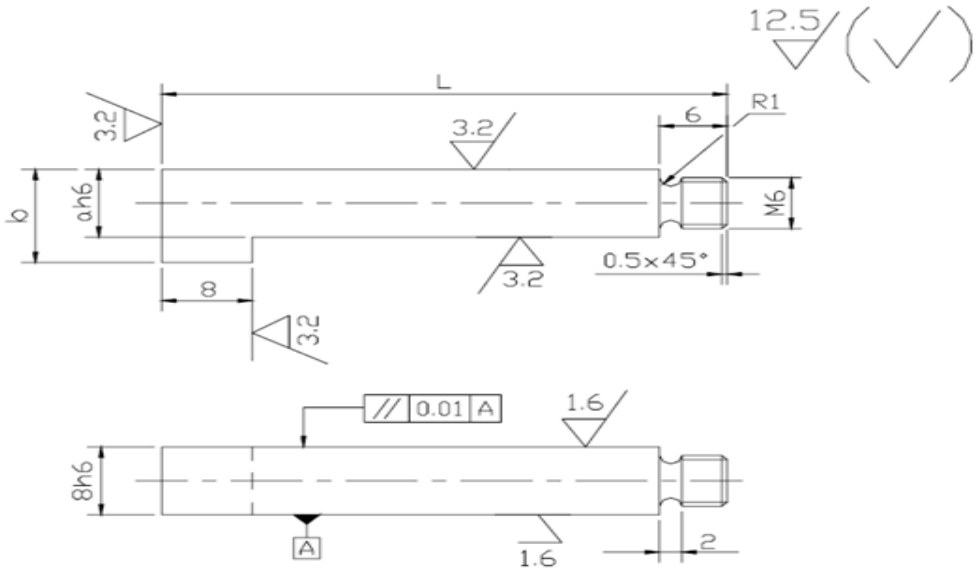


Figura 2.18 Dimensiones tope móvil

Tabla 2.4 Dimensiones del tope inicial

Espesor de la guía lateral	b	a h6		L
8	8	Nominal	Ajuste	45/48
		5	0 -0.008	

Tope fijo

Dimensiones del tope fijo sin cabeza según la NC 09-43 (figura 2.19), se toman los valores de la tabla 2.5.

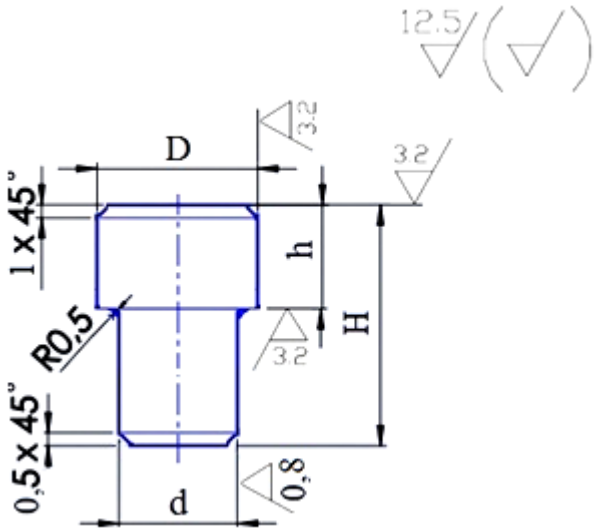


Figura 2.19 Dimensiones tope fijo

Tabla 2.5 Dimensiones del tope fijo

Dh11	dn7	d1 H7	h	H
8	6		10	20

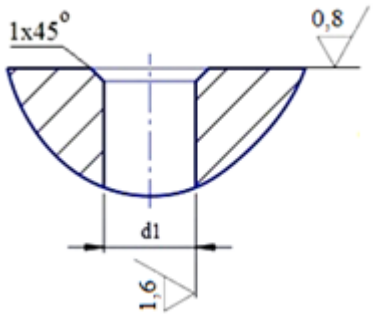


Figura 2.20 Agujero en la matriz para tope fijo

2.2.8 Dimensionamiento de los elementos del conjunto superior

Vástago

Se construye según la norma NC 09-15-B que se muestra en la tabla 2.6 a partir de las dimensiones del agujero del cabezal en milímetros, donde se toma un valor de 63 mm.

Tabla 2.6 Dimensiones para el vástago

d h11 (mm)	d_2	d_3	l_1	L	s	h	h_1
65	M45x3	10	50 63	l_1+100	8	8	15

Dimensionamiento placa porta punzones (figura 2.21)

$b_1 = 157\ mm$ $e_2 = 105\ mm$

$l_1 = 122\ mm$ $S = 16\ mm$

$e_1 = 135\ mm$

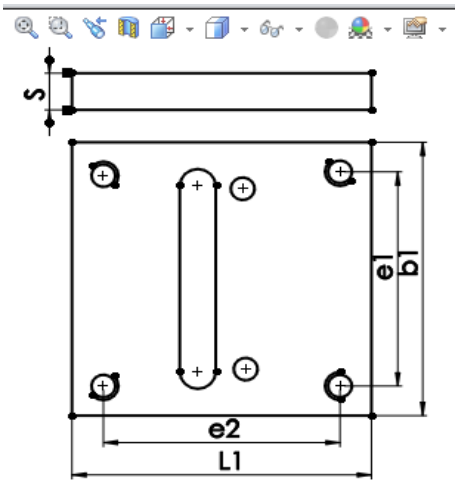


Figura 2.21 Croquis placa porta punzones

Dimensionamiento placa sufridera

Se determina si el troquel lleva o no placa sufridera. Se realiza para el diámetro de la sección menor

$\emptyset = 8\ mm$

$\sigma_{ap} = \frac{F_c}{A_p}$

$F_c = P_c * S * Z * 1.3$

$Z = \sigma_c\ para\ Acero\ AISI\ 1010\ se\ cumple\ que\ \sigma_c = 25 \frac{kgf}{mm^2}$

$P_c = \pi * d$

$P_c = 25.13\ mm$

$F_c = 25.13\ mm * 3\ mm * 25 \frac{kgf}{mm^2} * 1.3$

$F_c = 2450.18$

$A_p = \frac{\pi * d^2}{4}$

$A_p = 50.27\ mm$

Entonces $\sigma_{ap} = \frac{F_c}{A_p}$

$\sigma_{ap} = 48.74\ kgf \quad es\ mayor\ que\ [\sigma_{ap} = 18\ kgf]. El\ troquel\ sí\ lleva\ placa\ sufridera.$

Dimensiones (figura 2.22)

$b_1 = 157\ mm$ $\qquad$ $e_2 = 105\ mm$

$l_1 = 122\ mm$ $\qquad$ $S = 4\ mm$

$e_1 = 135\ mm$

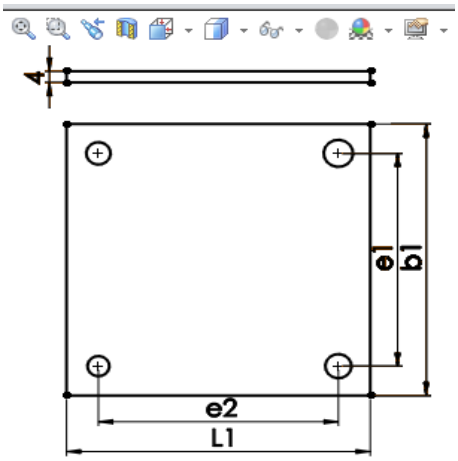


Figura 2.22 Croquis placa sufridera

Dimensionamiento placa superior (figura 2.23)

$b_1 = 157\ mm$ $e_2 = 105\ mm$

$l_1 = 122\ mm$ $K = 23$

$e_1 = 135\ mm$

Encastre

$D = dt + (5 \div 6)mm$ $h = dt + 1$

$dt = 10\ mm\ (diámetro\ del\ tornillo)$ $h = 11\ mm$

$D = 15\ mm$

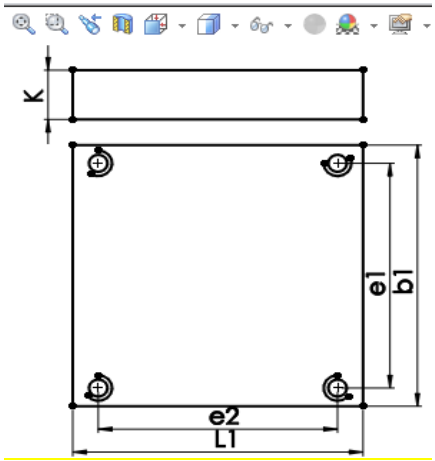


Figura 2.23 Croquis placa superior

2.2.9 **Cálculo de las coordenadas en el centro de fuerzas de la placa superior** (figura 2.24)

$$Cfy = \frac{b_1 - Altura}{2} + Cfy(calculado)$$

$$Cfy = \frac{157 - 80.957}{2} + 40.5$$

$$\boldsymbol{Cfy = 78.52\ mm}$$

$$Cfx = \frac{l_1 - Ancho}{2} + Cfx(calculado)$$

$$Cfx = \frac{122 - 26.24}{2} + 10.62$$

$$\boldsymbol{Cfx = 58.5\ mm}$$

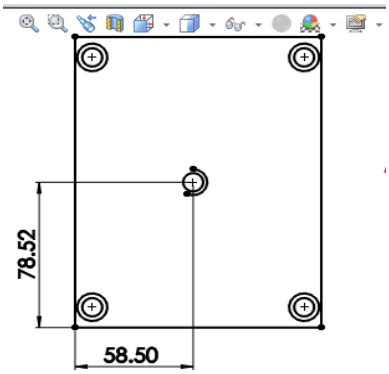


Figura 2.24 Centro de fuerzas

2.2.10 Selección de la prensa

$$Fc = \sum Pc * S * \delta c * 1{,}3$$

$$\sum Pc = 2 * \pi * 7.41 + 2 * 65.99 + 2 * \pi * 8.039$$

$$\sum Pc = 229.05\ mm$$

$$\delta c = 32\ kgf$$

$$Fc = 229.05 * 3 * 32 * 1{,}3$$

$$Fc = 28585.31\ kgf\ que\ son\ 28.59\ t$$

En la tabla 20 guía de troqueles se selecciona una prensa LE-400 fija-25t

Diámetro del agujero del cabezal 65 mm

2.2.11 Longitud del punzón

$$Lp = (1 \div 2) + gl + pg + (15 \div 30) + ppp$$

$Lp = 1 + 8 + 32 + 18 + 16$

$Lp = 75\ mm$

Como 75 mm > 60 mm hay que chequear a pandeo.

$Lmax = \sqrt{\frac{\pi^2 * E * I}{F_c}}$

$I = \pi * r^3$

$I = \pi * 4.02^3$

$I = 204.1\ mm^3$

$Lmax = \sqrt{\frac{\pi^2 * 2 * 10^5 * 204.1}{28585.31}}$

$Lmax = 118.7\ mm$

3.1 Conclusiones del capítulo

- ✓ Se realizaron los cálculos correspondientes con el diseño del troque progresivo de corte y punzonado, seleccionando las dimensiones según las normas establecidas y los valores normalizados en las tablas empleadas para el diseño
- ✓ Se da un croquis de cada elemento diseñado señalando sus dimensiones principales

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL DISEÑO DEL TROQUEL

En este capítulo se realiza el análisis económico del troquel. La descripción de cada elemento diseñado, así como el material que se emplea en su fabricación, tratamiento térmico del mismo y se muestra una imagen en isométrico de los resultados obtenidos en el diseño del troquel.

3.2 Análisis económico

Tabla 3.1 Ficha de costo del troquel

MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS MINISTERIO DE ECONOMIA Y PLANIFICACION FICHA PARA PRECIOS Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES.			
EMPRESA: INPUD	**Descripción del Producto: Tq. Corte y punz soporte del pivote gato de 5 toneladas**		
Código: 103.0.1125			
Organismo: SIME			
Plan de Producción:	**Código: 3190910171101509**		
Producción período anterior:	**UM: Uno**		
Capacidad instalada:	**% de capacidad utilizada:**		
Concepto de gastos	**Fila**	**Moneda total**	**De ello: CUC**
1	2	3	4
Materia Prima y Materiales	**1**	**1445.9352**	**469.3660**
Materias primas y materiales fundamentales	1.1	547.3825	468.1679
Combustibles y lubricantes	1.2	1.1981	1.1981
Energía eléctrica	1.3	897.3360	0.0000
Agua	1.4	0.0186	0.0000
Sub total (Gastos de elaboración)	**2**	**5387.6585**	**1249.9997**
Otros Gastos directos	**3**	**262.5400**	**108.6707**
Depreciación	3.1	262.5400	
Arrendamiento de equipos	3.2		
Ropa y calzado (Trab. Directos)	3.3		108.6707
Gastos de fuerza de trabajo	**4**	**1340.4761**	**465.5000**
Salarios	4.1	1228.7800	
Vacaciones	4.2	111.6961	

Estimulación en Divisas	4.5		465.5000
Gastos indirectos de producción	**5**	**2457.5600**	**405.4974**
Depreciación	5.1	122.8780	
Mantenimiento y reparación	5.2	442.3608	224.8667
Gastos generales y de administración	**6**	**1105.9020**	**159.7414**
Combustibles y lubricantes	6.1	17.2029	17.2029
Energía eléctrica	6.2	1.2288	1.2288
Depreciación	6.3	51.6088	
Ropa y Calzado	6.4		27.1677
Alimentos	6.5		63.0375
Otros	6.6	1035.8615	51.1045
Gastos de Distribución y Ventas	**7**	**221.1804**	**110.5902**
Combustibles y lubricantes	7.1	11.0590	11.0590
Energía eléctrica	7.2		
Depreciación	7.3	136.3946	
Ropa y Calzado	7.4		5.4335
Otros	7.5	73.7268	94.0976
Gastos Bancarios	**8**		
Gastos Totales o Costo de Producción	**9**	**6833.59**	**1719.37**
Margen utilidad s/ base autorizada	**10**	1077.5317	
Contribución a la Seguridad Social (12.5%)		167.5595	
Impuesto sobre el Salario (5%)		67.0238	
PRECIO	**11**	**8145.71**	
% Sobre el gasto en divisas (10%)	**12**		171.9366
COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES	**13**		**1891.30**
Aprobado por: Marisel Montero Lago	**Firma:**	**Cargo:** Directora	**Fecha:** 1/12/2017

La tabla 3.1 corresponde a la ficha de costo del troquel, en la cual se encuentran los gastos de producción de esta herramienta en moneda total y en pesos convertibles CUC. La materia prima y materiales empleados en la fabricación constituyen un costo total de $ 1 445.9352 y de ellos $ 469.3660 en CUC, los gastos de elaboración se remontan a un total de $ 5 387.6585 y de ellos $ 1 249.9997 en CUC con unos gastos directos de $ 262.5400 y $108.6707 en CUC.

La fuerza de trabajo representa un gasto total de $ 1 340.4761 y de ellos $ 465.5000 en CUC, los gastos indirectos de producción son $ 2 457.5600 de ellos $ 405.4974 en CUC. Se puede apreciar que los gastos generales de administración escalan a un total de $ 1 105.9020 de ellos $ 159.7414 en CUC donde los gastos de distribución de ventas representan un costo total de $ 221.1804 de ellos $ 110.5902 en CUC.

Por lo que se tiene como costo total de producción del troquel $ 6 833.59 y de ellos $ 1 719.37 en CUC y finalmente en caso de comercializar esta herramienta, saldría al mercado con un precio total de $ 8 145.71 y de ellos $ 1 891.30 en CUC.

En esta investigación se utilizará el Índice de Rentabilidad o Costo/Beneficio (B/C), como también suele denominarse.

El análisis B/C es una técnica importante dentro del ámbito de la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de todos los costes y beneficios derivados directa e indirectamente de dicho proyecto, prestando atención a la importancia y cuantificación de sus consecuencias sociales y/o económicas. (Abreu, 2016)

La razón B/C o índice neto de rentabilidad es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC). Se considera que:

$$B/C = VAI/VAC$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad. Por lo que si B/C > 1, el proyecto es rentable.

Para la evaluación del proyecto propuesto se tuvo en cuenta varias premisas como son:

1. La inversión se analiza para cinco años de vida útil
2. La evaluación se realizó en moneda total
3. Se aplicó el 12.5 % estipulado por el Ministerio de Finanzas y Precios (MFP) como contribución a la seguridad social
4. Se aplicó el 10 % como impuesto sobre el salario establecido en la Ley 73 del Sistema Tributario
5. La tasa de actualización utilizada para el estudio es del 12 %,
6. Como margen comercial se estableció el 10% por encima del costo en CUC.
7. Para calcular el factor de actualización se ha utilizado la fórmula $\sum IT/(1+k)^n$ donde k es la tasa de actualización y n el número de años que se evalúa la inversión.

Se establece que

$$B/C = \frac{\sum IT\ actualizados}{\sum CT\ actualizados}$$

$$IT = cantidad\ de\ artículos\ en\ un\ año * precio$$

$$IT = 1 * 8\ 145.71$$

$$IT = 8\ 145.71\ MT$$

$$IT\ actualizados = \frac{IT * vida\ útil}{(1+0.12)\text{^}5}$$

$$IT\ actualizados = \frac{8\ 145.71 * 5}{(1+0.12)\text{^}5}$$

$$IT\ actualizados = 23\ 110.47\ MT$$

$$CT = cantidad\ de\ artículos\ en\ un\ año * gastos\ totales\ o\ costo\ de\ producción$$

$$CT = 1 * 6\ 833.59$$

$$CT = 6\ 833.59\ MT$$

$$CT\ actualizados = \frac{CT * vida\ útil}{(1+0.12)\text{^}5}$$

$$CT\ actualizados = \frac{6\ 833.59 * 5}{(1+0.12)\text{^}5}$$

$$CT\ actualizados = 19\ 387.81\ MT$$

Según los resultados obtenidos anteriormente se presenta la tabla 3.2

Tabla 3.2 Resultados

Conceptos	Valores(MT)
Ingresos anuales	$ 8 145.71
Costos anuales	$ 6 833.59
Ingresos totales actualizados	$ 23 110.47
Costos totales actualizados	$19 387.81

Se determina

$B/C = 23\ 110.47/19\ 387.81$

$B/C = 1.19\ es\ mayor\ que\ 1$

Como se muestra, el índice de rentabilidad es mayor que 1, por lo que la propuesta de diseño del troquel para la fabricación del soporte del pivote de un gato de cinco toneladas es viable ya que los ingresos que se generan superan los costos infringidos.

3.3 Descripción de los elementos del conjunto superior

3.3.1 Vástago

Es el elemento mecánico que une el conjunto superior a la prensa (figura 3.1), su plano de pieza se encuentra en el Anexo 1. El material que se emplea en su elaboración es Acero AISI 1045 y no se le realiza tratamiento térmico. Este puede una ranura en su parte superior o un agujero pasante, necesarios para ser roscado en la placa superior.

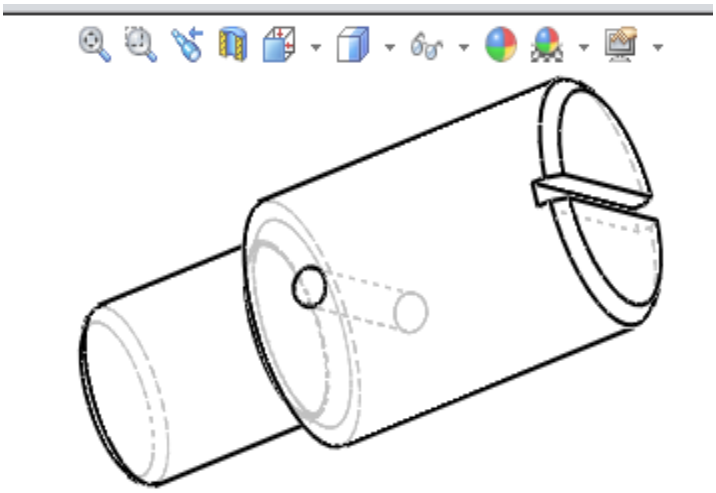


Figura 3.1 Vástago

3.3.2 Placa superior

La placa superior (figura 3.2) es el elemento móvil del conjunto superior del troquel que se una a la prensa a través del vástago, presenta un agujero roscado en su centro de fuerzas con una rosca métrica de M45x3 que es donde se ubica el mismo, cuatro agujeros pasantes de diámetro 10.5 milímetros, con encastre en cada uno de ellos, su plano de pieza se encuentra en el Anexo 2. Se elabora a partir de las medidas normalizadas obtenidas en el capítulo anterior. El material que se emplea es acero AISI 1045 y no se le aplica tratamiento térmico.

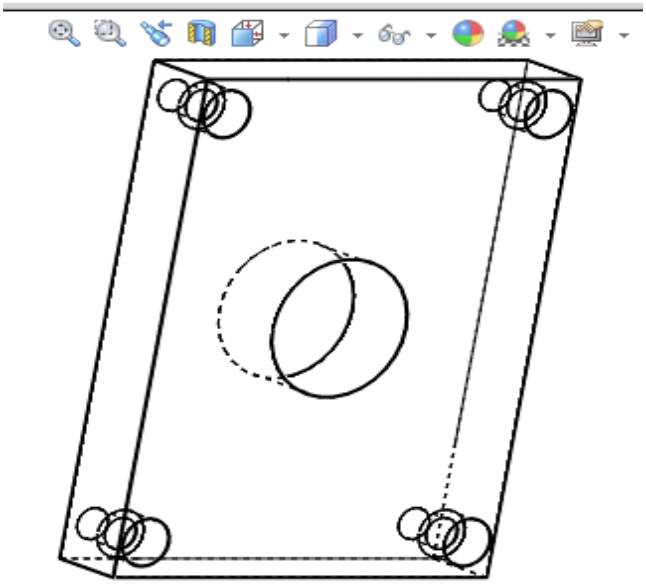


Figura 3.2 Placa Superior

3.3.3 Placa sufridera

Como el centro de fuerzas coincide con uno de los punzones el troquel lleva placa sufridera (figura 3.3), además se demuestra de manera lógica a través de métodos matemáticos. Su plano de pieza se encuentra en el Anexo 3. Se toman las medidas obtenidas durante el diseño en el capítulo anterior, se tienen en cuenta los agujeros pasantes para los elementos de unión. El material que se emplea es acero para herramientas Y9 y se le aplica un temple más revenido como tratamiento térmico hasta alcanzar un valor de dureza hasta los 45 HRc.

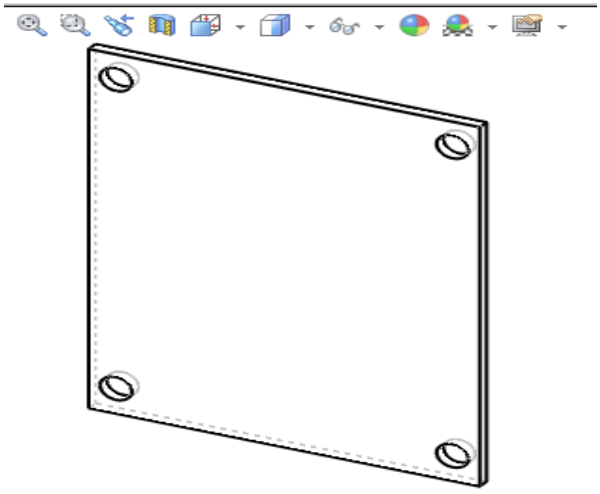


Figura 3.3 Placa Sufridera

3.3.4 Punzón

Los punzones (figura 3.4) son los elementos que realizan el corte, su plano de pieza se encuentra en el Anexo 4. Los materiales que se emplean para su construcción deben tener alta resistencia al desgaste y con muy buena conservación del filo, se emplea en este caso acero para herramientas Y10A, que pueden alcanzar una dureza de 56-58 HRc.

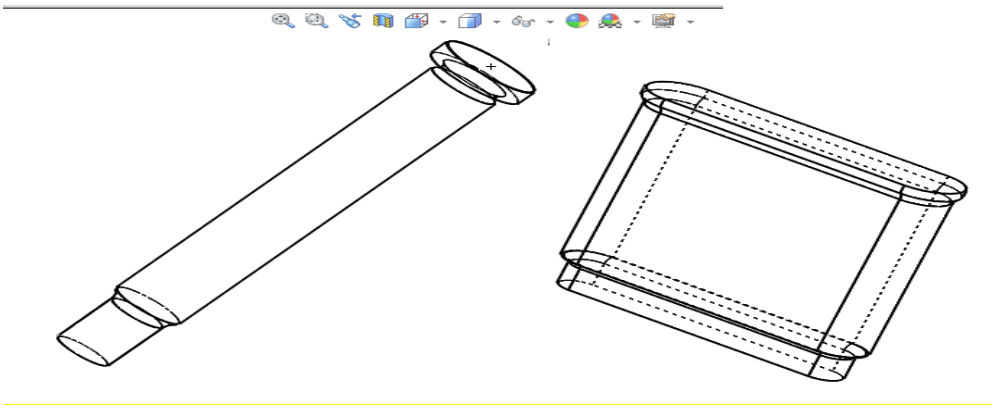


Figura 3.4 Punzón

3.3.5 Placa porta punzón

Se parte de las medidas normalizadas obtenidas durante el diseño en el capítulo anterior, se tiene en cuenta también los agujeros para los punzones y los agujeros roscados para los elementos de unión, los encastres y acabado superficial (figura 3.5). El acero que se emplea en este caso es AISI: 1045 para trabajos de baja y mediana exigencia o de alta calidad y resistencia, no se le realiza tratamiento térmico. El plano de pieza se brinda en el Anexo 5.

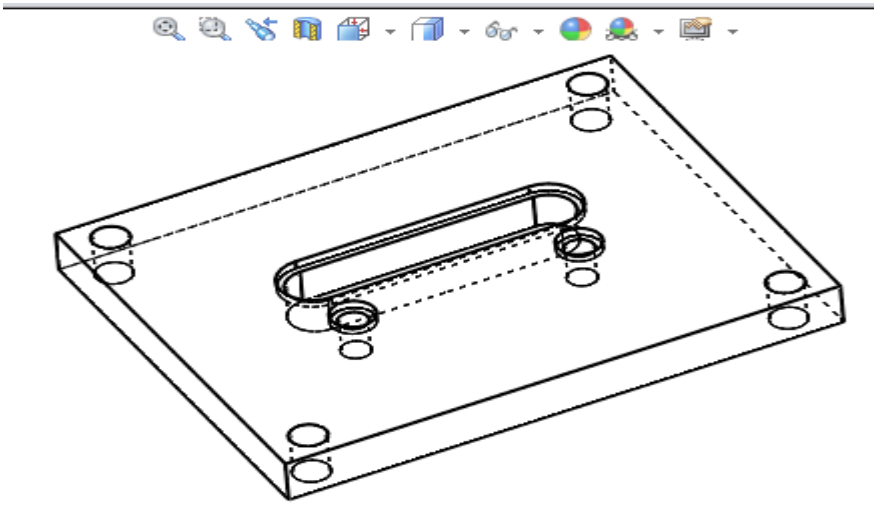


Figura 3.5 Placa porta punzón

3.4 Descripción de los elementos del conjunto inferior

3.4.1 Placa guía

La placa guía (figura 3.6) como su nombre lo indica, tiene la función de ser de guía a los punzones antes de entrar a la matriz. Se tiene en cuenta los valores de acabado superficial, encastre, biseles y uniones roscadas para la elaboración de la placa guía. Su plano de pieza se muestra en el Anexo 6 junto con los valores normalizados determinados en el capítulo anterior. El acero que se emplea para su elaboración es AISI 1045 y no lleva tratamiento térmico.

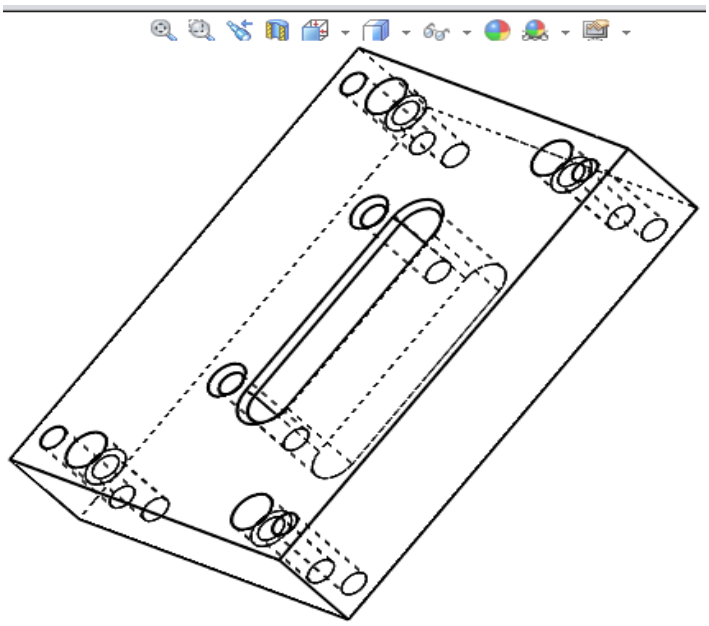


Figura 3.6 Placa Guía

3.4.2 Guías laterales

Las guías laterales (figura 3.7) como su nombre lo indican son las encargadas de que la tira o banda entre de manera correcta al troquel. Su plano de pieza se encuentra en el Anexo 7. Presenta cuatro agujeros pasantes donde van ubicados los elementos de unión y elementos de ensamble y una ranura donde se ubica el tope móvil. El material que se emplea para su fabricación es acero 45 y se le da un tratamiento térmico de temple y revenido hasta alcanzar los 40-45 HRc.

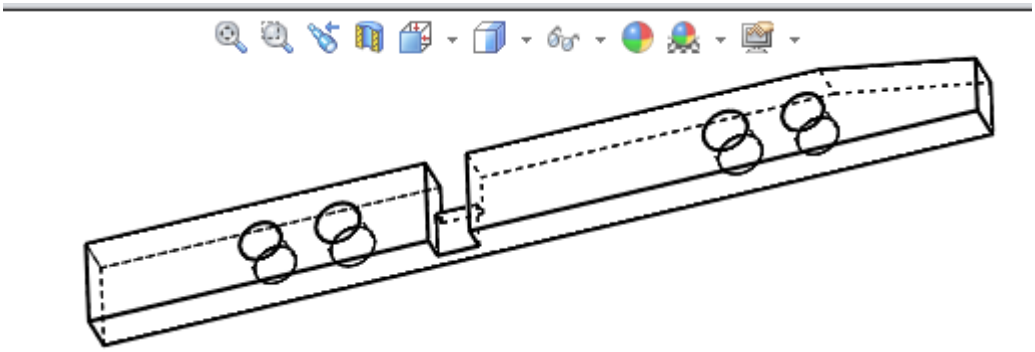


Figura 3.7 Reglillas

3.4.3 Tope móvil

Se encarga de realizar el primer contacto con la chapa al ser introducida en el troquel para poder determinar el paso (figura 3.8). Se emplea en su fabricación acero AISI 1045, templado y revenido con una dureza de 40 a 45 HRc. Su plano de pieza se encuentra en el Anexo 8.

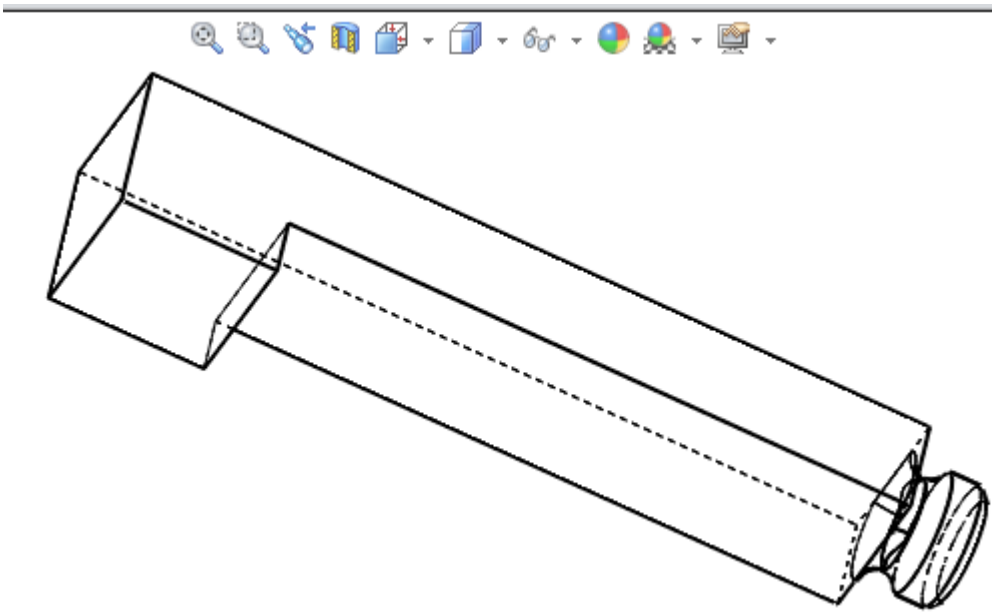


Figura 3.8 Tope móvil (cantidad 1)

3.4.4 Matriz

A partir de las dimensiones normalizadas determinadas en el capítulo anterior se elabora la matriz (figura 3.9). Presenta agujeros para el corte y punzonado con un ángulo de salida para la pieza elaborada de 5 grados y agujeros pasantes para los elementos de unión. Su plano de pieza se muestra en el Anexo 9. El material que se emplea para su fabricación se elige según

el número de piezas a fabricar, puede ser hierro A- 36 o SAE/AISI: 1045, para grandes producciones se prefieren materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste como el SAE/AISI: D2, que después de temple y revenido puede alcanzar una dureza de 62-64 HRc. (Urquia, 2016)

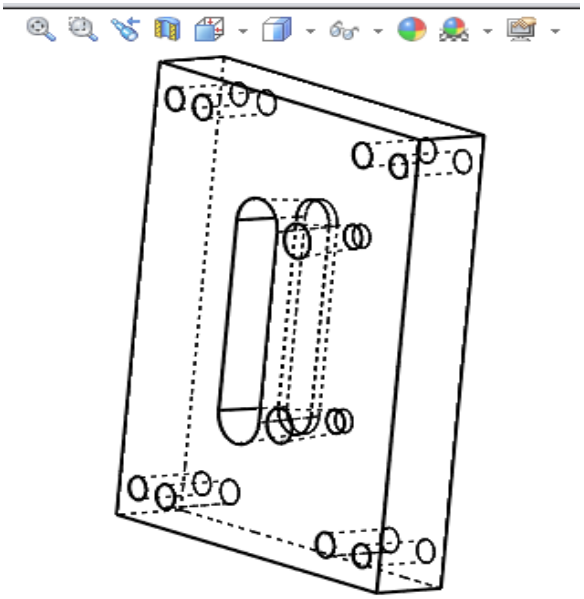


Figura 3.9 Matriz

3.4.5 Base inferior

La bese inferior une al troquel con la mesa de la prensa, estas se elaboran a partir de los datos que se brindan en el 10. El material que se emplea para su fabricación presenta las mismas características que para fabricar la base superior.

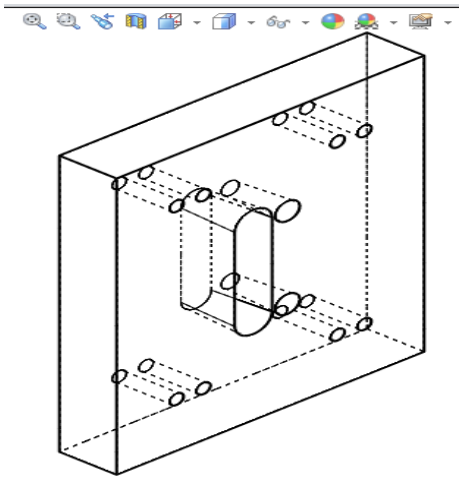


Figura 3.10 Base inferior

3.4.6 Tope fijo

El tope fijo (figura 3.11) es el que da el paso a la hora del operario colocar la chapa. El material que se emplea en su fabricación es acero AISI 1045, se le da templado más revenido como tratamiento térmico hasta que alcance una dureza de 40-45 HRc.

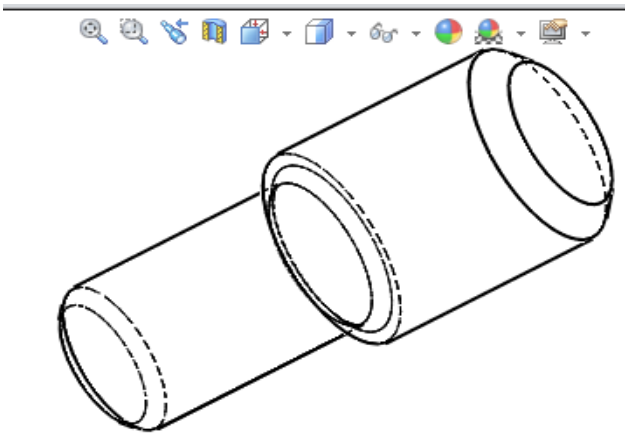


Figura 3.11 Tope fijo

3.5 Conclusiones del capítulo

- ✓ Se realiza el análisis económico correspondiente al troquel
- ✓ Se analizan las piezas obtenidas a partir de los resultados del diseño en el capítulo anterior

CONCLUSIONES

- ✓ Se reúne la información bibliográfica necesaria acerca de los troqueles. Sus clasificaciones, características fundamentales, funcionamiento y los principales parámetros que rigen su diseño
- ✓ Se realizaron los cálculos correspondientes con el diseño del troque progresivo de corte y punzonado, seleccionando las dimensiones según las normas establecidas y los valores normalizados en las tablas empleadas para el diseño
- ✓ Se realiza el análisis económico correspondiente al troquel y se analizan las piezas obtenidas a partir de los resultados en el diseño

RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta la importancia del aprovechamiento de la fuerza en las herramientas mecánicas se recomienda emplear otra prensa que ejerza menos toneladas de presión para el troquel.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu, C. A. B., 2016 . *DISEÑO DE MOLDE DE COMPRESIÓN PARA LA JUNTA DEL VASO DEL FILTRO DE COMBUSTIBLE DEL HELICÓPTERO MI-17*, Santa Clara: s.n.
2. Acosta, O. P., Pérez Sierra, R., Rodríguez Moliner, T. & Pérez Sosa, M., septiembre - diciembre, 2014. Diseño de troqueles para sistema de rodaje en contenedores de desechos. *INGENIERÍA MECÁNICA*, Vol. V(No. 3), pp. 25 - 32.
3. Bermudez, L. S. A., 04 de Diciembre de 2009. *METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE TROQUELES DE CORTE DE CHAPA METALICA*, Santiago de Cali: s.n.
4. David, C. S. & Sanchez Flores, M. J., 2008. *Diseño y fabricación de un troquel para placas de apagador de aluminio,* México D.F: s.n.
5. Díaz-Crespo, L. L., Rodríguez-Crespo, R., Harada - Martínez, Y. & Hernández-Martínez, L., 2012. Diseño del troquel progresivo para la conformación de la cubierta. *Revista Avances,* 14(3), pp. 4-5.
6. Gallardo, M. M., 1983. *Conformación de metales.* Ciudad de la habana: Editorial Pueblo y Educación.
7. Gallardo, M. M., 1983. *Herramientas de Conformar.* Ciudad de la Habana: Pueblo y Educación.
8. Hoyos, J. E. C., Marzo de 2013. *DESARROLLO DE ASPECTOS METODOLÓGICOS EN EL DISEÑO DE MATRICES PROGRESIVAS,* CANTABRIA: Santander.
9. Levy, I. G. F., 1988. *Troqueles.* Santa Clara: s.n.

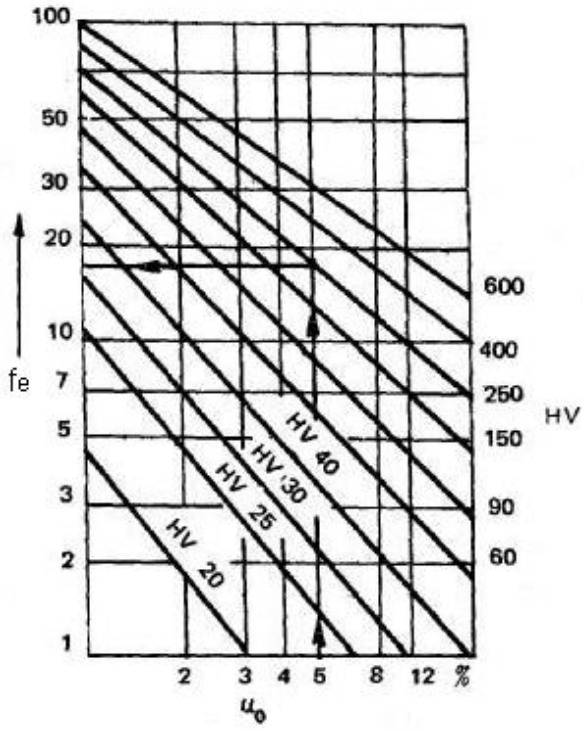
10. Levy, I. G. F., 1988. *Troqueles.* Santa Clara: Pueblo y Educacion.

11. López, M. A. A., 2015. *DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN TROQUEL DE CORTE CON FINES DIDÁCTICOS,* Ciudad de México: s.n.

12. Ricardo, C. H. & Jiménez Alcántar, R., 2008. *Diseño y Fabricación de un Troquel para la Manufactura de Carátulas de Pedal,* México: s.n.

13. Rosales, J. C. M., julio de 2010. *PROCESO DE FABRICACIÓN DE MOLDES DE TROQUEL, EN LA INDUSTRIA DE FABRICACIÓN DE CAJAS PLEGADIZAS.* Guatemala: s.n.

14. Urquia, I. M., 2016. *METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN TROQUEL DE CORTE,* Santa Clara: s.n.

ANEXOS

Anexo 12 Nomograma para la selección de la recuperación elástica fe.