

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Mecánica

Departamento de Ingeniería Mecánica



*Trabajo de Diploma para optar al título de
Ingeniero Mecánico*

*Título: Secuencia de trabajo para el diseño de herramientas para el
conformado de la chapa en las operaciones de corte y punzonado.*

Autor: Javier Humberto Díaz Méndez

Tutor: Ing. Alexis Alonso Martínez

Santa Clara - 2014

La inteligencia consiste no sólo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles.

Este trabajo está dedicado a mi familia por su incansable esfuerzo durante toda mi vida por que lograrse alcanzar mis metas, brindándome su apoyo incondicional. En especial a mi madre, mi padre y mis tíos. También a mis amigos que han sido mi mano derecha en múltiples ocasiones. A ellos dedico todo el trabajo de mis últimos años...

Mis más sinceros agradecimientos a mi tutor por el conocimiento transmitido, trabajo y ayuda brindada durante estos últimos años de la carrera.

A mi familia que les debo lo que soy como persona, dado a su esfuerzo en mi crianza.

A mi novia que ha formado parte de la realización de este trabajo por estar pendiente de todo lo que he necesitado

A mis amigos, que más bien han sido hermanos.

RESUMEN

En este trabajo se propone una metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica, utilizando elementos normalizados desde diferentes catálogos consultados en línea. La información para el diseño de troqueles se ha recopilado y analizado con el fin de establecer su utilidad y aplicación en el diseño de un troquel típico a partir del cual se ejemplifica la aplicación de la metodología. Dicha metodología está enmarcada dentro del proceso de diseño de ingeniería, siguiendo para esta aplicación en particular las diferentes etapas, tales como la identificación de la necesidad, la definición del problema, la etapa preliminar, la etapa de cálculo, la evaluación y la documentación. Dentro de estas etapas se realizaron los cálculos fundamentales como: fuerza de corte, fuerza de expulsión y centro de presión. Se dibujan los componentes utilizando el software de diseño paramétrico SolidWorks, realizándose el modelado de los componentes en el orden de ensamble, creando relaciones entre ellos que permitan la actualización dimensional. En la evaluación se chequean las interferencias entre componentes para garantizar su correcto funcionamiento.

ABSTRACT

In this work a methodology for the design of cutting dies sheet metal is proposed using standardized items from different catalogs consulted online. Information for die design has been collected and analyzed in order to assess its usefulness in the design and implementation of a typical blank from which the application of the methodology is exemplified. This methodology is framed within the process engineering design, according to this particular application the different steps, such as identifying the need, defining the problem, the preliminary stage, the calculation step, the evaluation and documentation. Cutting force, ejection force and center of pressure inside these stages as the fundamental calculations were performed. The components are drawn using the parametric design software SolidWorks components modeling performed in the order of assembly, creating relationships between them to allow the dimensional update. In assessing interference between components are checked to ensure proper operation.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
Capítulo 1: Troquelado de chapas metálicas	4
1.1.- Fases de la operación de corte	4
1.2.- Tipos de troqueles.....	6
1.3.- Elementos de un troquel.....	7
1.4.- Información técnica necesaria para el diseño de troqueles	11
1.4.1.- Recopilación de información.....	11
1.4.2.- Análisis de la información recopilada para el diseño troqueles	14
1.5.- Conclusiones parciales.....	15
Capítulo 2: Metodología de cálculo para troqueles de corte.....	16
2.1.- Identificación de la necesidad	17
2.2.- Etapa de definición.....	17
2.3.- Etapa preliminar	18
2.4.- Etapa de cálculo detallado	19
2.5.- Evaluación.....	19
2.6.- Etapa de documentación.....	20
2.7.- Conclusiones parciales.....	20
Capítulo 3: Aplicación de la metodología propuesta mediante una pieza de ejemplo	21
3.1.- Análisis y cálculos detallados de los elementos del troquel	22
3.1.1.- Cálculo de la fuerza de corte.....	22
3.1.2.- Cálculo de la fuerza de extracción.....	25
3.1.3.- Cálculo del centro de presión	25
3.1.4.- Proyectar la tira de recorte	28
3.2.- Diseño de la placa matriz	29
3.3.- Diseño de los punzones	31

3.4.- Diseño del porta punzones	33
3.5.- Diseño de la placa porta matriz	33
3.6.- Diseño de la placa pisadora	34
3.7.- Diseño de regletas guía.....	35
3.8.- Diseño de pilotos.....	36
3.9.- Diseño de topes	37
3.10.- Selección de la base porta troquel	38
3.11.- Conclusiones parciales.....	39
CONCLUSIONES GENERALES	40
RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFIA	42
ANEXOS	46

INTRODUCCION.

En la industria es indispensable la fabricación de diferentes piezas metálicas, estas hacen parte de un conjunto total y mediante su ensamble final se consigue la fabricación de una máquina deseada. Dentro del proceso de fabricación de estos elementos se encuentra una gama que se obtiene mediante el proceso de troquelado, haciéndose muy importante dentro del campo de la ingeniería, emplear las herramientas adecuadas para lograr un excelente resultado en la fabricación de estas piezas, y así obtener resultados satisfactorios para los requerimientos de los sistemas y la sociedad.

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. [1]

El éxito o el fracaso de un proceso de estampado de metales se basa en gran medida en lo apropiado del diseño del troquel. Si una herramienta no es diseñada correctamente, hay muy poco por hacer en el taller para que el troquel corra en una forma confiable y rentable. Erróneamente, muchos troqueles se consideran bien diseñados, si producen repetidamente piezas de acuerdo al plano y a una velocidad de producción predeterminada durante las pruebas. Pero, este enfoque crea dos problemas. Primero, no tiene sentido técnico ni económico evaluar un diseño de troquel ya que éste está terminado, ¿no debería probarse y validarse el diseño del troquel antes de invertir tiempo y dinero en su fabricación? Segundo, muy a menudo después de iniciada la producción descubrimos que cambios pequeños - al parecer insignificantes - en algunas variables del proceso, como propiedades del material, lubricación del troquel, posición del blanco, temperatura ó geometría del troquel pueden llevar a que el proceso se salga de control. Tradicionalmente las prácticas de ingeniería de herramientas permiten cierta libertad de diseño en la fase temprana del proyecto, pero esa libertad disminuye rápidamente a medida que la fase de fabricación y pruebas se acercan. En contraste, cuando se tiene más libertad de diseño del troquel se tiene muy poco conocimiento de la manufacturabilidad de la pieza (no confundir con experiencia). Sin conocimiento de la influencia de variables como fricción, propiedades de material y geometría de la pieza de trabajo en la mecánica del proceso, se vuelve imposible diseñar troqueles adecuadamente, mucho menos predecir y prevenir la presencia de defectos. [2]

Son estas las razones por las que es importante conocer y tener una correcta metodología para el diseño de troqueles. Internacionalmente estos criterios son importantes y muy tenidos en cuenta y nuestro país se encuentra enmarcado en ello.

En nuestra región central se encuentran fábricas que se dedican al diseño de moldes. Entre ellas se encuentra la EINPUT “1ro de Mayo”. La misma presenta un taller dedicado al diseño de moldes y troqueles, en la cual no existe una guía metodológica adecuada para el diseño de herramientas de conformar, por lo que el diseño se realiza bajo la experiencia de los trabajadores del centro, lo que trae consigo en ocasiones un mal diseño o diseños no óptimos de troqueles y sus elementos.

En la actualidad, debido al desarrollo de la globalización, las diferentes empresas tienen la necesidad de competir a nivel nacional e internacional, teniendo en cuenta el ahorro de tiempo en el proceso de producción y la reducción de costos. Es en este contexto que se pretende proponer una metodología que satisfaga tales necesidades y ofrezca mayores beneficios a la Industria en general.

Idea inicial.

Proponer una metodología para el diseño de los distintos elementos de un troquel de corte.

Planteamiento del problema.

En las industrias cubanas el diseño de troqueles, durante muchos años se llevaba a cabo por mecánicos ajustadores expertos en troquelería, que utilizando los procesos de taller disponibles, lograban entregar una solución al proceso de manufactura. Con esta solución no se contaba con la información del troquel, como planos, especificaciones o memorias de cálculo; lo que dificultaba la reproducción, el mantenimiento y/o reparaciones posteriores. Más adelante con el uso de los sistemas CAD se llegó a almacenar la información de los troqueles en la medida en que se fabricaban, pero aún existen algunos troqueles que no la tienen, esto se debe a que se requiere hacer una inversión en la recopilación de información de los últimos años y algunas piezas fabricadas con estos herramentales ya han salido de línea.

Justificación.

Aunque en nuestras industrias existe un procedimiento de diseño, este no contempla una metodología que sea base para los diseñadores de estos herramentales, ya que el material bibliográfico existente, contiene información muy general que debe ser adaptada y actualizada a procesos, materiales y productos. Además es importante realizar revisiones periódicas a esta información, pues siempre se actualizan elementos de troqueles comúnmente utilizados en los últimos años y los mismos deben incluirse.

Objetivo general.

Analizar y describir los fundamentos para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica y sus elementos constructivos.

Objetivos específicos.

1. Realizar un estudio bibliográfico sobre el diseño de herramientas para el conformado de chapas haciendo énfasis en las operaciones de corte y punzonado.
2. Establecer una metodología de trabajo para el diseño de troqueles de corte aplicando el proceso de diseño de ingeniería y apoyados en el uso de sistemas de diseño asistido por computador (CAD).
3. Diseñar un troquel típico de manera de ejemplo donde se establezcan los cálculos y conceptos mecánicos necesarios

Hipótesis:

Si se establece una óptima secuencia de trabajo para el diseño de herramientas para el conformado de chapas, se obtendrán troqueles con una mayor calidad a un menor costo.

Resultado a obtener:

Se propone como principal resultado una guía metodológica para el diseño de los elementos activos de troqueles para el trabajo de la chapa, fundamentalmente en las operaciones de corte y punzonado, valorando además, parámetros tecnológicos del proceso de conformado.

Capítulo 1: Troquelado de chapas metálicas.

Es un proceso de deformación plástica, sin arranque de viruta, hecho generalmente en frío, para obtener una pieza con formas y dimensiones definidas, En este proceso se conserva la masa y la composición química de los elementos de aleación. Estas operaciones se logran mediante dispositivos especiales llamados troqueles o matrices; que van montados en máquinas dotadas de movimiento rectilíneo alternativo, comúnmente llamadas prensas. [3]

Ventajas:

- Alta capacidad de producción.
- Bajo costo de producción de la pieza.
- Se consigue la misma calidad en todas las piezas y garantía de los repuestos.

Desventajas:

Inversión inicial alta, debido a la construcción de las herramientas.

1.1.- Fases de la operación de corte.

En la primera fase de la operación de corte, el punzón ejerce presión sobre la chapa, comprimiendo el material y originando en ella una deformación plástica, ver figura 1, luego el punzón continúa su acción, ocasionando una expansión lateral; el esfuerzo de compresión se hace igual a la resistencia al corte y aparece el desgarro del segmento de chapa sujeto al punzón como se observa en la figura 2. Finalmente se produce el desprendimiento de la pieza ver figura 3 y luego el punzón regresa a su posición inicial figura 4. [4]

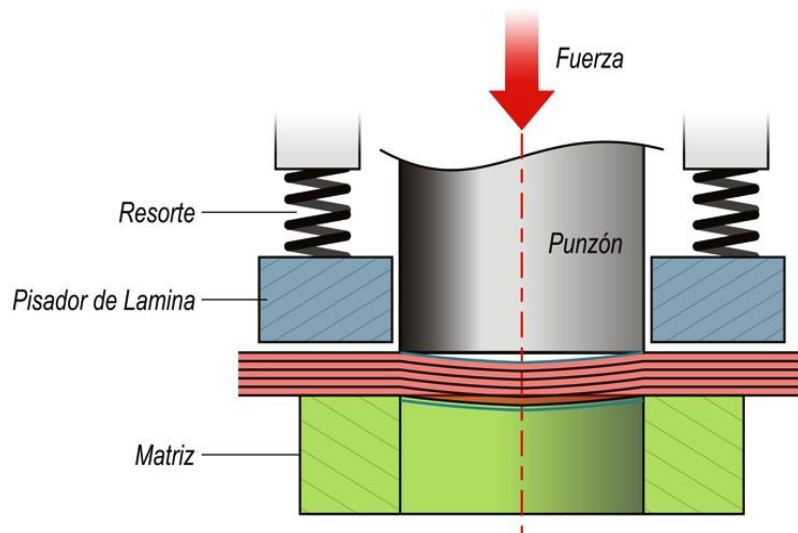


Figura 1. Compresión del material [1]

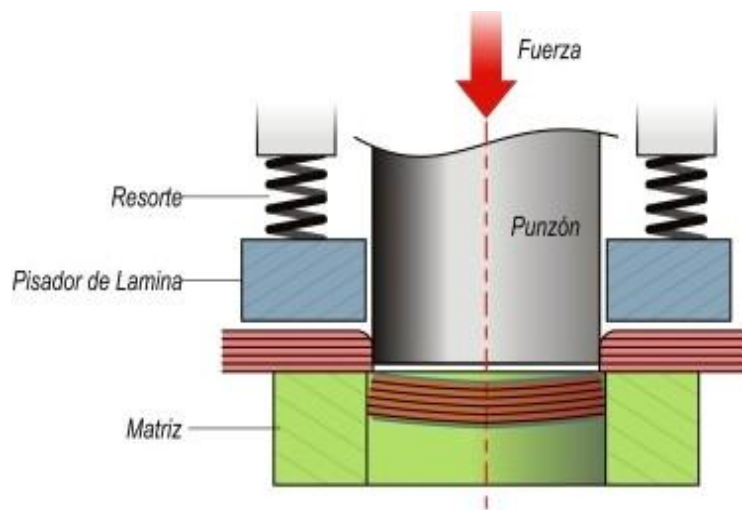
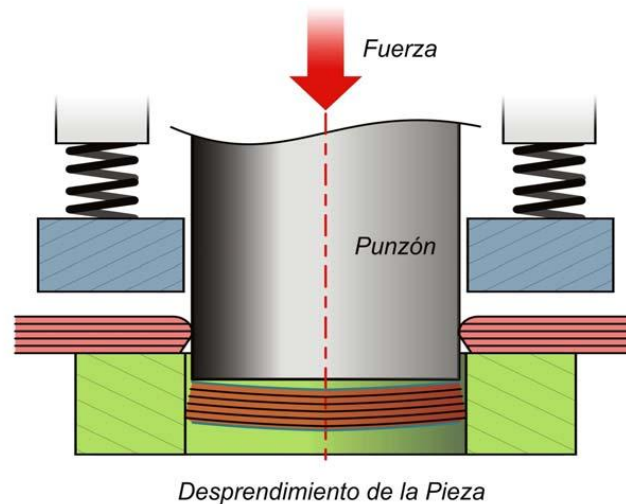
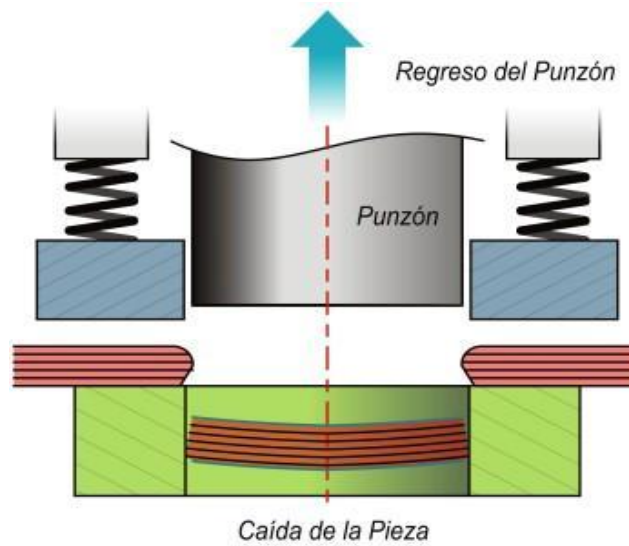


Figura 2. Desgarre de la pieza [1]



Desprendimiento de la Pieza

Figura 3. Desprendimiento de la pieza [1]



Caída de la Pieza

Figura 4. La pieza cae y el punzón regresa [1]

1.2.- Tipos de troqueles.

Los troqueles se clasifican principalmente de acuerdo a la función que realizan: perforar, cortar, doblar, embutir, etc. También pueden incluir combinaciones de estas operaciones. A continuación se detallan los tipos de troqueles más comunes: [5]

Troqueles perforadores. Se utilizan para recortar agujeros en una lámina o chapa metálica. Las aplicaciones incluyen perforar arandelas, hacer agujeros para remaches en elementos estructurales de acero, aberturas en paneles y en operaciones similares

Troqueles de flexión y doblado. Están diseñados para efectuar pliegues simples o compuestos en la pieza en bruto. Se utilizan para grandes producciones de piezas dobladas como soportes o bisagras cuyos dobleces implican tiempos considerables en máquinas de plegado.

Troqueles de embutir. Se emplean para crear formas huecas. Para lograr una sección reducida en una parte hueca, como el cuello del metal alrededor de un alambre que se inserta para dar resistencia a la pieza. A través del proceso de embutición se obtienen por ejemplo: carcazas y recipientes metálicos para aplicaciones domésticas e industriales.

Troqueles combinados. Están diseñados para realizar varias de las operaciones descritas en un único recorrido de la prensa; cuando la pieza troquelada es perforada y recortada en un solo golpe, se denominan troqueles combinados híbridos o coaxiales; cuando estas operaciones son realizadas sucesivamente en varias estaciones, se llaman troqueles combinados progresivos y transforman la tira hasta dejar la pieza acabada.

Algunas piezas pequeñas de alta producción como soportes y ganchos utilizados industrialmente se obtienen mediante troqueles que combinan operaciones de corte y conformado; de esta forma se destina una sola prensa continuamente a su producción.

Troqueles de acuñación. Se obliga al metal a pasar entre dos matrices coincidentes, en los que figura un hueco grabado del dibujo que debe formarse. Son Utilizados en la obtención de monedas.

Troqueles de rebordeado. Forman un reborde curvo en piezas huecas. Un tipo especial de troquel de rebordeado, llamado troquel de costura con alambre, enrolla firmemente los bordes externos del metal alrededor de un alambre que se inserta para dar resistencia a la pieza. Se utiliza en piezas embutidas para dar estructura a los bordes.

Troqueles de estampado. Son utilizados para grabar figuras y logotipos o muescas usadas como topes en las piezas de chapa metálica. Generalmente la profundidad del estampado no supera el espesor de la chapa. El macho, encaja dentro de la matriz y la chapa de metal a la que va a darse forma, se coloca sobre la matriz en la bancada de la prensa. El macho se monta en la parte móvil

de la prensa y se hace bajar mediante presión hidráulica o mecánica, obteniendo así la figura en la pieza. En algunos casos en que la profundidad de la marca es tal que no afecta el respaldo de la pieza, se realiza solamente utilizando punzón y apoyando la pieza de chapa en una placa plana.

Troqueles de corte. Se usan para estampar una forma determinada en una lámina de metal para operaciones posteriores. Son utilizados cuando las geometrías de las piezas a producir no se pueden obtener por medio de cortes en cizallas o guillotinas o cuando se requieren producciones altas que obligan al uso de troquel. La mayor parte de las piezas en la industria metalmecánica utiliza troqueles de corte.

1.3.- Elementos de un troquel.

Los elementos principales de un troquel son: base superior, base inferior, bujes y columnas de guiado, matriz, punzones, porta matrices, porta punzones, placa expulsora, reglas guía, pilotos y topes de posicionamiento, siendo los más importantes las bases superior e inferior sobre las cuales se montan todos los demás componentes. En la figura 5 se presenta el esquema de un troquel de corte con sus componentes más importantes. [6]

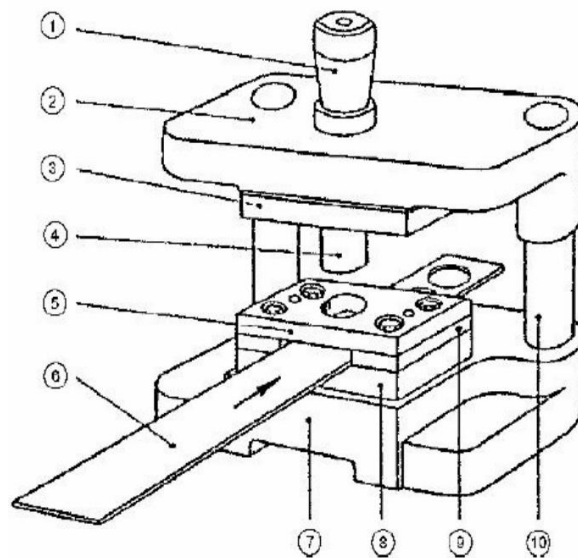


Figura 5. Esquema de un troquel de corte. 1. Espiga; 2. Base superior; 3. Porta punzón; 4. Punzón; 5. Placa extractora; 6. Chapa; 7. Base inferior; 8. Porta matriz; 9. Reglas guía; 10. Columnas guía. [6]

Base superior. Soporta todos los elementos de la parte móvil. Se ensambla al carro móvil o de la prensa, mediante el muñón de sujeción o Espiga construida de acero de medio a bajo carbono como el SAE 1010-1045 o fundición gris, sin tratamiento térmico. Lleva los agujeros para el ensamble de los bujes de alineación y todos los agujeros necesarios para fijar la placa porta punzones. Puede ser de diferente geometría según las necesidades.

Base inferior. Soporta los elementos de la parte fija del troquel. Se debe fijar a la mesa de la prensa con bridas tornillos y tuercas. 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. Como su superficie es más grande que la de la matriz, distribuye el esfuerzo de corte sobre la mesa de la prensa.

Lleva los alojamientos de las columnas, los agujeros de desahogo y canales para las salidas de las piezas troqueladas. Está sometida a compresión, impacto y muchas veces a flexión, por lo tanto tiene que ser diseñada teniendo en cuenta los espesores resistentes. La base tiene que ser fijada a la mesa de la prensa con bridas tornillos y tuercas. Si hay que apoyar la base sobre paralelas, éstas tienen que ser atornilladas.

Columnas y bujes guías. Son los elementos más usados, con suma importancia para la vida útil del troquel. Es el sistema que a todo momento garantiza la holgura entre el punzón y la matriz. Además absorben las cargas laterales que se generan en la operación de corte, absorben también la falta de alineación y errores en las guías de la máquina, en la fabricación del troquel se acoplan y se trabajan juntas las planchas inferior y superior alineadas por las columnas. Generalmente son de acero de cementación con dureza entre 62 y 64 HRC con buena lubricación.

Cuando se almacenan los grandes troqueles, por peso o por accidente los punzones pueden dañarse penetrando más de lo debido en las matrices. Para evitar este problema se pueden colocar unos distanciadores que se retiran antes del trabajo.

La figura 6, muestra los ajustes recomendados para columnas y bujes de acuerdo al tipo de fijación utilizado. De la precisión de este trabajo depende la vida útil del troquel, la holgura entre los punzones y las matrices se garantizan con esta alineación, además, las columnas absorben las fuerzas laterales que pueden dañar las matrices y los punzones.

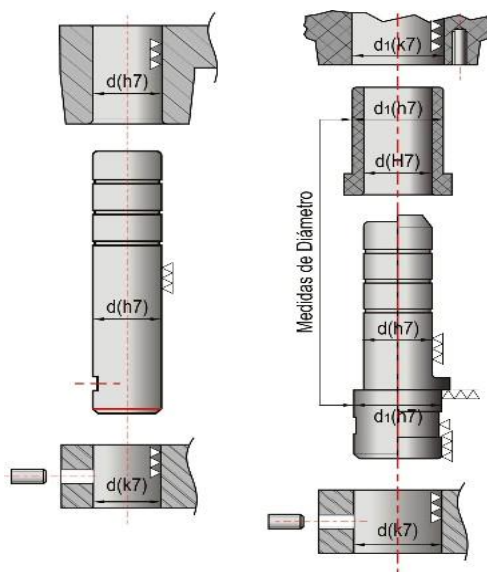


Figura 6. Acople entre columnas y bujes. [1]

La 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 las matrices después de la operación de corte. Se fabrica en acero de medio carbono como el SAE-1045, sin tratamiento térmico.

Las matrices y los elementos de fijación. La matriz es el elemento pasivo del sistema. Usualmente está situada en la parte inferior o parte fija del troquel, sin embargo, cuando el diseño de la pieza lo requiere, se ubica en la parte superior o parte móvil. Sus características principales son:

- Recibe el impacto del punzón para la obtención de la pieza.
- Está sometida a impacto, tensión, compresión, flexión, fatiga y fricción.
- Se puede diseñar como un solo cuerpo o segmentada en función de la dificultad del maquinado y el tratamiento térmico.

Al igual que los punzones, se fabrica generalmente en acero de herramientas para trabajo en frío con variables según el porcentaje de wolframio (W), vanadio (V) y silicio (Si) en su aleación. Para garantizar el buen funcionamiento de la matriz, se debe contar con un apropiado porta matrices.

La figura 7 muestra una matriz cilíndrica puesta en una porta matriz fijada por 3 tornillos laterales con punta que entran en 3 muescas.

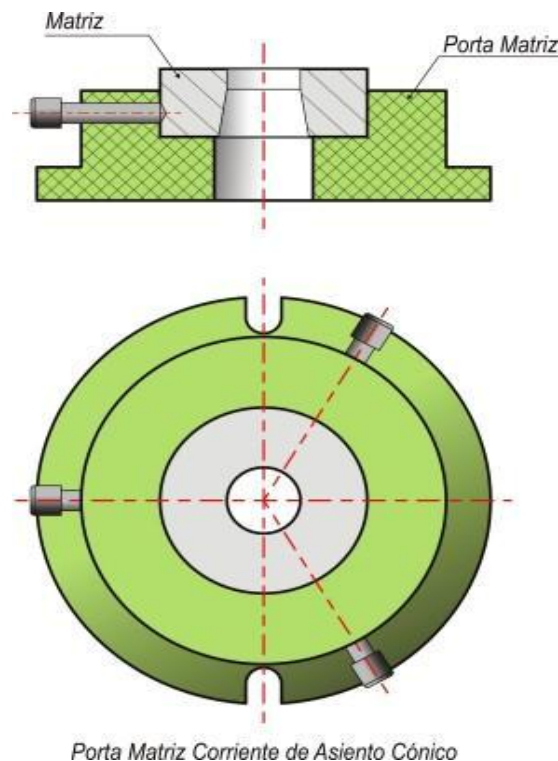


Figura 7. Porta matriz corriente de asiento cilíndrico. [1]

La matriz, con la parte externa cónica, se ensambla en una base porta matriz circular de fácil fabricación. Para ahorro de material el anillo de fijación puede ser sustituido por sectores circulares.

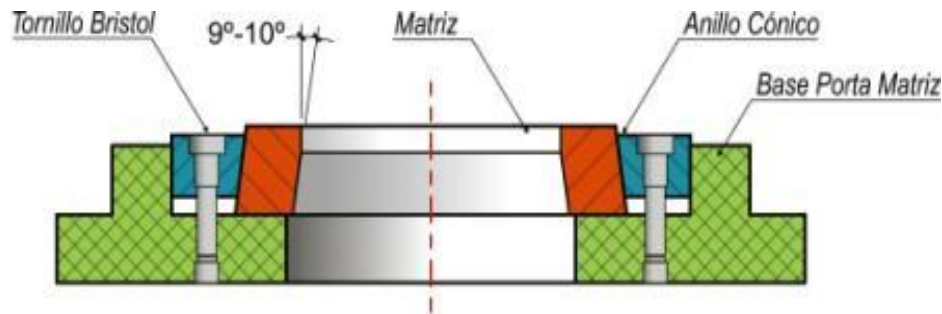


Figura 8. Porta matriz con anillo cónico de fijación (para matrices mayores) [1]

Cuando se requiere punzonar agujeros de diferentes formas, resulta conveniente una solución con matrices postizas; es decir, elementos que se insertan sobre una placa de mayor tamaño solamente en el área en que actúan los punzones, con el fin de reducir el uso de acero de herramientas. Las matrices son posicionadas y orientadas con pasadores o cuñas que facilitan su reemplazo.

La figura 9 muestra una matriz postiza, este es un cuerpo cilíndrico con la parte inferior de un diámetro más grande para resistir a la acción del punzón que al regreso intenta sacarla de la porta matriz, el diámetro “d” representa la medida del agujero. Para facilitar la salida del material de desecho, después de un tramo cilíndrico, se aumenta el diámetro, como desahogo de la tensión y evitar daños.

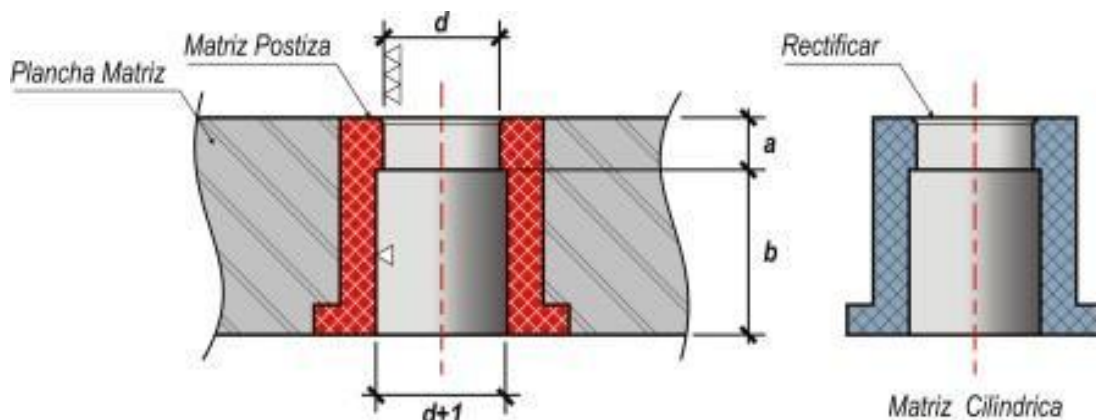


Figura 9. Matriz postiza. [1]

La dureza de la matriz depende del espesor de la lámina, ya que un espesor considerable, tiende a acelerar el proceso de deterioro del troquel, debido al incremento del rozamiento y el impacto.

Después de una cantidad de piezas cortadas, se debe rectificar el filo de corte, por lo tanto la altura **(a)** según la figura 9, se calcula en función de la vida útil del troquel. La dimensión **(a)** está

entre 6 y 12 mm según la producción; se toma **(a)** como 6 mm para troqueles de bajas producciones, 9 mm en producciones medias y 12mm en producciones altas.

1.4.- Información técnica necesaria para el diseño de troqueles.

1.4.1.- Recopilación de información.

La labor de recopilación de la información para el diseño de troqueles está enfocada en los siguientes aspectos: [7]

- Materiales y tratamientos térmicos.
- Espesores y alturas estándar de componentes.
- Armazones o bases porta troqueles de acuerdo a catálogos.
- Elementos de expulsión estándar.
- Catálogo de prensas disponible.

A continuación se presenta en detalle cada uno de los aspectos anteriores.

Materiales y Tratamientos Térmicos. En la fabricación de troqueles de corte se utilizan básicamente dos grupos de aceros: Los aceros para herramienta, para trabajo en frío y los aceros grado maquinaria. La compañía que diseña y fabrica los troqueles decidirá a su conveniencia la equivalencia de cada acero según el fabricante y/o distribuidor. Los de mayor aplicación en la fabricación de troqueles en algunas empresas son: [8]

ASTM A-36: Se utiliza para la fabricación de bases, soportes, porta punzones, porta matrices, paralelas etc. Es un material usado para construcción de estructuras. Es fundamentalmente una aleación de hierro, mínimo 98 %, con contenidos de carbono menores del 1 %, otras pequeñas cantidades de minerales como manganeso, para mejorar la resistencia, y fósforo, azufre, sílice y vanadio para mejorar la soldabilidad y resistencia a la corrosión cuando se expone a la intemperie. Este material es usado en esta aplicación fundamentalmente porque es un acero dulce, dúctil, fácil de maquinar, económico, y para estas aplicaciones no es tratado térmicamente.

Acero DF2 - ARNE. Equivalente en la norma AISI al O1, es un acero de mediana aleación (Cr-W) y temple al aceite, que toma dureza segura y uniforme. De mínima variación de medida, excelente resistencia al corte, alta resistencia al desgaste y buena tenacidad. Se mecaniza muy bien y es el acero más universal para la fabricación de herramientas. Este se utiliza en los troqueles de bajas producciones para matrices y punzones, topes o pilotos que requieren temple, alcanzando dureza de 52 a 54 HRC.

Acero XW5. Equivalente en la norma AISI al D2, es un acero de alta aleación (Cr-W) y temple al aire o aceite, que toma dureza segura y uniforme. Utilizado para troqueles de corte de chapa de espesor mayor a 3mm.

Espesores y alturas estándar de componentes. Es importante contar con espesores estándar de placa en el diseño de los componentes del troquel, obtenidos de los proveedores de aceros; de esta forma se minimizan los tiempos de maquinado, removiendo únicamente el material necesario para garantizar el óptimo desempeño de cada componente en el troquel.

Por ejemplo: para fabricar un porta punzones cuyo espesor debe estar entre 20 mm y 24 mm, teniendo en cuenta que es un componente de soporte, cuya función es mantener firme el punzón, su espesor final será 23 mm. Se define esta dimensión debido a su aplicación, se fabrica en acero estructural o acero grado maquinaria de bajo carbono rectificado y sin tratamiento térmico. Los espesores de placas en acero estructural ASTM A-36 disponibles para la fabricación de estos componentes, se consiguen de acuerdo a catálogos en fracciones de ½ pulgada, desde este espesor hasta 4 pulgadas. [9]

Armazones o die set estándar. Después de diseñar todos los componentes del troquel, se debe seleccionar el armazón o la base de acuerdo a catálogos comerciales. La elección correcta de un armazón o *die set* garantiza:

- Mantener la alineación correcta durante el proceso de corte, aunque exista alguna holgura en el pisón de la prensa; de esta forma se producirán piezas sin rebaba.
- Mayor duración de los troqueles.
- Fácil almacenamiento.
- Montaje del troquel a la prensa en un tiempo mínimo, ya que los conjuntos superior e inferior son unidades independientes.

Elementos de expulsión estándar. A través de la experiencia, se han reemplazado el uso de resortes helicoidales de acero por resortes cilíndricos de goma o poliuretano de alta elasticidad con dureza de 90 Shore A.

En la figura 10 se observa el tipo de resorte de la empresa FIBRO, para troqueles de corte. En la figura se aprecia que, para la referencia 246.6.040 un resorte de Ø 40 mm con longitud de 40 mm, puede proporcionar una fuerza de expulsión máxima de 10000 N cuando se comprime hasta 12 mm. En la figura 11 se muestra la referencia 246.6.032 de resortes cilíndricos de Ø 32 mm con longitud de 32 mm, que proporciona una fuerza de expulsión máxima de 6000 N cuando se comprime hasta 10 mm. [10]

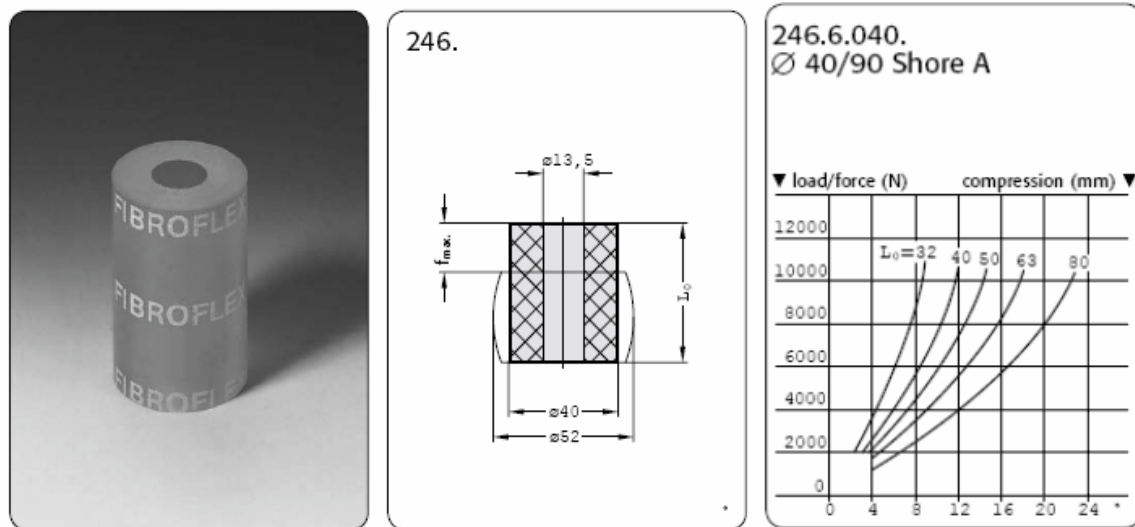


Figura 10. Resortes cilíndricos Fibro Ø40mm. [10]



Figura 11. Resortes cilíndrico Fibro Ø32mm. [10]

Catálogos de prensas. En el anexo 1 se describen algunos tipos de prensas empleados para el proceso de troquelado. Al lado de la imagen de la máquina aparecen sus especificaciones, con las cuales se puede hacer la selección para el montaje de los troqueles diseñados. En el caso de realizar el diseño de un troquel para una máquina ya existente, el primer paso sería estudiar el pasaporte de ella, sobre todo lo referente a sus características técnicas como:

- Diagrama de fuerzas de prensa (y no solamente fuerza nominal)
- Forma de sujeción de los troqueles y dimensiones que emplea, diámetro del vástago.
- Dimensiones de la mesa
- Dimensiones de los agujeros de salida de la mesa y sobre mesa
- Distancia máxima mesa – carro
- Longitud de la carrera (fija o regulable)
- Velocidad de trabajo

En la gran mayoría de estos procesos de corte, la elección del tipo de prensa se efectúa a partir de la fuerza máxima dejando un margen de seguridad considerable. [004; 010]

Para la selección de una prensa se necesita tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

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

1.4.2.- Análisis de la información recopilada para el diseño troqueles.

Los procesos de fabricación disponibles en una compañía y las instalaciones de la planta de producción, son restricciones para el diseño; por lo tanto, forman parte de las condiciones intrínsecas. Debido a los costos relativamente altos de los troqueles, todo el personal que participa de su realización debe enfocarse en los siguientes objetivos: [7]

- Diseño con soluciones seguras, funcionales y económicas.
- Eficiencia total del herramental.
- Larga vida útil del herramental.
- Sencillez de fabricación con la tecnología disponible.

Para lograr esto, el equipo de diseño debe trabajar bajo los mismos conceptos y parámetros, buscando además disminuir los tiempos de diseño.

Debido a la variedad de piezas que se fabrican industrialmente, los principios son los mismos, pero las condiciones de producción cambian de una empresa a otra. Muchos herramentales pueden fallar por la inadecuada selección de materiales, tratamientos térmicos equivocados, desconocimiento de la maquinaria, de la tecnología disponible y de componentes estandarizados comercialmente.

Los materiales empleados en la construcción de troqueles deben seleccionarse atendiendo a determinadas circunstancias, las cuales dependen del tipo de trabajo a que se destina el herramental; normalmente, los diversos aceros empleados en la construcción de troqueles, se caracterizan por ser de elevada aleación, muy estables al temple, de muy bajo índice de deformación y elevada resistencia al corte.

La obtención de un material de gran resistencia al corte, se consigue mediante aleaciones de alto contenido de elementos como cromo, vanadio, níquel y volframio, pero ello exige elevadas temperaturas de temple, del orden de los 950° C a los 1000° C. Estas temperaturas originan, con el enfriamiento, contracciones muy bruscas, que pueden alterar la estabilidad del acero, con lo cual se corre el peligro de ver alteradas las dimensiones en matrices o punzones.

Una vez se cuenta con la información, se debe garantizar la correcta utilización y actualización constante, considerando la rotación del personal que participa en esta etapa del proyecto. De esta forma se facilita el entrenamiento del personal que en determinado momento haga parte del equipo de diseño y garantiza la utilización de los mismos conceptos, materiales y componentes comerciales homologados.

1.5.- Conclusiones parciales.

1. El diseño de troqueles es un proceso complejo basado fundamentalmente en la experiencia y habilidades de los diseñadores.
2. Ha sido posible recopilar y organizar los aspectos relacionado con el diseño de troqueles de una forma generalizada.

Capítulo 2: Metodología de cálculo para troqueles de corte.

La metodología de diseño para troqueles que se propone toma como referencia el proceso de diseño en Ingeniería, con el fin de proporcionar resultados organizados y útiles. El proceso de diseño es una guía general de los pasos que pueden seguirse para orientar al Ingeniero en la solución de problemas. [11]

Esta metodología se propone tomando como base las siguientes etapas del proceso de diseño, diferencia esta que la identifica de otras metodologías conocidas:

- Identificación de la necesidad
- Etapa de definición (Definir el problema)
- Etapa preliminar (Síntesis)
- Etapa de cálculo detallado (Análisis y optimización)
- Evaluación
- Etapa de documentación

En la figura 12 se presenta mediante un diagrama la forma en que se desarrollan estas etapas; los puntos en que se hace la retroalimentación a las etapas anteriores, ya que el proceso de diseño no es lineal y una de sus características fundamentales es que obliga a la iteración. Por ello, el proceso de diseño debe estar orientado a la realización de cambios, de forma que éstos impliquen la mayor eficiencia durante el desarrollo y modificaciones al diseño. En el desarrollo de estas etapas debe existir comunicación, cooperación entre personas, departamentos y empresas involucradas con un flujo de información bidireccional.

En este enfoque, no se restringe el diseño a cálculos, realización de planos para el simple funcionamiento de la máquina, sino que se introducen los conceptos del diseño orientado a la fabricación, al montaje y a diseñar para mantener. [11]

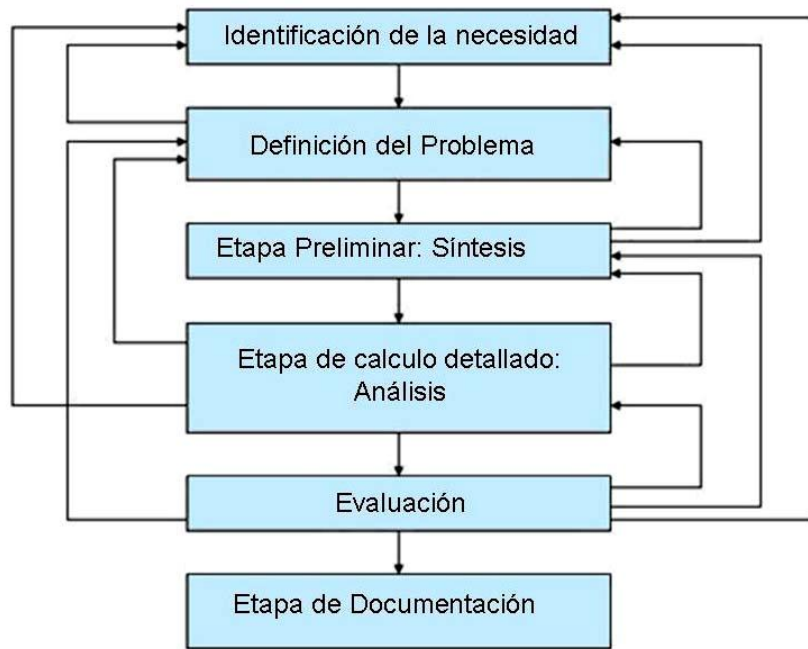


Figura 12. Proceso de diseño de Ingeniería. [11]

A continuación se presenta de manera general la forma en que se desarrolla la metodología para el diseño de troqueles de corte, enmarcada bajo este proceso de diseño en ingeniería. Estos pasos se profundizan en el capítulo siguiente ejemplificado con el diseño de un troquel de corte típico para una pieza tipo plancha tomada como ejemplo de la literatura.

2.1.- Identificación de la necesidad:

- Es la fase inicial del proceso de diseño.
- Expresa en forma amplia y detallada lo que se requiere.

El reconocimiento de la necesidad de un diseño se puede basar en datos de varios tipos: estadísticas, entrevistas, datos históricos, observaciones personales, datos experimentales o proyecciones de conceptos actuales. El troquel utilizado puede ser un diseño nuevo que parte de la necesidad específica de producir en serie alguna pieza para las cantidades solicitadas.

2.2.- Etapa de definición:

- Enunciar los datos conocidos.
- Especificaciones de la pieza a producir.
- Efectuar las hipótesis apropiadas y comprobarlas.
- Establecer relaciones causa-efecto.
- Sintetizar de la mejor forma todo lo hallado.

Es importante dar una definición clara de los objetivos para así tener una meta hacia la cual dirigir todos los esfuerzos. Definir es establecer los límites del problema y el alcance de la solución. Es indicar lo que se quiere hacer y a dónde no se quiere llegar. En esta etapa de diseño conceptual, es cuando se plantean las configuraciones posibles, buscando una síntesis equilibrada desde una perspectiva general sin requerir una excesiva precisión, a partir de las especificaciones iniciales, los requisitos de funcionamiento y la experiencia previa.

La etapa de definición del problema se inicia con el estudio de un producto que ya ha sido diseñado, y validado como tal. Las especificaciones técnicas, tolerancias, materiales acabados; han sido definidos por el diseñador del producto, de acuerdo a una necesidad específica. Así pues, esta metodología se aplica al diseño de una herramienta para producción en serie que toma como punto de partida los datos técnicos y los volúmenes de producción de una pieza diseñada y que no incluye la fabricación.

Para este tipo de diseños la etapa de definición se enfoca en las especificaciones de la pieza a troquelar, con el fin de estimar adecuadamente del proceso a utilizar. Se debe tener en cuenta la geometría, el tamaño, el tipo de material, las características críticas, tolerancias de fabricación y los volúmenes de producción. Puede resultar de este análisis que el proceso corte en troquel no sea el adecuado, debido a características especiales de producto difíciles de garantizar en una producción en serie o sencillamente porque las cantidades a producir o el ciclo de vida estimado de la pieza no amortizaría el costo de este herramental.

2.3.- Etapa preliminar:

- Síntesis
- Decisiones preliminares
- Diseñar bosquejos de la solución
- Definición del proceso de fabricación

Una vez que se ha definido y establecido el problema en forma clara, es necesario hacer una síntesis con las ideas preliminares a partir de las cuales se pueden plantear los conceptos del diseño, esta es probablemente la parte más creativa en el proceso de diseño, puesto que en la etapa de identificación del problema solamente se han establecido limitaciones generales, el diseñador puede dejar que su imaginación considere cualquier idea que se le ocurra. El medio más útil para el desarrollo de ideas preliminares es el dibujo a mano alzada.

Con el Diseño preliminar se trata de optimizar las configuraciones seleccionadas de la fase anterior para llegar a una óptima. La simulación se puede utilizar como una herramienta potente y versátil en el proceso de diseño.

La etapa de perfeccionamiento es el primer paso en la evaluación de las ideas preliminares, la misma se concentra bastante en el análisis de las limitaciones. Todos los esquemas, bosquejos, notas se revisan, combinan, perfeccionan con el fin de obtener varias soluciones razonables al problema. Deben tenerse en cuenta las limitaciones y restricciones impuestas sobre el diseño final. Los bosquejos son más útiles cuando se dibujan a escala, pues a partir de ellos se pueden determinar tamaños relativos, tolerancias, mediante la aplicación de geometría descriptiva y dibujos analíticos, se pueden encontrar longitudes, pesos, ángulos y formas. Estas características físicas deben determinarse en las etapas preliminares del diseño, puesto que pueden afectar al diseño final.

2.4.- Etapa de cálculo detallado:

- Cálculos de diseño. (Fuerza de corte, Centro de presión, Fuerza de extracción)
- Diseño de componentes
- Análisis y optimización
- Modelos 3D en SolidWorks

La etapa de análisis es la parte del proceso de diseño de mejor entendimiento debido a que implica el repaso y evaluación de un diseño, se refiere a factores humanos, apariencia, resistencia, operación, cantidades y economía, dirigidos a satisfacer requisitos del diseño. Gran parte del entrenamiento formal del ingeniero se concentra en estas áreas de estudio.

Cada una de las propuestas se evalúa desde diferentes factores para confirmar si cumplen las restricciones impuestas a la solución, así como otros criterios de solución. Con el diseño detallado, se desarrolla la solución seleccionada con cálculos pormenorizados, modelos, simulaciones y pruebas con prototipos.

2.5.- Evaluación:

- Revisión del ensamble y del funcionamiento,
- Chequear interferencias del modelo.

Esta es la etapa del proceso de diseño en la cual el proyecto debe aceptarse o rechazarse, parcial o completamente. Siempre existe el riesgo de error en cualquier decisión, pero un diseño bien elaborado estudia el problema a tal profundidad que minimiza la posibilidad de pasar por alto una consideración importante, como ocurriría en una solución improvisada.

La evaluación del troquel se basa en la parte dimensional, para lo cual se realiza una verificación de su funcionamiento con el objeto de chequear las posibles interferencias, fallos de posicionamiento de piezas, holguras incorrectas, etc. para verificar que puede realizar las transformaciones previstas.

En la etapa de evaluación se puede retornar a cualquiera de las etapas anteriores para continuar el ciclo hasta que se obtenga la alternativa más conveniente. En caso que se detecte alguna interferencia se identifican los componentes involucrados y se procede a hacer la corrección de posición o tamaño. Los planos de cada componente del troquel se han generado al tiempo de su definición y las modificaciones resultantes en la etapa de evaluación se actualizan antes de emitir los planos finales.

2.6.- Etapa de documentación:

- Documentar resultados,
- Presentación y Difusión.
- Planos de componentes,
- Lista de materiales.

El último paso consiste en preparar y supervisar los planos y especificaciones finales con los cuales se va a construir el diseño. En algunos casos, el diseñador también supervisa e inspecciona la realización de su diseño. Al presentar su diseño para realización, debe tener en cuenta los detalles de fabricación, métodos de ensamble, materiales, tratamientos térmicos y otras especificaciones. Durante esta etapa, el diseñador puede hacer modificaciones de poca importancia que mejoren el diseño; sin embargo, estos cambios deben ser mínimos, a menos que aparezca un concepto completamente nuevo.

La evaluación periódica de las soluciones en uso también proporciona una base para decidir cuándo hay que diseñarlas de nuevo. Ninguna solución a un problema práctico conserva indefinidamente su calidad. Con el tiempo se descubren nuevos métodos, se presentan nuevas demandas, se acumulan nuevos conocimientos, cambian las condiciones y se produce el deterioro físico. En consecuencia, se alcanza un punto en la vida de un diseño en que se debe buscar una mejor solución. Un departamento de ingeniería puede decidir cuándo emprender un rediseño al revisar periódicamente las soluciones a los problemas de su campo y considerar las sugerencias de quienes participan en el proceso productivo.

2.7.- Conclusiones parciales.

1. Con el uso de elementos normalizados se minimizan los tiempos de diseño y fabricación de estos herramentales.
2. El diseño de troqueles es un proceso complejo basado fundamentalmente en la experiencia y habilidades de los diseñadores.
3. Ha sido posible recopilar, organizar y actualizar una metodología relacionada con el diseño de troqueles utilizando el proceso de diseño en Ingeniería.

Capítulo 3: Aplicación de la metodología propuesta mediante una pieza de ejemplo.

Es muy importante contar con toda la información de entrada de la pieza a producir, para la adecuada estimación del proceso a utilizar. Se debe tener en cuenta la geometría, el tamaño, el tipo de material, las tolerancias de acabado y los volúmenes de producción.

En la información de la pieza a troquelar se debe contar con el plano de la pieza o el croquis y el modelo paramétrico 3D, ya que con ellos se inicia el dimensionamiento de los componentes del troquel. Para la pieza tomada como ejemplo: se cuenta con el croquis de la pieza y el modelo 3D en SolidWorks, los cuales se muestran a continuación en las figuras 13 y 14.

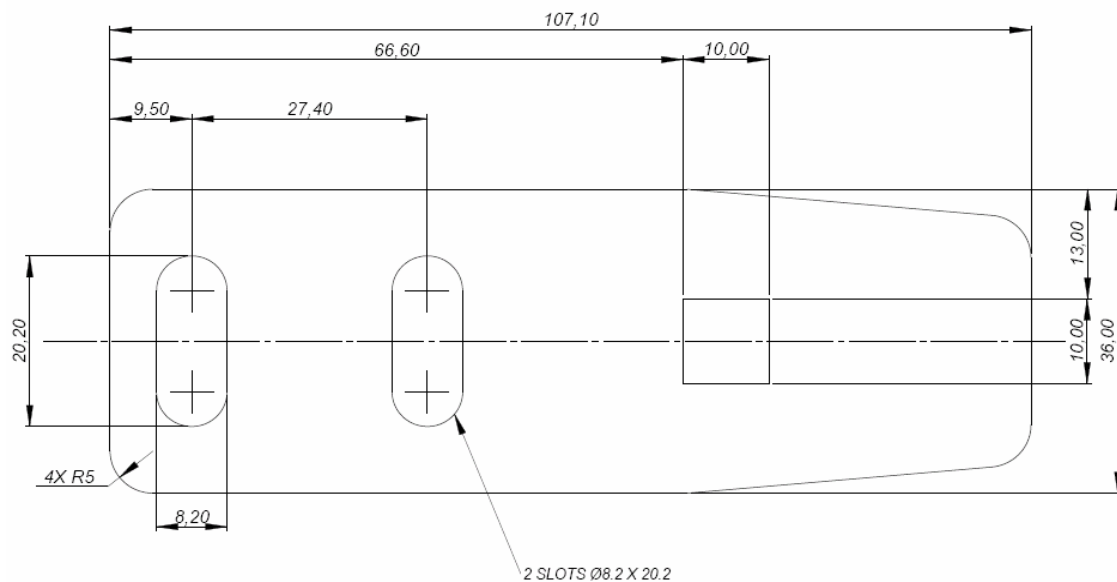


Figura 13. Croquis de la pieza tomada como ejemplo. [1]

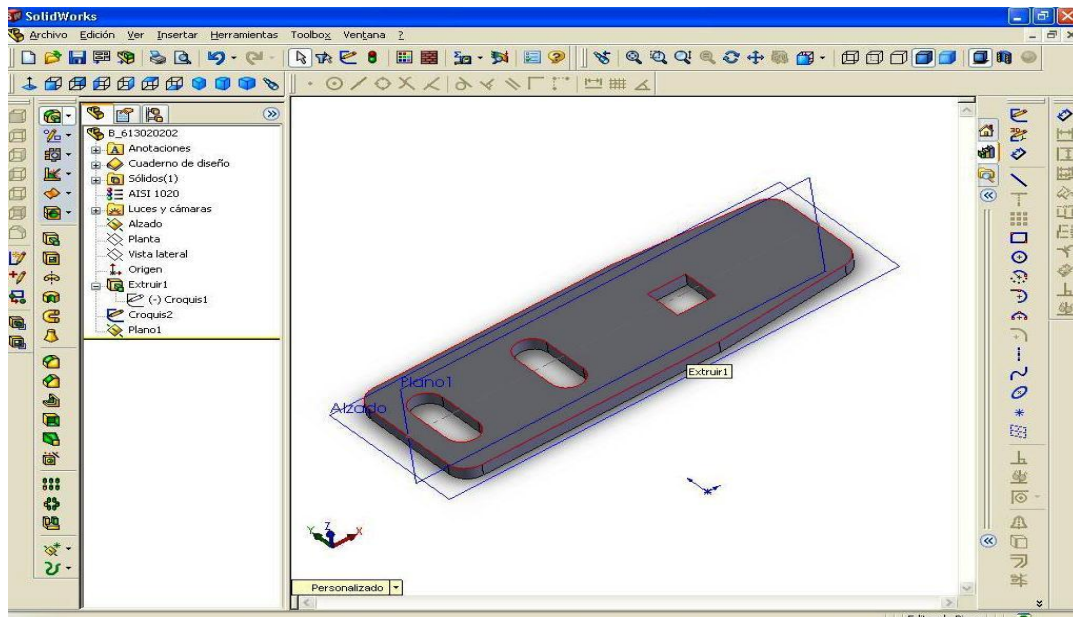


Figura 14. Modelo de la pieza tomada como ejemplo (SolidWorks) [1]

La chapa tomada como ejemplo es un componente dimensionalmente pequeño que, de acuerdo a las especificaciones descritas anteriormente puede ser producida en un troquel de corte para medianas producciones. La misma presenta algunas características tales como:

- Silueta con geometría sencilla (36 x 107.1 mm) y redondeos amplios (5mm).
- Dos perforaciones tipo corredera de 8.2 x 20.2 mm
- Una perforación cuadrada de 10 mm, sin redondeos.
- Material: Puede ser seleccionado una chapa de acero laminada en frío 0.2%C.

Después de analizar los datos y especificaciones de la pieza a producir, se debe definir cuál sería su secuencia de fabricación detallada, desde la recepción de la materia prima hasta el almacenamiento o utilización final de las partes. El diseñador presenta esta propuesta de fabricación a los representantes de Proyectos, Calidad, Producción, y Comercial; quienes validarán la conveniencia del proceso de acuerdo a la capacidad de producción, tiempos de desarrollo, costos, cumplimiento de los requerimientos del cliente.

3.1.- Análisis y cálculos detallados de los elementos del troquel.

Para el diseño de troqueles hacen parte del análisis todos los cálculos generales que permiten definir el conjunto mientras que en el diseño detallado se define cada parte del conjunto. Seguidamente se presentan en el orden de ejecución los cálculos y el diseño de cada componente. [3]

3.1.1.- Cálculo de la fuerza de corte (Fc).

La resistencia al corte es la que se debe vencer para cortar una pieza. El cálculo de las fuerzas de corte, sirve para determinar la potencia necesaria para realizar la operación y seleccionar la máquina apta para el trabajo.

Se utiliza la siguiente formula:

$$F_c = P \cdot e \cdot \sigma_c$$

Ecuación 1

Donde:

F_c = Fuerza necesaria para el corte en Kgf

P = Perímetro

e = Espesor de la chapa en mm

σ_c = Resistencia al corte Kgf/mm

De este modo, para la pieza tomada como ejemplo se tiene:

Perímetro 1: perforación cuadrada = 40mm

Perímetro 2: perforación de 8,2 x 20,2mm = 49,8mm

Perímetro 3: silueta= 166 mm

Perímetro 4: perforación de 8,2 x 20,2mm igual a perímetro 2 = 49,8mm

El valor de P a utilizar se obtiene sumando los perímetros P1, P2, P3 y P4, ver figura 15.

Espesor de la chapa= 4mm

$\sigma_C = 40 \text{ Kg} / \text{mm} \Rightarrow \text{Tabla 1}$

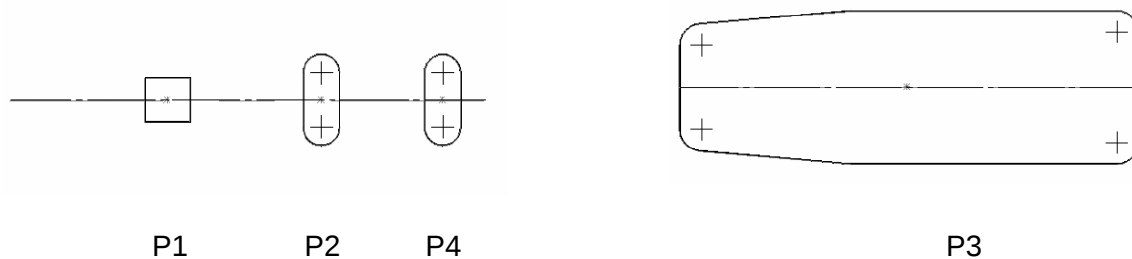


Figura 15. Obtención del perímetro de corte.

En la tabla 1 se presenta la resistencia a la rotura y la resistencia al corte para diferentes aceros obtenidos por procesos de laminación.

Tabla 1. Resistencia a la rotura y al corte de los aceros laminados. [6]

Acero Laminado (%C)	Resistencia a la rotura (Kg/mm ²)		Resistencia al corte (Kg/mm ²)		Peso específico (Kg/dm ³)
	T. T. Recocido	Estado de suministro	T.T. Recocido	Estado de suministro	
0.1%	31	40	25	32	7.8 – 7.9
0.2%	40	50	32	40	
0.3%	44	60	35	48	
0.4%	56	70	45	56	
0.6%	70	90	56	72	
0.8%	90	110	72	90	
1.0%	100	130	80	105	
Inoxidable Al	65	75	52	60	
Silicio	56	70	45	56	

Entonces la fuerza de corte se define como:

$$F_c = P \cdot e \cdot \sigma_C$$

$$F_c = (40 + 99,6 + 166) \cdot (4) \cdot (40) = (305,6) \cdot (4) \cdot (40)$$

$$F_c = 48896 \text{ Kgf}$$

Esta fuerza corresponde a la fuerza mínima necesaria para que se produzca el corte. Es importante aclarar que en otro tipo de diseños mecánicos se halla el esfuerzo de corte con el fin de evitar que la falla se produzca. Aquí se utiliza para definir la carga a aplicar para que el corte se lleve a cabo y a partir de allí seleccionar la prensa a utilizar. El valor de la fuerza de corte se afecta con un factor adicional del 10%, estimado experimentalmente para vencer la resistencia de los resortes y del pisador.

El factor de seguridad es un número utilizado para los cálculos de diseño de elementos mecánicos, estructuras o dispositivos en general, proporcionando un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias. [12]

El factor de seguridad (FS) se define entre 1 y 5 generalmente de acuerdo a los criterios del diseñador. Un factor de seguridad muy bajo puede poner en riesgo el funcionamiento de la máquina o dispositivo: En este caso, la elección de un factor de seguridad muy bajo puede hacer que el herramental no logre que se produzca el corte, es decir que la fuerza requerida sea mayor a la estimada. Por otro lado, un factor de seguridad muy alto no solo sobredimensiona el diseño sino que puede poner en riesgo el funcionamiento del troquel, reduciendo su vida útil, ya que se sometería a cargas por encima de las necesarias para el corte.

Para este caso se ha tomado un factor de seguridad de 1,2 ya que se han aplicado anteriormente porcentajes adicionales en la definición de las fuerzas. No se escoge un factor de seguridad más alto ya que el objetivo de este cálculo es seleccionar la prensa capaz de proporcionar la fuerza necesaria para el corte, además de ser un ejemplo ilustrativo.

$$F'_c = FS \cdot (48896 \text{ Kgf} + 10\%) = FS \cdot (48896 + 4889,6) = FS \cdot (53785) \text{ Kgf}$$

$$F'_c = FS \cdot (53785) \text{ Kgf}$$

$$F'_c = (1,2) \cdot (53785) \text{ Kgf}$$

$$F'_c = 64542 \text{ Kgf}$$

Con este resultado la máquina seleccionada para la utilización de este troquel debe tener una capacidad no inferior a 65 toneladas.

3.1.2.- Cálculo de la fuerza de extracción (Fe).

Cuando la pieza es desalojada por la parte inferior, tiene que atravesar la zona de corte de la matriz antes de encontrar el desahogo y caer. Esta fuerza, para extraer la pieza, se opone a la fuerza de corte, por lo tanto, en el cálculo hay que sumarla a la fuerza de corte.

La fuerza de extracción está relacionada con la fuerza de corte y varía desde el 2,5% hasta el 20% de esta según el espesor de la chapa.

La tabla 2 muestra los porcentajes a aplicar para los espesores de chapa más utilizados.

Tabla 2. Fuerza de extracción de acuerdo al espesor de chapa

Espesor (mm)	Fuerza de corte (%)
Hasta 1	5 - 8
Entre 1 y 2.5	8 - 10
Entre 2.5 y 4	10 – 12,5
Entre 4 y 6	12 - 16

Para este caso se ha tomado el 10% de acuerdo al espesor de chapa de 4mm de la pieza de ejemplo.

$$Fe = 0.1 Fc$$

Ecuación 2

$$Fe = 0.1 \cdot (48896) = 4889.6 \text{ Kgf} = 4.889 \text{ ton}$$

Donde:

Fe = Fuerza de extracción

Este valor de la fuerza de extracción, aproximadamente 5 toneladas se usa para seleccionar los elementos de expulsión o resortes a ubicar en la placa pisadora.

3.1.3.- Cálculo del centro de presión (CP).

El cálculo del centro de presión del troquel sirve para determinar la posición de trabajo en la máquina. En las prensas en que el amarre al carro superior se realiza por medio de espiga o muñón, su posicionamiento se realiza de acuerdo a las coordenadas obtenidas en este cálculo. Para el cálculo analítico del centro de presión se utiliza la "Teoría de los momentos"; esta teoría dice que la suma de los productos de las fuerzas por las distancias a los ejes, dividida entre el total de las fuerzas mismas, determinará la posición de las resultantes respecto a los ejes Cartesianos X y Y.

$$CP = bx, by$$

Ecuación 3

$$CP = \frac{F_1 \cdot bx_1 + F_2 \cdot bx_2 + F_3 \cdot bx_3}{Fr}, \frac{F_1 \cdot by_1 + F_2 \cdot by_2 + F_3 \cdot by_3}{Fr}$$

Donde:

CP = Centro de Presión del sistema

bx = Coordenada en el eje X para el centro de Presión.

by = Coordenada en el eje Y para el centro de Presión.

$bx1, bx2, bx3 \dots bxn$ = Coordenada en el eje X para cada punzón.

$by1, by2, by3 \dots byn$ = Coordenada en el eje Y para cada punzón.

$F1, F2, F3, \dots Fn$ = fuerza realizada por cada punzón.

Fr = fuerza resultante, suma de todas las fuerzas de los punzones

De esta forma los productos de las fuerzas en cada punzón por su correspondiente distancia al origen se suman y este valor se divide entre la fuerza total resultante.

A continuación se halla la fuerza aplicada por cada punzón utilizando la ecuación 1.

- Para el punzón perforador cuadrado de 10 mm x 10mm, su perímetro (**P1**) es igual a 40 mm, el espesor de la chapa (**e**) es igual a 4 mm y la resistencia al corte hallada en la sección es $\sigma_c = 40 \text{ Kgf / mm}$ (Tabla 1)

$$F1 = (P1) * (e) * (\sigma C)$$

$$F1 = (40) * (4) * (40)$$

$$F1 = 6400 \text{ Kgf}$$

- Para los punzones de 8.2 x 20.2mm su perímetro (**P2+ P4**) es igual a 49,8 mm y el espesor de la chapa (**e**) es igual a 4 mm.

$$F2 = (P2) * (e) * (\sigma C)$$

$$F2 = (49,8) * (4) * (40)$$

$$F2 = 7968 \text{ Kgf}$$

- Para el Punzón recortador de la silueta su perímetro (**P3**) es igual a 166 mm y el espesor de la chapa (**e**) es igual a 4 mm.

$$F3 = (P3) * (e) * (\sigma C)$$

$$F3 = (166) * (4) * (40)$$

$$F3 = 26560 \text{ Kgf}$$

Para hallar la fuerza resultante se suman las fuerzas de todos los punzones:

$$Fr = F_1 + 2F_2 + F_3$$

$$Fr = 6400 + 2(7968) + 26560$$

$$Fr = 48896 \text{ Kg}$$

Para la pieza del ejemplo se han identificado las coordenadas de los centroides de los punzones tomando como posición origen para el eje X la línea central entre la estación de perforado y la estación de corte de silueta. El origen en el eje Y se ha tomado en el centroide del punzón recortador como se observa en la figura 16.

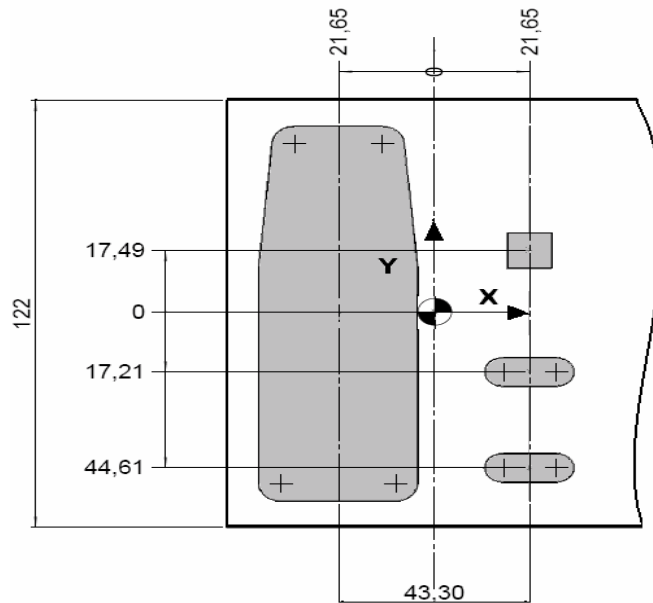


Figura 16. Posición de los punzones en la tira.

De la figura anterior se toman las distancias al origen de cada punzón. Con esas coordenadas y las fuerzas halladas anteriormente reemplazamos en la ecuación 3 para calcular del Centro de presión del sistema:

$$CP = b_x, b_y$$

$$b_x = \frac{F_1(b_{x_1}) + F_2(b_{x_2}) + F_2(b_{x_4}) + F_3(b_{x_3})}{Fr}$$

$$b_x = \frac{6400(21.65) + 7968(21.65) + 7968(21.65) + 26560(-21.65)}{48896}$$

$$b_x = 23.81 \text{ mm}$$

$$b_y = \frac{F_1(b_{y_1}) + F_2(b_{y_2}) + F_2(b_{y_4}) + F_3(b_{y_3})}{Fr}$$

$$b_y = \frac{6400(17.49) + 7968(-17.21) + 7968(-44.61) + 26560 \cdot 0}{48896}$$

$$b_y = 12.96 \text{ mm}$$

De este modo, la posición de trabajo de este troquel en la máquina debe lograrse con un desplazamiento de 23,81 mm en el eje X y 12,96 mm en el eje Y, con el fin de garantizar la aplicación correcta de la fuerza de la prensa.

3.1.4.- Proyectar la tira de recorte.

La primera operación en el diseño del troquel es proyectar la tira, tal como aparecerá después de que han sido realizadas en ella todas las operaciones. Al proyectar la tira de recorte se debe estimar la mejor disposición de la pieza con el fin de optimizar el material. Partiendo del formato en que es suministrada la chapa se debe definir el ancho de la tira y el número de tiras por chapa. A continuación se presentan algunos ejemplos de disposiciones usadas comúnmente dependiendo de la geometría de la pieza.

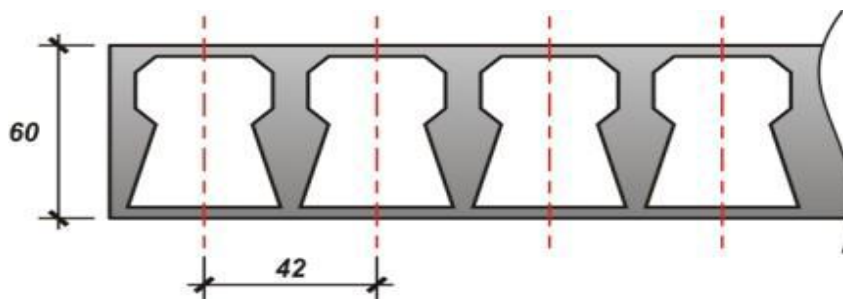


Figura 17. Disposición a lo ancho, conveniente para geometrías rectas.

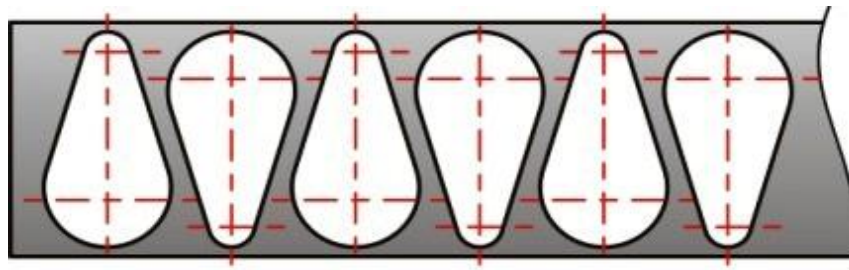


Figura 18. Disposición de doble pasada.

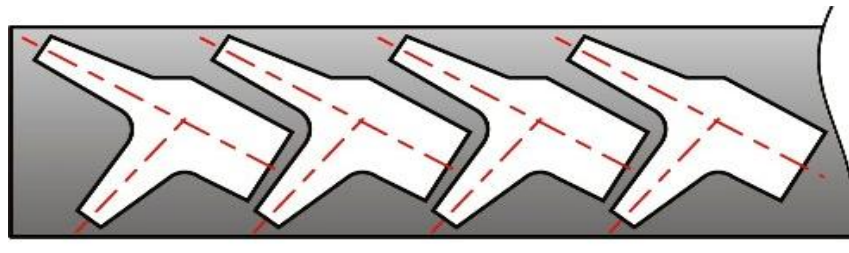


Figura 19. Disposición inclinada.

Se debe iniciar con la ubicación de la pieza (modelo paramétrico) en un ensamble con la tira. Para este ejemplo la disposición más conveniente es a lo ancho de la tira, correspondiente a geometrías rectas. Se posiciona la primera pieza de acuerdo a la disposición seleccionada, considerando las separaciones mínimas de los bordes de la tira y entre las piezas. Esta separación no debe ser inferior a 1,5 veces el espesor de la chapa, con el fin de evitar

deformaciones en las piezas recortadas. Las demás piezas en la tira se pueden ubicar, como arreglo o patrón lineal, teniendo en cuenta la disposición de la tira de recorte. [13]

Se define después la cantidad de tiras por chapa, y la cantidad de piezas por tira. Para facilitar la alimentación manual de la tira en el troquel se cortarán 20 tiras de 122mm de ancho x 1220mm de largo de cada chapa sin generar sobrante en el corte de las tiras. De esta forma se obtienen 28 piezas por tira y 560 piezas por cada chapa. La figura 20 muestra la disposición de la tira del ejemplo.

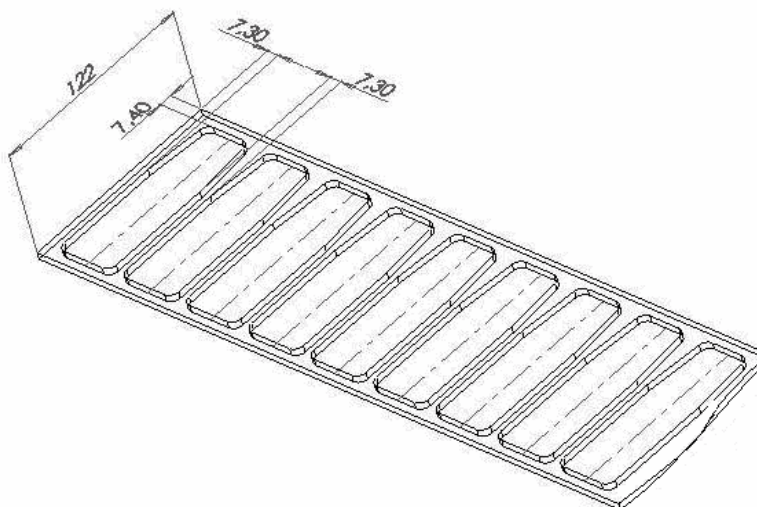


Figura 20. Disposición de la Tira de recorte

3.2.- Diseño de la placa matriz.

La placa matriz es el componente que lleva los agujeros en los que entran los punzones que realizan la operación de corte de la chapa. De acuerdo al tamaño y geometría de la pieza a cortar, esta placa puede ser única o segmentada.

Se inserta en el entorno de ensamble una placa con las dimensiones preliminares de la placa matriz. El ancho, dimensión en el eje **Y** se toma del ancho de la tira aumentando dos pulgadas para ubicar las regletas guías. El largo, dimensión en el eje **X**, debe cubrir las estaciones de perforado y corte de la pieza a troquelar, aumentando 2 pulgadas para ubicación de pilotos.

El juego entre punzón y matriz determina la dimensión de los agujeros en la placa matriz y la de los punzones. Para separar correctamente la pieza en la tira de material debe existir estrictamente el espacio correcto entre el punzón y la matriz. Para una chapa laminada en frío la diferencia entre el borde cortante del punzón y el de la matriz debe ser del 5% del espesor de la chapa. Cuando el trozo de metal cortado se desprende de la tira como desecho, el juego debe ser aplicado a la matriz y el punzón mantiene el tamaño nominal. Así mismo, cuando la porción de metal cortada es la pieza a conservar y la tira de que se extrae es el desecho, la

abertura de la matriz debe ser del tamaño nominal y debe aplicarse el juego al punzón. [3]

En este caso se aumenta la dimensión de las tres perforaciones de la matriz en la primera estación y se mantiene la dimensión de la abertura de la matriz en la segunda estación de acuerdo al tamaño nominal del contorno exterior de la pieza. En este caso el juego corresponde a:

$$J = 0.05 (e)$$

Ecuación 4

$$J = 0.05 (4mm)$$

$$J = 0,2mm$$

Donde:

J = juego entre punzón y matriz

e = Espesor de la chapa (mm)

A partir de la tira de recorte se proyectan cortes pasantes con la geometría de los punzones teniendo en cuenta el juego mencionado anteriormente. El contorno de los punzones de la primera estación se aumenta de manera equidistante en 0.2mm para generar los cortes en la placa matriz. La distancia mínima de un agujero a la cara exterior de la placa matriz debe ser de 1,125 veces el espesor de la placa.

La placa matriz de este ejemplo se ha segmentado en la estación del corte de silueta con el fin de facilitar el mecanizado y tratamiento térmico. Esto se logra ejecutando la operación **partir sólido** utilizando una línea de partición vertical que pase por el centro de abertura de la estación de corte de silueta, ver figura 21.

Para la fabricación de la placa matriz puede ser seleccionado un acero de herramientas para trabajo en frío AISI D2, de alta tenacidad y elevada resistencia al desgaste, templado y revenido a 58 - 60 HRC, recomendado para cortar espesores de chapa mayores a 3 mm, en producciones medias, como se describió en el capítulo 1.

La figura 21 muestra el bloque de la matriz en el entorno de ensamble en SolidWorks.

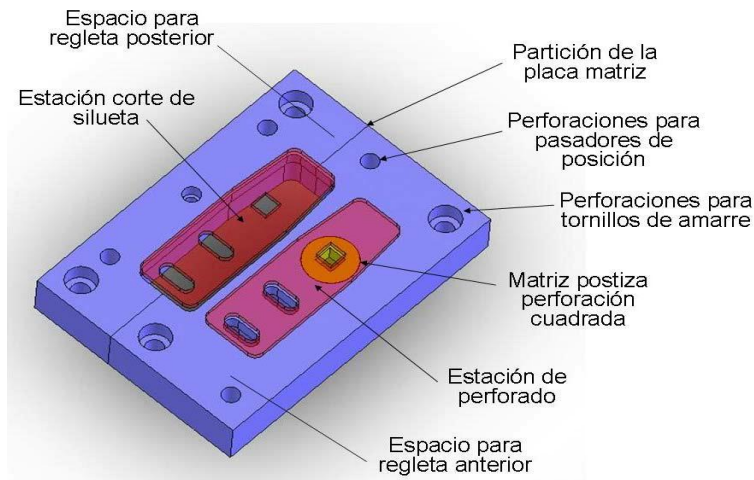


Figura 21. Matriz segmentada.

3.3.- Diseño de los punzones.

Los punzones son los elementos característicos de los troqueles y son los que definen el contorno de la pieza a cortar, por lo cual se diseñan a partir de esta. Se construyen en acero de herramientas endurecido y rectificado. Los mismos se clasifican en:

Punzones perforadores: Realizan agujeros en la pieza trabajo. El material de desecho cae por la parte inferior de la matriz

Punzones recortadores: Son los que cortan la silueta de la pieza. En la mayoría de los casos la pieza es desalojada por la parte inferior de la matriz. Con el fin de evitar la deformación de la pieza recortada, en algunos casos es desalojada hacia arriba, por un sistema de expulsión ubicado en el agujero de corte de la placa matriz.

En el ejemplo se aplicaron 3 punzones perforadores cuya forma y dimensiones en el extremo de trabajo corresponden el área de corte, la cual se extiende $\frac{1}{3}$ de la longitud total del punzón. Un cuerpo cilíndrico a continuación, cuyo diámetro corresponde a $\frac{1}{8}$ " por encima del diámetro de la sección de corte y que ajusta forzado en la placa porta punzones. Un resalto que entra en ajuste deslizando en dicha placa cuyo diámetro es de $\frac{1}{8}$ " por encima del cuerpo cilíndrico anterior y cuya longitud está entre $\frac{1}{8}$ " y $\frac{3}{16}$ ". [14]

Una cara plana en dicho resalto garantiza la alineación e impide que los punzones que cortan geometrías no circulares giren sobre su eje longitudinal ver figura 22. Los punzones se ubican en el ensamble 3D con relaciones de posición respecto a la placa matriz.

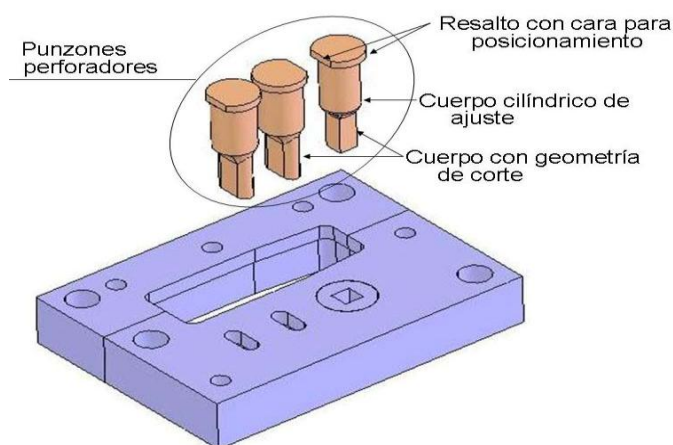


Figura 22. Ubicación de los punzones perforadores

Se pueden fabricar de acero de herramientas para trabajo en frío AISI D2, de alta tenacidad y elevada resistencia al desgaste, templado y revenido a 58 – 60 HRC, recomendado para cortar espesores de chapa mayores a 3 mm, en producciones medias.

El punzón recortador de silueta es de mayor tamaño que los anteriores y las dimensiones de la sección de corte presentan disminución respecto a la pieza a troquelar, debido a la holgura de corte calculada en la ecuación 4. Generalmente para los punzones recortadores de silueta no se aplican punzones de resalto ya que por contar con mayor área de apoyo se pueden amarrar directamente a la placa porta punzones con tornillos y clavijas de posición. La geometría en la sección de amarre debe ser la más básica que contenga la sección de corte y que facilite el mecanizado. La figura 23 presenta la adición del punzón recortador y de los punzones perforadores al ensamble.

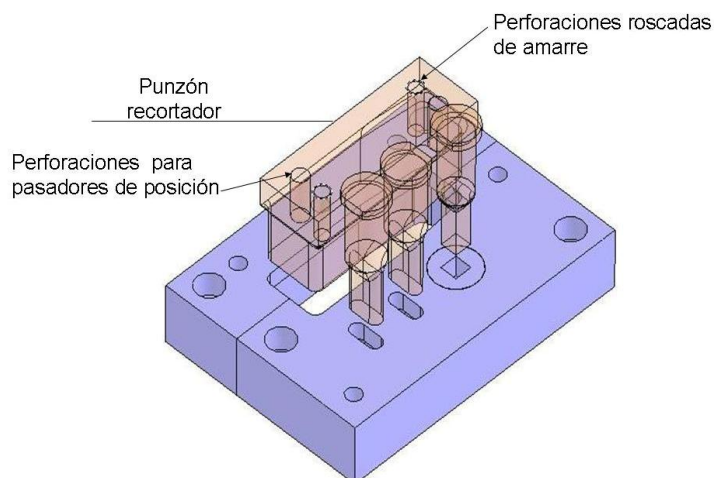


Figura 23. Adición del punzón recortador al ensamble

3.4.- Diseño del porta punzones.

Son placas que soportan y retienen los punzones determinando su correcta posición y aportando rigidez, los mismos se dimensionan a partir de los punzones y normalmente se fabrican en acero de maquinaria.

Para el ejemplo del estudio, se puede utilizar un acero ASTM A-36 de espesor 28mm con las perforaciones para el ajuste de los 3 punzones de la primera estación y ranuras que alojan cuñas de alineación en los resaltos de estos punzones como se muestra en la figura 24. Su posicionamiento sobre la base superior puede hacerse por medio de tornillos ya que el área de apoyo lo permite. [14]

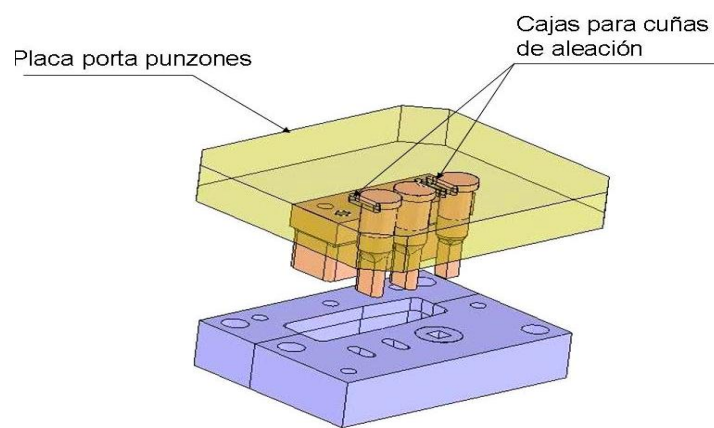


Figura 24. Adición de la placa Porta punzones.

3.5.- Diseño de la placa porta matriz.

Al igual que la placa porta punzones, se fabrican en acero de maquinaria y su función es alojar y posicionar en su interior todos los segmentos de la matriz. De esta forma, dichos segmentos quedarán ajustados en su interior. Cuando se utilizan matrices únicas o completas, éstas se pueden fijar directamente a la base inferior.

En este ejemplo puede ser utilizado un acero ASTM A-36 con un espesor de 35 mm, con una cavidad de 10 mm de profundidad que aloja y ajusta los segmentos de la matriz para garantizar su posicionamiento. (Figura 25).

Lleva además las perforaciones de corte de la matriz para permitir la salida del material recortado y perforado. [14]

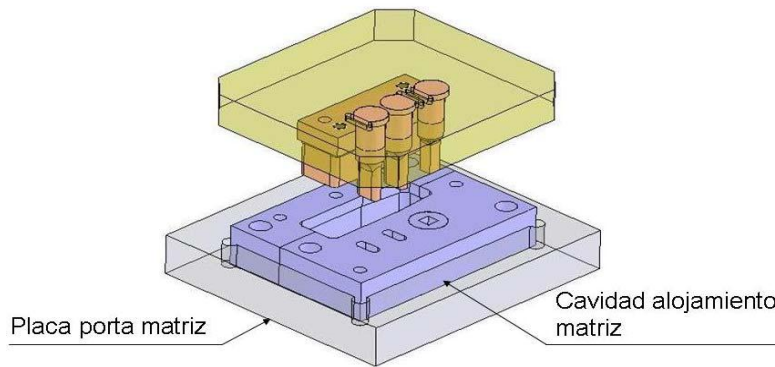


Figura 25. Adición de la placa Porta matriz

3.6.- Diseño de la placa pisadora.

Sus funciones son las siguientes:

- Guiar los punzones durante la operación de corte
- Pisar la tira para mantenerla firme durante el corte
- Extraer la tira de los punzones después de cortar

Durante el descenso la placa pisadora o prensa chapa presiona la tira, inmovilizándola hasta cuando los punzones cumplan su función. Luego, los resortes que van montados en su superficie se comprimen mientras se produce el corte. En el movimiento de ascenso los resortes recuperan su longitud, ver figura 26. Con la fuerza de extracción hallada anteriormente ($F_e = 4889,6 \text{ Kg}$) se determina el número de resortes a utilizar.

De la figura 11 se selecciona el resorte cilíndrico de poliuretano $\varnothing 32\text{mm}$ y Longitud 32mm que realiza un fuerza aproximada de 4000 N (408,2 Kg) cuando se comprime 7mm; esta selección se realiza teniendo en cuenta que el diámetro del resorte sea acorde con las dimensiones del troquel que se está diseñando. [3]

$$Nr = Fe/Fr$$

Ecuación 5

$$Nr = 4889,6 / 408,2 = 11,9$$

$$Nr \approx 12$$

Donde:

Nr = Numero de resortes

F_e = Fuerza de extracción

F_r = Fuerza del resorte

Estos resortes se distribuyen simétricamente sobre el área de la placa pisadora. Se mecanizan cavidades para evitar interferencia con los elementos de la parte inferior: regletas guías, pilotos, topes etc. Se propone un acero de Bajo carbono sin tratamiento térmico (AISI 10-20) para su fabricación.

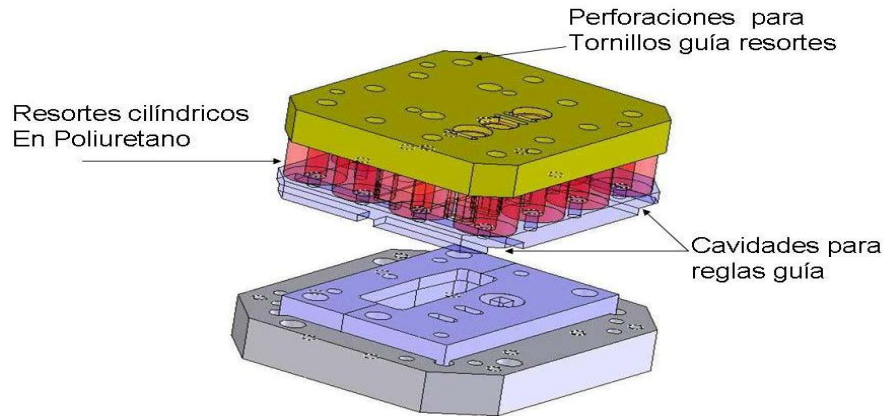


Figura 26. Adición de la placa Pisadora y resortes.

3.7.- Diseño de regletas guía.

Son especialmente utilizadas en los troqueles progresivos. Su función es guiar longitudinal y transversalmente la tira de recorte en su desplazamiento por el troquel, ver Figura 27.

En este ejemplo se selecciona una regleta posterior, una regleta frontal y dos regletas transversales que soportan y guían la tira de recorte. La altura de las regletas debe ser como mínimo dos veces el espesor de la tira para garantizar su retención ante posibles curvaturas en la tira. En este caso debe ser mínimo 8 mm, ya que la tira es de 4mm. [3]

Las regletas pueden fabricarse de acero AISI 1020 rectangular normalizado y cementadas con el fin de evitar desgaste causado por el contacto con la tira. La longitud de la regla transversal debe permitir el paso de la tira de recorte, por lo cual se debe tener en cuenta en su longitud el ancho de la tira de recorte como se muestra en la figura 26. Para este caso:

$$Lt = 122mm$$

$$Ar = 1.5" \approx 38,1mm$$

$$Lrt = 122mm + 2(38,1mm)$$

Ecuación 6

$$Lrt = 198,2mm$$

Donde:

Lt = Longitud tira de recorte

Ar = Ancho de la regleta

Lrt = Longitud regleta transversal

Su fijación se realiza por medio de tornillos con el fin de evitar la interferencia con la placa pisadora y pasadores posicionadores en las regletas posterior y frontal.

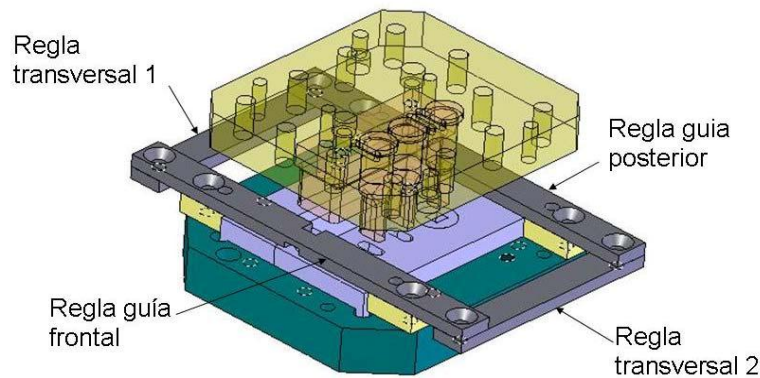


Figura 27. Adición regletas guía al ensamblaje.

3.8.- Diseño de pilotos.

Los pilotos desempeñan un papel fundamental en el funcionamiento de troqueles progresivos o de varias estaciones. Son elementos cilíndricos utilizados exclusivamente para garantizar la posición exacta de la tira en cada operación, es decir: Lo más importante es la posición en la que están ubicados, pasando a un segundo plano las dimensiones de este elemento. Generalmente se fabrican con diámetros entre $\varnothing 1/4"$ y $\varnothing 5/16"$. Deben considerarse medios que permitan su fácil y rápida extracción. [8]

En el troquel de este ejemplo se propone utilizar un piloto cilíndrico de paso de $\varnothing 12\text{mm}$ en uno de los bordes rectos de la silueta recortada en la segunda estación, el cual se selecciona teniendo en cuenta las proporciones del troquel y de acuerdo a los troqueles semejantes existentes. El cuerpo del piloto es de $\varnothing 5/16"$ X 10 mm de longitud y ajusta forzado en una perforación pasante en la placa matriz, con el fin de facilitar su extracción desde la parte inferior. El resalto de $\varnothing 12\text{mm}$ sobre el cual se realiza el tope de paso en la tira tiene una altura de 4mm y corresponde al espesor de la tira con el fin de que tope fácilmente sin complicar la operación. De este modo cada vez que cae una pieza recortada queda una perforación en la tira con la forma de su silueta que se ubica en el piloto empujando la tira hacia delante, ver figura 28.

Este piloto puede ser fabricado en acero AISI 1020 de $\varnothing 12\text{ mm}$ y cementado con el fin de evitar desgaste causado por el contacto con la tira.

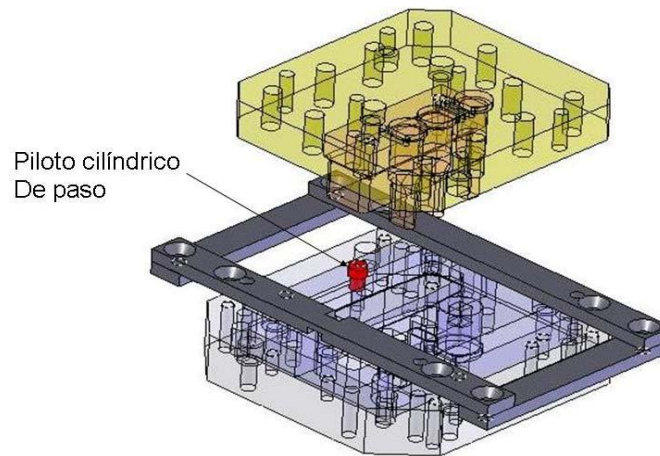


Figura 28. Adición piloto de paso al ensamblaje.

3.9.- Diseño de topes.

Son utilizados para el posicionamiento de la tira en sentido longitudinal. Generalmente se utilizan topes manuales para perforar la primera pieza; en adelante el posicionamiento se hace por medio de pilotos que utilizan las perforaciones del paso anterior.

En este ejemplo se utiliza un tope manual deslizante en la regleta guía anterior para la primera pieza de la tira. Este tope debe llevar una ranura que lo mantiene retenido en la regla frontal y limita su desplazamiento. [8]

Cuando no está en funcionamiento debe ocultarse completamente, permitiendo el paso de la tira y en operación debe sobresalir como mínimo el 10% del ancho de la tira, para garantizar la retención de ésta en su primer golpe. El ancho del tope está entre 1/2 y 1/3 el ancho de la regla frontal y el espesor corresponde al de la regleta frontal, ya que funciona acoplada a esta, como se muestra en la figura 29. Para este caso: [3]

$$L_t = 122 \text{ mm}$$

$$R_{\text{tope}} = 122 * 0,1 = 12,2$$

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

$$A_{\text{tope}} = 38.1 \text{ mm} / 3 = 12.7 \text{ mm}$$

Ecuación 7

$$L_s = 25 \text{ mm}$$

$$L_{tt} = R_t + A_t + L_s$$

$$L_{tt} = 12.2 \text{ mm} + 38.1 \text{ mm} + 25 \text{ mm} = 75.3 \text{ mm}$$

Donde:

L_t = Longitud tira de recorte

R_{tope} = recorrido del tope

Ar = Ancho de la regleta frontal

$Atope$ = Ancho del tope

Ls = Longitud de sujeción del tope (estimada para permitir su manipulación)

Ltt = Longitud total del tope

Este tope, al igual que las regletas guía, puede ser de acero AISI 1020 cementado con el fin de evitar desgaste por fricción con la tira de recorte.

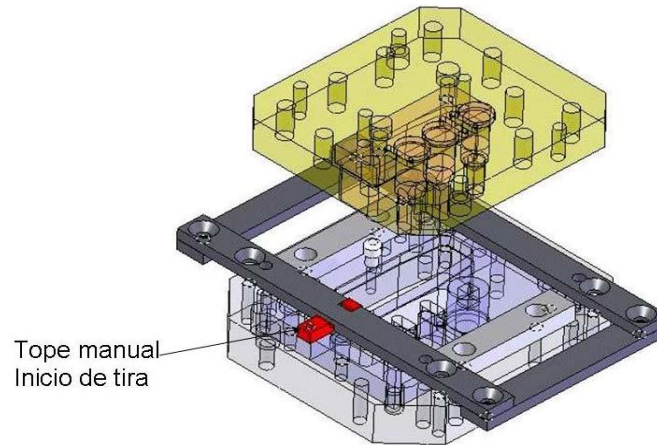


Figura 29. Adición tope manual.

3.10.- Selección de la base porta troquel.

La base porta troquel (Die set) se puede seleccionar de acuerdo a catálogos de diferentes fabricantes. Tanto en la base superior como en la inferior se deben maquinar las perforaciones de amarre de los componentes y las perforaciones de salida de las piezas troqueladas y del material de desecho por la parte inferior del troquel. La figura 30 muestra el ensamblaje final en la base porta troquel.

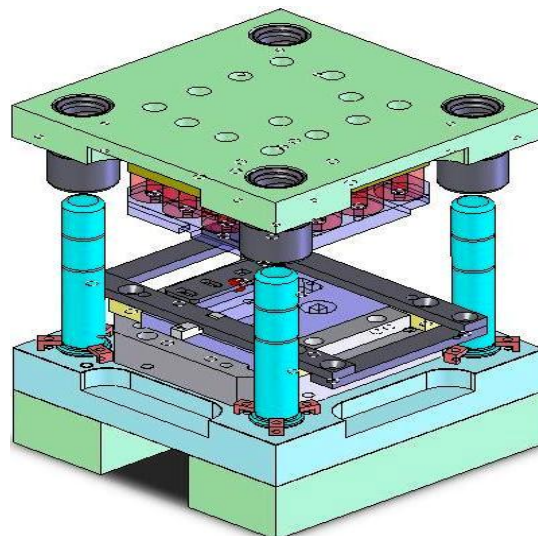


Figura 30. Ensamble en la base porta troquel.

El próximo paso sería entonces la evaluación del troquel ya ensamblado. Esta evaluación se realiza en SolidWorks llevando el troquel ensamblado a la posición de cierre y ejecutando al análisis de interferencia seleccionando el ensamble y todos sus componentes. La figura 31 muestra el resultado de este análisis para el troquel ensamblado.

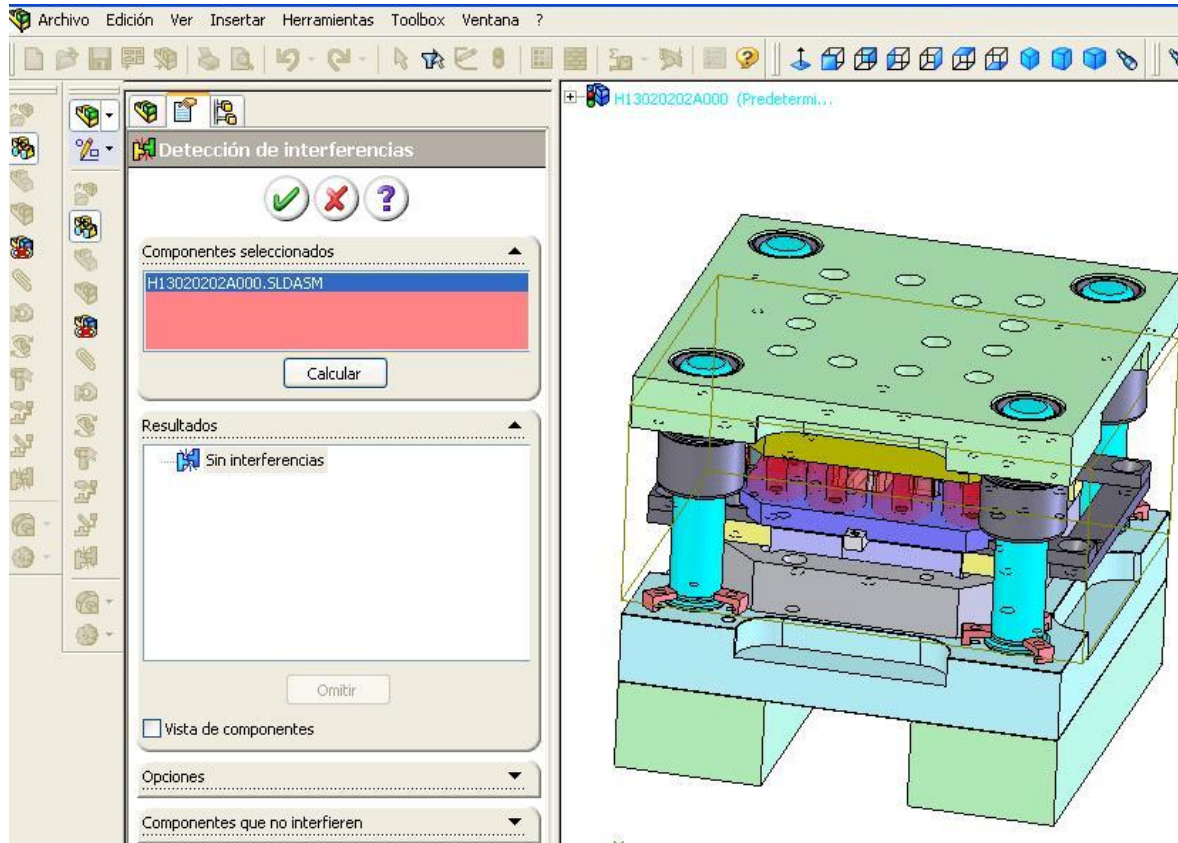


Figura 31. Verificación de interferencias mediante el SolidWork.

3.11.- Conclusiones parciales.

1. El troquel de este ejemplo ha servido para presentar una metodología de diseño aplicando los pasos del proceso de diseño en ingeniería. En el anexo 8 se presenta el gráfico que resume esta metodología para el diseño de troqueles de corte y sus aspectos más relevantes en cada etapa.
2. Se ha mostrado de manera general los componentes de un troquel y la forma de definirlos. En esta etapa se especifican los planos del troquel con el listado de partes y materiales correspondientes; incluyendo material, tratamiento térmico, dureza y cantidades a fabricar.
3. El uso de herramientas computacionales permite detectar interferencias y predecir el funcionamiento del herramental diseñado.

CONCLUSIONES GENERALES.

1. Se llevó a cabo el cálculo para el diseño de un troquel típico de corte de chapa metálica que permitió presentar una metodología de diseño ajustada al proceso de diseño de ingeniería. Esta metodología es una guía didáctica útil para los diseñadores en cualquier tipo de industria en que se apliquen este tipo de herramientas de corte.
2. Se recopiló la información estandarizada por el proceso de ingeniería para el diseño de troqueles y se encontró que es útil para quienes participan en el diseño de herramientas, ya que proporciona las referencias y datos necesarios para realizar un diseño de troqueles adecuadamente.
3. La información recopilada para el diseño de troqueles en general se mantiene vigente, ya que los conceptos de textos publicados en los años sesenta y setenta no han cambiado en su esencia y se mantienen hasta la actualidad, complementándose los mismos con avances tecnológicos que reducen los tiempos de fabricación de estos herramientas.
4. La fase de diseño es la más importante de un proyecto ya que si se sigue una metodología eficaz, ajustada a las necesidades reales de un problema, se puede reducir el tiempo de desarrollo del proyecto y aumentar la calidad de los resultados finales de una forma sensible.
5. El uso de herramientas computacionales reduce el tiempo de diseño pero no excluye los conocimientos de ingeniería del diseñador, indispensables para realizar cálculos, selección de materiales y equipos, evaluar las condiciones críticas, seleccionar los factores de seguridad, establecer las relaciones geométricas y tolerancias permisibles para cada una de las piezas.

RECOMENDACIONES.

1. Continuar con la búsqueda de parámetros y criterios que influyen en el diseño de troqueles de corte.
2. Implementar y poner a prueba la metodología propuesta para el diseño de troqueles en las empresas de nuestra región.
3. Realizar un estudio de diseño sobre otras herramientas para el conformado.

BIBLIOGRAFIA.

1. Alvarez Bermudez, L. S. *Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica*. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali. 2009
2. Ulintz, P. *Diseño de Troqueles y Modelado de Procesos*. Anchor Manufacturing Group, Inc, 2007. Disponible en Internet: <http://mexico.pma.org/magazine/apr07/pdf/Diseno.pdf>
3. Rossi, Mario. *Estampado en Frío de la chapa*. Madrid: Dossat, 1989.
4. Gallardo, M.M., *Herramientas de Conformar*. 1984.
5. Levi, G.F., *Troqueles*. 1988.
6. Fundación Ascamm centro tecnológico, tecnología de matrices. España. 2005. Disponible en Internet: <http://www.ascamm.com/es/>
7. Reyes, Y. G. *Diseño de un troquel*. 2009. Disponible en Internet: <http://www.monografias.com/trabajos67/realizacion-troquel/realizacion-troquel.shtml>
8. Pérez, D.P. *Validación y ampliación de un conjunto de normas para el diseño de troqueles en la EMI Cmdte "Ernesto Che Guevara*, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. 2002.
9. ASTM International. 2014 Products catalog. Disponible en Internet: <http://www.astm.org/catalog.html>
10. Productos. Catálogos. Elementos Normalizados/Muelles de Poliuretano Hassmersheim: Fibro, 2008. Disponible en Internet: <http://www.fibro.de/es/elementos-normalizados/grupos-de-productos.html>
11. González García, Victorino. *Análisis del proceso de diseño en ingeniería*. Universidad Politécnica de Madrid, España 2003.
12. Fadón Salazar, José E.; Valencia Fernández, David., *Diseño de troqueles de estampación mediante modelado sólido*.
13. Gallardo, M.M., *Conformación de Metales*. 1983.
14. Paquin, J. R. *Diseño de matrices*. Nueva York: Industrial Press Inc., 1987. Productos. Catálogos. Aceros para trabajo en frío. Bogotá: Axxecol, 2005. Disponible en Internet: <http://www.axxecol.com/DwPortal/384/Informacion-Tecnica.aspx>
15. Inorca Ltda. *Manual de diseño. Ingeniería e industrialización*, 2005 Disponible en Internet: <http://www.inorca.com.co/>
16. Ahuja, Hira N; WALSH, Michael. *Ingeniería de Costos y Administración de Proyectos*. México:

- Alfaomega, 1989.
17. Área comercial. Acero para herramientas. Aceros para trabajo en frío. Bogotá: Bohler Andina, 2007. Disponible en Internet: <http://www.bohlerandina.com/>
 18. Avallone, Eugene A; BAUMEISTER III, Theodore. *Manual del Ingeniero Mecánico*. México: McGraw – Hill, 1995. 2v.
 19. Beer, Ferdinand; JOHNSTON, E. Russell. *Mecánica de materiales*. México: McGraw – Hill, 1989.
 20. Botero Arango, Filiberto. *Diseño de un molino de bolas tipo atritor*. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería, 2005.
 21. De Grinberg, Dora María. *Tratamientos térmicos de aceros y sus prácticas de laboratorio*. México: Limusa, 1986.
 22. Heinrich, Gerling. *Alrededor de las máquinas - herramientas*, Reverté. 2 ed. 1964.
 23. Productos y servicios. Bases Porta Troquel Bogotá: CIA. General de Aceros, 2004. Disponible en Internet: <http://www.cga.com.co/>
 24. Guzman Segundo, Javier. *Rediseño de un herramental de embutido y su implementación para la ejecución del ensayo de ERICHSEN*. Ciudad Universitaria. UNAM. 2010
 25. ASM Handbook. Volume 14: *Forming and Forging*. Ed. International Handbook Committee, EUA. 2000.
 26. ASTM E643 - 09 *Standard Test Method for Ball Punch Deformation of Metallic Sheet Material*.
 27. Avitzur, Betzalel. *Metal Forming: Process and analysis*. Ed. McGraw-Hill, E.U.A. 1968.
 28. Avner, Sydney. *Introduction to Physical Metallurgy*. McGraw-Hill. México 1974.
 29. Chaker. Akrouit. *Numerical and experimental study of the Erichsen Test for metal stamping*. APEM Journal. Francia, 2008.
 30. Dieter, George. *Mechanical Metallurgy*. Ed. McGraw-Hill, E.U.A. 1970.
 31. Faires, Virgil. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Ed. Limusa. México 2003.
 32. Groover, Mikell. *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Ed. McGraw-Hill. México 2007.
 33. Rossi, Mario. *Estampado en Frío de la Chapa*. Publicaciones de la Universidad de Santiago de Chile – Facultad de Ingeniería. Chile 2009.
 34. Schey, John. *Procesos de Manufactura*. Ed. McGraw-Hill. México 2000.

35. Compendio de Normas Cubanas. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

- NC 09-02-15 1987 "Vástagos"
- NC 09-02-17 1986 "Bases superiores para armazones con superficie de trabajo circular"
- NC 09-02-18 1986 "Placas guía con superficie de trabajo circular y rectangular"
- NC 09-02-82 1988 "Troqueles para el estampado de la chapa"
- NC 09-02-85 1986 "Bujes guías para columnas guía escalonada."
- NC 09-04 1983 "Armazones para troqueles"
- NC 09-09 1966 "Armazones para troqueles con bases de fundición gris o fundición de acero, superficie de trabajo rectangular. Columnas hacia atrás de la superficie de trabajo"
- NC 09-11 1966 "Armazones para troqueles con bases de fundición gris o fundición de acero. superficie de trabajo rectangular con cuatro columnas"
- NC 09-14 1972 "Bujes de armazones para troqueles"
- NC 09-20 1967 "Armazones para troqueles con base de fundición gris o fundición de acero. superficie de trabajo rectangular con placa guía y con cabeza de fijación"
- NC 09-21 1967 "Armazones para troqueles con base de fundición gris o fundición de acero. superficie de trabajo circular con placa guía y con cabeza de fijación."
- NC 09-27 1967 "Vástago de suspensión para troqueles"
- NC 09-29 1967 "Tiradores para vástagos de troqueles"
- NC 09-33 1967 "Cabeza de retenedores para troqueles"
- NC 09-36 1967 "Placas para retenedores de troqueles"
- NC 09-37 1967 "Expulsores para retenedores de resorte para troqueles"
- NC 09-38 1967 "Resortes helicoidales de compresión para troqueles y moldes"
- NC 09-41 1968 "Topes verticales para troqueles"
- NC 09-42 1967 "Topes de bujes para troqueles"
- NC 09-43 1967 "Topes fijos para troqueles"
- NC 09-44 1968 "Topes fijos con cabeza para troqueles"
- NC 09-45 1968 "Espiga desprendedora para troqueles"
- NC 09-46 1968 "Punzones de corte con sección circular para troqueles. diámetros hasta 7mm"

- NC 09-47 1968 "Punzones de corte con sección circular para troqueles. diámetro 0,5 a 2,4mm"
- NC 09-48 1968 "Punzones de corte sección circular para troqueles. diámetros desde 7 hasta 26 mm"
- NC 09-49 1968 "Punzones de corte con sección circular para troqueles. diámetros desde 26 hasta 50 mm"
- NC 09-50 1968 "Bujes para punzones de corte con sección circular para troqueles. Diámetro de los punzones de 0,5 a 2,4 mm"
- NC 09-51 1968 "Pasadores para punzones de corte con sección circular para troqueles. diámetro de los punzones de 0,5 a 2,4 mm."
- NC 09-52 1968 "Topes iniciales para troqueles"
- NC 09-53 1968 "Prisioneros para topes iniciales de troqueles"
- NC 09-54 1968 "Cuchillas cilíndricas de corte del desperdicio para troqueles"
- NC 09-55 1968 "Cuchilla rectangular de corte del desperdicio para troqueles"

ANEXOS

Anexo 1:

Tabla a.1. Catálogo de prensas para la operación de troqueles. [15]

	TROQUELADORA BLISS (210) Capacidad: 110 TON Ancho: 1,70 m Largo: 2,60 m Mesa: 0.69 x 1,40 m Recorrido: 0.40 m
	PRENSA COHA (298) Capacidad: 200 TON Ancho: 2,4m Largo: 2,3 m Mesa: 1 x 1,20 m Recorrido: 0.85 m
	TROQUELADORA GALEON (082) Capacidad: 90 TON Ancho: 1,60 m Largo: 1,80 m Mesa: 0.50 x 0.83 m Recorrido: 0.30 m
	TROQUELADORA FARREL (080) Capacidad: 60 TON Ancho: 1,30 m Largo: 1,70 m Mesa: 0.44 x 0.79 m Recorrido: 0.32 m
	TROQUELADORA SCHULLER (083) Capacidad: 40 TON Ancho: 1,40 m Largo: 1,80 m Mesa: 0.37 x 0.68 m Recorrido: 0.40 m

	TROQUELADORA BLISS (209) Capacidad: 30 TON Ancho: 1,30 m Largo: 1,70 m Mesa: 0.42 x 0.68 m Recorrido: 0.34 m
	TROQUELADORA BLISS (206) Capacidad: 21.5 TON Ancho: 1,40 m Largo: 2 m Mesa: 0.57 x 0.80 m Recorrido: 0.24 m
	TROQUELADORA SCHULER (086) Capacidad: 16 TON Ancho: 0.79 m Largo: 0.93 m Mesa: 0.41 x 0.38 m Recorrido: 0.285 m
	TROQUELADORA SCHULER (085) Capacidad: 16 TON Ancho: 0.78 m Largo: 0.95 m Mesa: 0.38 x 0.415 m Recorrido: 0.27 m

Anexo 2:**Tabla a.2:** Resistencia de corte para diferentes metales.[13]

Material	Recocido	Sin recocer
Chapa de acero con:		
0.1%C	26	32
0.2%C	32	40
0.3%C	36	48
0.4%C	45	56
0.6%C	56	72
0.8%C	72	90
1.0%C	80	105
Acero al silicio	45	56
Acero inoxidable	52	56
Chapa de bronce	36	50
Latón	25	38
Cobre	20	28
AL-CU-Mg	22	38
Aluminio	22	38
Aleaciones de Mg en frío	14	16
a 300°C	5	7
Cinc	12	20
Plomo	2-3	
Estaño	3-4	

Anexo 3:**Tabla a.3:** Distancia pieza- pieza y pieza-borde.[5]

Espeso del material en mm	Piezas cilíndricas y ovaladas		Piezas longitudes en mm									
			<50		50-100		100-200		200-300		>300	
	m	m1	m	m1	m	m1	m	m1	m	m1	m	m1
Hasta0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0
0.51-1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
1.1-1.2	1.2	1.8	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.01	3.0	3.5
1.3-1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
1.6-2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0
2.1-2.5	1.8	2.3	2.5	3.0	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0
2.6-3.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	3.5	4.0	4.0	4.45
3.1-4.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	5.0
4.1-5.0	3.0	4.0	3.5	4.5	4.0	5.0	4.0	5.0	5.0	4.5	5.0	6.0
5.1-6.0	3.5	4.5	4.0	5.0	4.5	5.5	4.5	5.5	5.0	6.0	5.5	6.5

Anexo 4:**Tabla a.4:** Número económico de piezas para el corte de chapas en troqueles.[5]

Número económico de piezas para el corte de chapas en troqueles							
Desde hasta	Rango de piezas						
	500	500 1000	1000 5000	10000 50000	50000 100000	100000 500000	500000
Troquel de corte simple	X	X					
Con placa guía		X	X	X			
Con columnas			X	X	X		
Troquel progresivo con placa guía			X	X	X		
Con columnas				X	X	X	
Troquel combinado				X	X	X	
Troquel repasado				X	X	X	X
Troquel múltiple						X	X

Anexo 5:**Tabla a.5:** Juego máx. y mín. de corte de acuerdo al tipo de material a estampar.[5]

Espesor del material e estampar	METAL			
	Aluminio	CT-10, 15 08 KP, 20, 25, 35, 40 Latón	Acero 45 y mas, bronce duro	Aceros inoxidables
0.1-0.25	0.005-0.002	0.005-0.02	0.005-0.02	0.005-0.2
Mayor 0.25-0.5	0.05/0.10	0.06/0.12	0.07/0.14	0.04/0.1
Mayor 0.5-1	0.06/0.10	0.07/0.12	0.08/0.14	0.04/0.1
Mayor 1.0-1.8	0.06/0.10	0.07/0.12	0.08/0.13	0.04/0.11
Mayor 1.8-3.0	0.08/0.10	0.09/0.12	0.1/0.13	0.03/0.1
Mayor 3.0-5	0.08/0.12	0.11/0.15	0.13/0.16	0.03/0.12
Mayor 5.0	0.08/0.12	0.11/0.15	0.12/0.16	

Anexo 6:

Tabla a.6: Salida o ángulo de escape en las matrices.[5]

Angulo de salida	Espesor	
14` - 15`	0.1 – 0.5	
15` - 20`	0.5 – 1.0	
20` - 30`	1.0- 2.0	
30` - 45`	2.0 – 4.0	
45` - 1`	> 4.0	
Altura	Espesor	Angulo de salida
3 - 5	< 0.5	10`
5 - 10	0.5- 5	20`
10 - 15	5 - 10	30`

Anexo 7:

Tabla a.7: Ejemplos de aplicación de los materiales utilizados por la norma DIN 17007 en la fabricación de troqueles.[8]

No	DIN 17007	GOST	Ejemplos de aplicación
1	Ck22 ó C22E	20	Elementos destinados para la cementación, con mucha dureza en la zona cementada y mucha resistencia al centro. (Columnas, bujes)
2	Ck45 ó C45E	45	Vástago, placa guía , tornillos, placa porta-punzón y placa porta-matriz
3	C80W2	Y8A	Punzones y matrices de corte, de embutido profundo, punzones y matrices de acuñado sometidos a esfuerzos moderados. Matrices y punzones para la fabricación de clavos y remaches.
4	C105W1	Y10A	Idem.
5	105WCr6	XBG	Punzones y matrices de corte sometidos a esfuerzos grandes, elementos de troqueles que no se procesan después del temple, punzones y matrices muy complicados que deben mantener sus dimensiones después del temple, especialmente punzones y matrices para cortar flejes de pequeño espesor.
6	X210Cr12	X12	Punzones y matrices de corte, formas precisas y complejas especialmente de dimensiones grandes; para el corte de de flejes de rotor o transformados, cuchillas de corte para maquinas automáticas de clavos.
7	X155CrVMO12-1	X12MØ	Idem.
8	Ck67 CK67E	65GA	Es un acero de elevada inclinación a la formación de grietas de temple. Se emplea con el fin de reducir el costo de las piezas de producción masiva en los casos que la rotura de los resortes no provoca violaciones en el funcionamiento de las piezas de los mecanismos y no resulta trabajoso el reemplazo de los mismos.

Anexo 7 (Cont.):

Tabla a.8: Composición química aproximada de algunos de los materiales más utilizados en la fabricación de troqueles según la norma DIN 17007.[8]

DIN 17007	GOST	Composición Química en %										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W	Cu
Ck22 ó C22E	20	0.17 ÷ 0.24	0.17 ÷ 0.37	0.35 ÷ 0.65	0.035	0.040	≤0.25	-	≤0.25	-	-	≤0.25
Ck45 ó C45E	45	0.42 ÷ 0.50	0.17 ÷ 0.37	0.50 ÷ 0.80	0.035	0.040	≤0.25	-	≤0.25	-	-	0.25
C80W2	Y8A	0.75 ÷ 0.84	0.15 ÷ 0.35	0.15 ÷ 0.30	≤0.030	≤0.020	≤0.15	-	≤0.20	-	-	≤0.20
C105W1	Y10A	0.95 ÷ 1.04	0.15 ÷ 0.35	0.15 ÷ 0.30	≤0.030	≤0.020	≤0.15	-	≤0.20	-	-	≤0.20
105WCr6	XBG	0.90 ÷ 1.05	0.15 ÷ 0.35	0.80 ÷ 1.10	≤0.030	≤0.030	0.90 ÷ 1.20	≤0.30	≤0.35	≤0.05	1.20 ÷ 1.60	0.30
X210Cr12	X12	2.00 ÷ 2.20	0.15 ÷ 0.35	0.15 ÷ 0.40	≤0.030	≤0.030	11.5 ÷ 13.0	≤0.15	≤0.35	≤0.05	≤0.20	0.30
Ck67 CK67E	65GA	0.65 ÷ 0.70	0.15 ÷ 0.30	0.70 ÷ 1.50	0.025	0.025	≤0.15	-	≤0.20	-	-	≤0.20

Normas	Materiales							
DIN 17007	X155CrVMO12-1	X21Cr12	105WCr6	C105W1	C80W2	Ck45 C45E	Ck22 C22E	Ck67 CK67E
GOST	X12MØ	X12	XBG	Y10A	Y8A	45	20	65GA
Código Normas alemanas	1.2379	1.2080	1.2419	1.1545	1.1625	1.1191	1.1151	1.1231
AFNOR	Z160CDV12 X160CrMoV12	Z200C12 X200Cr12	105WC13 105WCr15	Y1105 C105E2U	Y180*	XC45 XC42H1	2C22 XC25 XC18	XC68
B.S	BD2	BD3	B01*	060A96*	BW1B	080M46 060A47	050A20 055M15	060A67
UNI	X150CrMo12KU X155CrVMo121KU	X205Cr12KU	100WCr6 107WCr5KU	C98KU C100KU	C100*	C45 C46	C20 C25	C70
JIS	SKD11	SKD1	SKS31 SKS2 SKS3	SK3	SKC3 SK5 SK6	SC45C S48C	S20C S20Ck	-
SS	2310	-	2140	1880	1870*	1672	1312* 1450	1770
UNE	F.520A	X120Cr12 F.5212	105WCr5 F.5223	F.515 F.16	F.5107 C80	F.1140-C45K F.1142-C48K	F1120-C25k	-
AISI ó ASTM	D2	D3	E51100**	W110	W1	1045	1020 1023	1070
GB	Cr12MoV	Cr12	CrWMn	T10A	T8	45	20	65Mn
EN	X160CrMoV121	X210Cr12	107WCr5	CT105	CT80	C45E	C20D*	60Si7

* Puede ser usado como sustituto.
* Puede ser usado como sustituto limitadamente (Exigir contenido mínimo de C)

* Puede ser usado como sustituto.

* Puede ser usado como sustituto limitadamente (Exigir contenido mínimo de C)

Anexo 8:

Figura a.1: Esquema proceso diseño troqueles de corte.

