

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA:**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TROQUELADORA PARA EL CORTE  
DE PLACAS DE ALUMINIO, A SER EMPLEADAS EN LA BODEGA DEL  
LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA.**

**AUTORES:**

**PABLO ANDRES MIER MIER**

**DANNY ARTURO VALENCIA HIDALGO**

**TUTOR:**

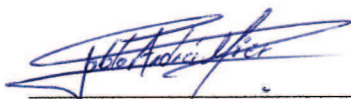
**QUITIAQUEZ SARSOZA RENÉ PATRICIO**

**Quito, enero 2018**

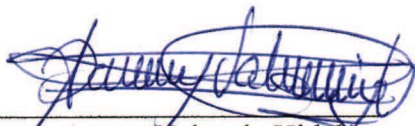
## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Pablo Andrés Mier Mier y Danny Arturo Valencia Hidalgo, con documentos de identidad 1803227543 y 1722464946 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación titulado; “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TROQUELADORA PARA EL CORTE DE PLACAS DE ALUMINIO, A SER EMPLEADAS EN LA BODEGA DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el Título de Ingenieros Mecánicos en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En la aplicación a la determinada por la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Pablo Andrés Mier Mier  
C.I: 1803227543




Danny Arturo Valencia Hidalgo  
C.I: 1722464946

Quito, enero del 2018

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA TROQUELADORA PARA EL CORTE DE PLACAS DE ALUMINIO, A SER EMPLEADAS EN LA BODEGA DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA”, realizado por Pablo Andrés Mier Mier y Danny Arturo Valencia Hidalgo obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como Trabajo Final de Titulación.

Quito, enero, 2018



Ing. Quitiaquez Sarsoza René Patricio

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia, a mi padre por siempre apoyarme en cada una de mis decisiones y ser mi ejemplo de persona, a mi madre por ser mi motor, quien siempre ha estado pendiente y a quien no me alcanzará la vida para agradecerle todo lo que ha hecho por mí, a mi hermano con quien pude contar desde el momento en que nací y quien ha sido una de mis mayores influencias, a mi cuñada y mis sobrinas por su cariño incondicional, a mis abuelitos quienes me han enseñado que con amor y trabajo se puede lograr todo lo que se desea, a mis tíos y tías, a mis primos quienes son una parte fundamental en mi vida, y a todos mis amigos que me han apoyado siempre, solo me resta decirles muchas gracias.

Pablo Andrés Mier Mier

Dedico el presente trabajo, a Dios por bendecirme siempre y permitir que pueda culminar una etapa más de mi vida; así como también, a mis padres, quienes son el motor que me ha impulsado a seguir adelante, que incansablemente han velado por mi bienestar y con sus enseñanzas e infinito amor he llegado a ser el hombre de hoy; a mi hermano que ha sido mi fiel amigo, en quien sin dudar me puedo apoyar; a mi cuñada que me ha brindado su cariño; a mi sobrina, pequeña que me da fuerzas para día a día luchar por las metas que me faltan por cumplir; a toda mi familia, que confía en mí y me apoya incondicionalmente; a mi novia, compañera y amiga que me ha brindado su amor y su apoyo incondicional, mi fan #1. Y a todas las personas que me estiman y están conmigo en todo momento.

Danny Arturo Valencia Hidalgo

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo la creación de una máquina que pueda efectuar el corte de una placa de aluminio para realizar fichas a ser utilizadas en el laboratorio de la “Universidad Politécnica Salesiana”, para esto se realizó una investigación previa con la finalidad de averiguar cuál es el método más eficiente para el corte de este tipo de placas, el cual será tomado como punto de partida.

Mediante la metodología seleccionada, se comienza con el estudio de los pasos que necesita una máquina al momento del corte a una placa, se verifica cuáles son las partes fundamentales de la máquina y se procede a seleccionar los sistemas adecuados.

Se realiza el análisis de alternativas, tomando tres alternativas que cumplan con los objetivos planteados, comparándolas entre sí para poder especificar cuál es la más eficiente para este proyecto.

Para poder proseguir con el diseño, se da una descripción de la teoría de formulación que se utilizara para encontrar las características fundamentales de la máquina previa su construcción

Una vez finalizado la investigación y cálculos se procede con la construcción de la máquina, se realiza trabajos de corte, torneado, rectificado, templado, método de electro - erosión en la matriz y finalmente se da el acabado.

Por último se realiza las pruebas pertinentes para verificar si se ha llegado a los objetivos planteados.

Palabras claves: Troquelar, Tornillo de potencia, placas, corte, matriz punzón

## **ABSTRACT**

The objective of this project is the creation of a machine that can cut an aluminum plate to perform tests in the laboratory of the “Universidad Politécnica Salesiana”, for which a previous investigation was executed with the purpose of defining the most efficient method for the cutting of this type of plates, which will be taken as a starting point

Through the selected methodology, it starts with the study of the steps to follow that require a machine at the moment of cutting of aluminum plate, it verifies which are the fundamental parts of the machine and proceeds to select the appropriate systems

The analysis of alternatives is carried out, taking three alternatives that meet the proposed objectives, comparing them among themselves in order to specify which is the most efficient for this project.

In order to proceed with the design, a description of the formulation theory that will be used to find the fundamental characteristics of the machine prior to its construction is given

Once the research and calculations are completed, the machine is built in a workshop, in this workshop cutting, rectified, lathe, tempering and finishing the machine is done

Finally, we perform the relevant tests to verify if the objectives have been reached

Keywords: Die-cutting, power screw, aluminum plate, cut, punch die

## ÍNDICE GENERAL

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	ii
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT .....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
Índice de Figuras .....	x
Índice de tablas.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
PROBLEMA DE ESTUDIO .....	xiv
- Antecedentes .....	xiv
- Importancia .....	xiv
- Alcance.....	xiv
OBJETIVOS .....	xv
- Objetivo General .....	xv
- Objetivos Específicos.....	xv
NOMENCLATURA .....	xvi
Glosario.....	xvii
CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1. Fundamentos teóricos .....	1
1.1.1. Deformación elástica y plástica .....	1
1.1.2. Conformado en frío.....	2
1.1.3. Propiedades mecánicas de los materiales .....	3

1.1.4.	Máquina herramienta de prensa.....	5
1.1.5.	Elementos básicos de una troqueladora.....	6
1.1.6.	Funcionamiento de la troqueladora.....	6
1.1.7.	Proceso de troquelado.....	6
1.1.8.	Fundamentos del corte.....	7
1.2.	Análisis de alternativas.....	9
1.2.1.	Características a analizar:.....	9
1.2.2.	Alternativa 1.....	9
1.2.3.	Alternativa 2.....	11
1.2.4.	Alternativa 3.....	13
1.2.1.	Ponderación de alternativas.....	14
1.3.	Formulación.....	16
1.3.1.	Matriz con las dimensiones requeridas.....	16
1.3.2.	Diseño de la matriz de corte.....	17
1.3.1.	Fuerza efectiva para el trabajo de prensa.....	17
1.3.1.	Fuerza real de la prensa.....	18
1.3.2.	Fuerza de corte.....	18
1.3.3.	Fuerza de extracción del punzón.....	20
1.3.4.	Fuerza de expulsión.....	21
1.3.5.	Tolerancia de corte o juego entre punzón y matriz.....	21
1.3.6.	Distancia de separación entre piezas.....	22
1.3.7.	Distancia de separación entre piezas y borde.....	22
1.3.8.	Paso o avance.....	23
1.3.9.	Esfuerzo.....	24
CAPÍTULO 2	.....	29



2.	DISEÑO.....	29
2.1.1.	Fuerza corte de interior .....	30
2.1.2.	Fuerza corte de externa .....	31
2.1.3.	Fuerza de corte total.....	32
2.1.4.	Fuerza de extracción .....	33
2.1.5.	Fuerza de expulsión .....	33
2.1.6.	Fuerza requerida para el trabajo de la prensa .....	33
2.1.7.	Esfuerzo máximo .....	34
2.1.8.	Factor de seguridad para comprobación del material .....	35
2.1.9.	Tornillo de potencia .....	36
2.1.10.	Dimensiones de punzones y matriz .....	37
2.1.11.	Diseño de las placas de la matriz de corte .....	38
2.1.12.	Placa matriz.....	41
	CAPÍTULO 3 .....	42
3.	COSTOS .....	42
3.1.	Materiales.....	42
3.2.	Mano de obra .....	43
3.3.	Costo de tratamientos térmicos.....	43
3.4.	Costos de diseño e ingeniería.....	45
3.5.	Costo total del proyecto de titulación .....	45
3.6.	Costo por ficha fabricada y comprada .....	46
	CONCLUSIONES .....	48
	RECOMENDACIONES.....	50
	REFERENCIAS.....	51
	ANEXOS	

## Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama esfuerzo-deformación de un acero .....	2
Figura 2 Procesos de deformación comunes: a) Forjado; b) Extrusión .....	3
Figura 3 operaciones comunes de maquinado: a) Torneado b) Taladro c) Fresado .....	3
Figura 4 Curva característica Esfuerzo – Deformación .....	4
Figura 5 Deformación plástica .....	8
Figura 6 Cizallamiento .....	8
Figura 7 Ruptura .....	8
Figura 8 Troqueladora eléctrica .....	10
Figura 9 Prensa hidráulica.....	11
Figura 10 Troqueladora tipo prensa de balancín a tornillo .....	13
Figura 11 Gráfico de ponderación de alternativas .....	16
Figura 12 Dimensiones principales de la ficha a obtener .....	16
Figura 13 Modelo en 3 dimensiones de la ficha a obtener.....	17
Figura 14 Diseño geométrico orificio .....	30
Figura 15 Diseño geométrico de ficha .....	31
Figura 16 Dimensión de matriz de corte .....	38
Figura 17 Dimensiones de punzones.....	38
Figura 18 Placa sufridera .....	39
Figura 19 Punzón de embutido .....	39
Figura 20 Punzón de recalcada .....	40
Figura 21 Punzón de corte.....	41

## Índice de tablas

Tabla 1 Ponderación de alternativas .....	15
Tabla 2 Coeficiente de resistencia a la cizalladura de algunos materiales.....	19
Tabla 3 Coeficiente a aplicar para el cálculo de la fuerza de extracción de la chapa .....	20
Tabla 4 Valores del coeficiente de rozamiento f.....	27
Tabla 5 Costo de materiales .....	42
Tabla 6 Costo de Horas-Hombre-Máquina.....	44
Tabla 7 Costos de tratamiento térmico.....	43
Tabla 8 Costo de diseño .....	45
Tabla 9 Costo total del Proyecto de Titulación.....	45

## INTRODUCCIÓN

Una troqueladora es una máquina herramienta que tiene como objetivo el corte de placas para crear piezas con diferentes formas geométricas sin generar viruta, es utilizada en la industria manufacturera.

El laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana desea implementar una forma de creación de fichas, por lo cual se ve en la necesidad de obtener una máquina herramienta que cumpla con los objetivos planteados.

La construcción de una máquina herramienta comienza con el análisis de los efectos más importantes al momento de realizar un corte en placas, investigar sobre el tipo de conformados y deformaciones existentes en metales es un punto de partida para entender los fenómenos que se realizan al momento de mecanizar. Las propiedades que tienen los materiales tales como; maleabilidad, tenacidad, resistencia, ductilidad y dureza, deben ser expuestas, y por último para entender los materiales se debe dar una explicación de los tratamientos térmicos que se pueden tener.

En este proyecto se define la máquina herramienta de prensa, que va a ser el mecanismo para realizar la fuerza de corte necesaria. En este caso se utiliza una troqueladora, se detalla los elementos básicos que la conforman, se explica el funcionamiento y por último el proceso que realiza al momento del corte de la placa para obtener la pieza de la figura geométrica solicitada.

Se explica algunos de los fundamentos del corte en los metales, los cuales serán; Deformación plástica, cizallamiento y ruptura.

Para el análisis de alternativas se tomará en cuenta tres tipos de máquinas con características técnicas del mecanismo fundamental. Se tendrá un mínimo de características técnicas que deben cumplir, se exponen las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas que se presenta en este proyecto y se verificará cual es la alternativa que cumple de mejor manera los objetivos planteados, mediante una tabla de ponderación para poder compararlas entre sí.

Se realiza la teoría de formulación, en la cual se encuentra la descripción de los cálculos necesarios para poder diseñar la máquina. Después de la teoría de formulación se procede a calcular, esto quiere decir tomar las fórmulas descritas y mediante los datos obtenidos realizar el diseño del mecanismo, se generan los planos que serán la guía para la construcción.

Una vez se tiene el diseño de la máquina se realizan las simulaciones respectivas, con lo cual se puede verificar si existe alguna inconsistencia, después de la simulación se procede con la construcción, siguiendo el diseño y los planos como guía, la misma se realiza mediante algunos tipos de mecanizados los cuales fueron anteriormente descritos.

El presente proyecto beneficiará a la Universidad Politécnica Salesiana, directamente al laboratorio de mecánica el cual podrán utilizar esta máquina para generar las fichas deseadas, aparte de poder entender los fenómenos de corte sin arranque de viruta.

## **PROBLEMA DE ESTUDIO**

### **- Antecedentes**

En laboratorios de Ingeniería Mecánica del campus sur de la Universidad Politécnica Salesiana se tiene la necesidad de mejorar el manejo de entrega de las herramientas que se encuentran en la nueva bodega a los estudiantes.

Para realizar la entrega del material en bodega se utilizará un método de intercambio entre fichas y herramientas.

### **- Importancia**

Las herramientas en el laboratorio de Ingeniería Mecánica deben tener un proceso de seguimiento ya que el costo en algunas de ellas es elevado y la cantidad de intercambio con estudiantes es grande en consideración al número de estudiantes por herramientas.

El proceso se centra en que mediante fichas se realiza un intercambio con las herramientas que se encuentran en la bodega, generando una constancia de la persona que desea retirar la herramienta, mediante esto se puede verificar el estado en que se entrega la herramienta.

### **- Alcance**

Para poder realizar este método de intercambio es necesario el poder crear fichas. Por esto se solicita el diseño y la construcción de una máquina que pueda realizar fichas pequeñas a un tiempo corto y a un bajo costo.

## **OBJETIVOS**

### **- Objetivo General**

Diseño y construcción de una troqueladora para el corte de placas de aluminio, a ser empleadas en la bodega del laboratorio de Máquinas Herramientas de la Universidad Politécnica Salesiana.

### **- Objetivos Específicos**

Diseño de una troqueladora para realizar fichas que serán utilizadas en la bodega de máquinas herramientas por los alumnos de la Universidad Politécnica Salesiana

Realizar el análisis de la mecánica de corte del aluminio a perforar en la troqueladora rigiéndose a los usos dentro de la industria local.

Construcción de la máquina para que cumpla con las especificaciones deseadas.

## NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidades
$D$	Diámetro principal de la placa matriz	$[mm]$
$dmáx$	Distancia longitud máxima entre dos piezas	$[mm]$
$E$	Módulo de elasticidad	$\left[\frac{Kgf}{mm^2}\right]$
$e$	Espesor de la chapa metálica	$[mm]$
$F_c$	Esfuerzo o fuerza requerida para el corte	$[N]$
$F_{exp}$	Fuerza de expulsión	$[N]$
$F_{ext}$	Fuerza de extracción	$[N]$
$h$	Altura del punzón	$[mm]$
$l$	Longitud del perímetro de corte	$[mm]$
$L$	Longitud dimensional de un segmento de línea	$[mm]$
$P$	Paso entre piezas	$[mm]$
$F_{efec}$	Fuerza efectiva de la prensa	$[Ton]$
$s$	Separación mínima entre piezas	$[mm]$
$S'$	Separación entre la pieza y la tira de material	$[mm]$
$Sp$	Juego entre punzón y matriz	$[mm]$
$\rho$	Rendimiento	%
$\sigma_T$	Resistencia a la cizalladura	$\frac{Kgf}{mm^2}$



## Glosario

**Automoción:** Capacidad que tiene una máquina para poder realizar movimientos sin necesidad de la intervención del ser humano. [1]

**Cavidades (Hembra, Macho):** Juego tanto de perforaciones como de salientes que mediante el contacto traban a la perfección con el fin de la sujeción de dos piezas en su lugar, generalmente se conoce a la saliente como macho y a la perforación como hembra. [2]

**Centro de Masa:** Punto en el cual un cuerpo concentra toda su masa. [1]

**Cinemática:** Parte de la física que se encuentra encargada sobre el estudio del movimiento de los cuerpos. [3]

**Cizallamiento:** Acción de cortar un material debido a una fuerza aplicada en una dirección específica. [3] [1]

**Coefficiente de fricción dinámico:** Coeficiente que existe entre dos superficies cuando una de ellas se encuentra en movimiento. [4] [1]

**Coefficiente de fricción estático:** Coeficiente que existe entre dos superficies que no se encuentran en movimiento. [5] [1] [6]

**Entidades geométricas vectoriales:** Nombre con el que se le conocen a los puntos, líneas, arcos y polígonos dentro de los sistemas CAD. [3] [1] [7]

**Fichas:** Nombre con el que se conoce a la pieza geométrica de aluminio que se utiliza para registrar un intercambio de esta por una herramienta en bodega [7] [8] [1]

**Inercia:** Resistencia que opone a un cuerpo al efecto de una fuerza que actúa sobre él. [7] [6] [1]

**Inspección:** Proceso industrial mediante el cual cuenta con la capacidad de supervisar diversos procesos por medio de equipos, de tal manera que puedan notar cambio y errores durante el mismo. [9] [8] [1]

**Rodamiento:** Elemento mecánico que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a éste, sirve como apoyo y facilita el desplazamiento de las mismas. En la industria se lo conoce con el nombre de cojinete [1] [7] [8]

**Electroerosión:** Método de arranque de material que se realiza mediante descargas eléctricas controladas, emplea chispas controladas con precisión entre la herramienta de corte y la pieza de trabajo, en presencia de un fluido dieléctrico [10] [8] [1]

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES

En este capítulo se procede a realizar la investigación previa a la construcción de la máquina, indicando los fenómenos que realiza el mecanismo al momento de realizar el corte a la placa metálica, se explica algunas propiedades mecánicas de los materiales y la forma en la cual se puede mejorar dichas propiedades. Se dará una explicación de la máquina herramienta que se utilizará, se indica cuáles son los elementos básicos que la conforman, su funcionamiento y se describe el proceso que realiza al momento de ejecutar su función. Mediante la comparación de tres diferentes alternativas que cumplen con los objetivos planteados se llega a la conclusión del mecanismo a que se tomará como el punto de partida. Por último al momento de tener la alternativa óptima se realiza la teoría de formulación, explicando cada una de las fórmulas que serán utilizadas al momento de calcular los parámetros necesarios para el diseño.

### 1.1. Fundamentos teóricos

Tanto la calidad como la propiedad de la materia a ser estampado son factores fundamentales para la obtención de piezas mediante chapa estampada, esta es una de las cuantas razones por las que se debe analizar la capacidad de trabajo en frío del material a emplearse.

Una parte del conformado mecánico es la matricería, mediante esta se puede obtener piezas mecánicas en serie, con la ayuda de un punzón y una matriz. [1]

#### 1.1.1. Deformación elástica y plástica

Una deformación se genera en el metal al momento que sobre él se ejerce una fuerza de tensión uniaxial, se dice que el material tiene un comportamiento elástico cuando al dejar de actuar sobre él el esfuerzo, este vuelve a su estado original, si el material no vuelve a su estado original, se puede considerar como una deformación plástica, en la figura 1 se puede observar un ejemplo de diagrama esfuerzo-deformación, en este caso el diagrama del acero. [2]

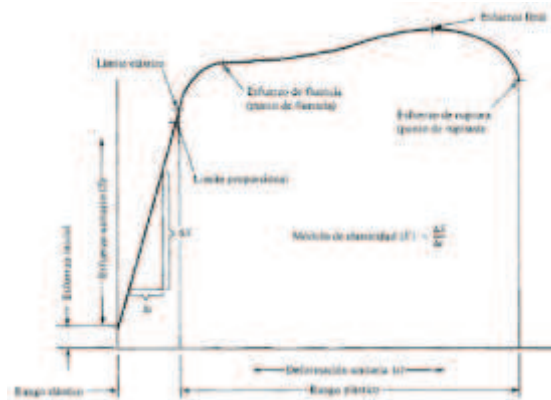


Figura 1 Diagrama esfuerzo-deformación de un acero

### 1.1.2. Conformado en frío

Se puede partir de un principio generalizado que explica que al aumentar la temperatura al momento del conformado disminuye la resistencia del material. No obstante en el conformado a altas temperaturas se debe considerar otros factores, tales como el económico, aumentar la temperatura de un material fuerza a realiza un gasto energético importante y en muchas ocasiones determinante para la competitividad del producto final, el material sufre de alteraciones de composición si no es debidamente protegido, se hace más vulnerable, puede sufrir alteraciones en su aspecto, esto y más son factores que inciden negativamente en el producto final. [3]

El conformado en frío es el otro extremo, energéticamente es económico, el material no experimenta un crecimiento del tamaño de grano por activación térmica, al contrario sufre la deformación con el endurecimiento por acritud, se emplean diferentes técnicas en el conformado en frío, en la figura 2 se encuentran ilustrados dos procesos de deformación comunes como son el forjado y la extrusión [3]

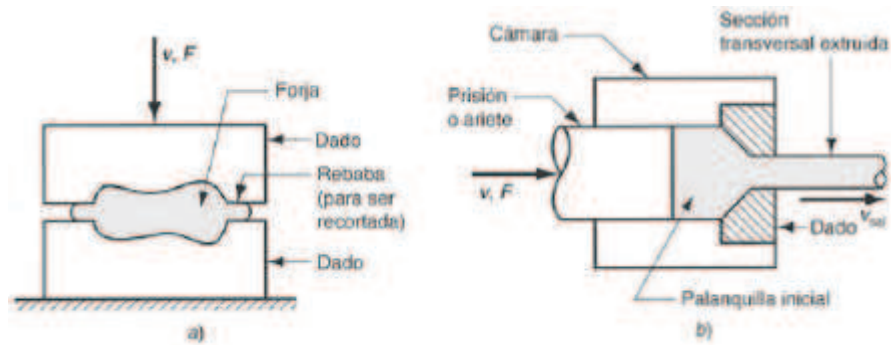


Figura 2 Procesos de deformación comunes: a) Forjado; b) Extrusión

Otra operación en frío es el maquinado de una pieza, esta operación pueden ser el torneado, el cual consiste en que una herramienta de corte de un filo retira metal de una pieza de trabajo que gira, a fin de reducir su diámetro; El taladrado, que consiste en que una broca en rotación avanza dentro de la pieza de trabajo y por último se tiene el fresado, en el cual una pieza de trabajo se hace avanzar por un cortador giratorio con filos múltiples, en la figura 3 se encuentran tres operaciones comunes de maquinado, el torneado, el taladrado y el fresado [4]

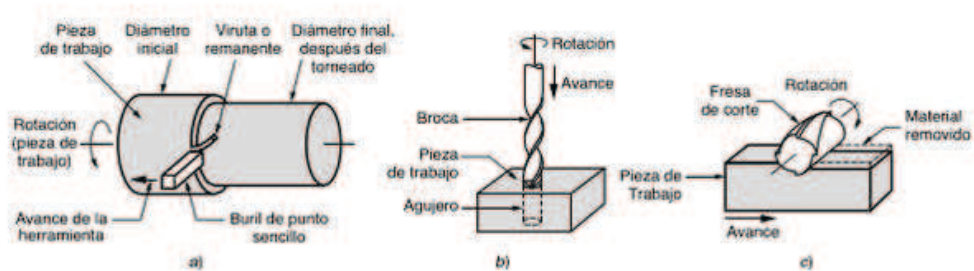


Figura 3 operaciones comunes de maquinado: a) Torneado b) Taladro c) Fresado

### 1.1.3. Propiedades mecánicas de los materiales

Se denomina como la característica propia de un material que al recibir esfuerzos mecánicos hace que se comporte de una manera determinada, estos pueden ser determinados mediante ensayos mecánicos. [4] [2] [1]

- **Maleabilidad**

Se conoce como maleabilidad a la capacidad de un material para ser conformado en láminas sin llegar a su punto de ruptura

- **Tenacidad**

Indica la resistencia a esfuerzos de deformación que presenta un material. Se puede decir que un material es muy tenaz cuando la resistencia a romperse es muy alta, caso contrario se dice que el material es de baja tenacidad.

- **Resistencia**

Se puede definir como resistencia de un material a la cantidad de fuerza que puede soportar antes de provocar deformaciones o rupturas. Esta propiedad se determina por medio de experimentos en laboratorios, sometiendo a los materiales a cargas.

- **Ductilidad**

Esta propiedad indica si el material puede deformarse plásticamente sin romperse, a continuación mediante la figura 4 se describe el comportamiento de un material metálico según su esfuerzo con respecto a la deformación [2]

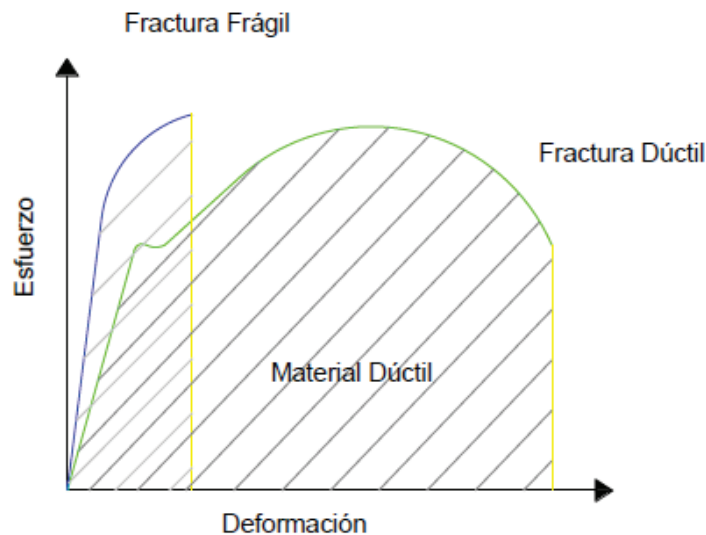


Figura 4 Curva característica Esfuerzo – Deformación

- **Dureza**

La dureza se la puede catalogar como un indicador de la resistencia que tiene el material a la tracción, en otras palabras es la medida de la resistencia de un material a la deformación permanente. [1]

- **Tratamiento térmico en metales**

Para poder modificar la microestructura de un metal al igual que sus propiedades este debe ser sometido a un conjunto de ciclos de calentamiento y enfriamiento, a esto se le denomina tratamiento térmico. El Metals Handbook, colección de libros sobre metalurgia editada por American Society For Metals de Metals Park, Ohio, EE.UU., define los tratamientos térmicos como una combinación de operaciones de calentamiento y enfriamiento de tiempos determinados y aplicadas a un metal o aleación en una forma tal que producirá propiedades deseadas [5]

**1.1.4. Máquina herramienta de prensa**

Es un mecanismo que realiza su corte sin arranque de viruta, es considerado como conformado mecánico realizando su trabajo en frío, mediante el efecto “volante” se logra el momento requerido para vencer a resistencia del material que está siendo cortado o conformado [1] [6].

- **Troquelar**

La palabra troquelar viene derivada del griego *troque* que significa corte y *lar* que quiere decir forma. Mediante este juego de palabras se puede definir a troquelar por sus orígenes semánticos como cortar a la forma. [7]

Se puede denominar a troquelar como una acción mecánica que se utiliza para realizar agujeros de forma geométrica propia sin la producción de viruta en chapas de metal, láminas de plástico, papel, cartón, etc. [8] [9]

### **1.1.5. Elementos básicos de una troqueladora**

Los elementos básicos que constituyen una troqueladora son:

- El troquel que es el encargado de la forma y dimensiones del diseño que se quiere realizar
- La matriz de corte donde se inserta el troquel cuando es empujado de forma energética por la potencia que le proporciona la prensa mediante un accionamiento excéntrico que propicia un golpe seco y contundente sobre el material a troquelar produciendo un corte limpio del mismo. [10]

### **1.1.6. Funcionamiento de la troqueladora**

Para explicar el funcionamiento de la troqueladora se debe comenzar explicando que es un corte. El corte consiste en la separación, en este caso mediante un punzón y una matriz, de una parte del material.

Las técnicas de matricería son las que hacen posible el transformar una chapa y generalmente realizan este proceso con el utillaje al cual se denomina matriz. [10] [11]

Según los fundamentos de matricería de Antonio Florit; una matriz es un utillaje mecánico no autónomo que puede cortar o conformar una chapa según la geometría definida por los elementos que la componen, también se la denomina troquel.

El troquel o matriz no es un elemento mecánico autónomo, por esto para su funcionamiento se necesita de una máquina llamada prensa, que es la que ejecuta la fuerza necesaria para el corte. Una vez colocado el troquel, la prensa genera un movimiento vertical, con el cual el troquel realiza el corte, por último después del corte la chapa es evacuada y se comienza con la repetición del ciclo. [12]

### **1.1.7. Proceso de troquelado**

Una troqueladora cuenta con dos partes principales las cuales son el troquel y la matriz, como anteriormente se ha determinado, el troquel o macho es la herramienta encargada de realizar el corte del material. El corte limpio del material depende de la herramienta



que se utiliza y de las características propias de la misma como por ejemplo el filo, el tratamiento de endurecimiento por el que pasó el material, la potencia del motor que controla la herramienta, etc. [13]

La matriz es la parte a la cual se fija el material que va a ser perforado, se puede considerar a la matriz como la hembra del troquel, esto es debido a que ella es la encargada de sostener firmemente el material para que el troquel pueda aplicar la fuerza necesaria para realizar un corte limpio y profesional sin que el material se doble o se levante de la superficie debido a la tendencia que tiene el material para adherirse al troquel. [14]

Este comportamiento, del material, de adherirse al troquel tiene su origen cuando el material es perforado y su elasticidad tiende a ceder por lo cual dejar pasar al troquel, pero cuando el troquel ha realizado el corte y se encuentra de regreso a su posición inicial, la elasticidad del material hace que éste se contraiga y se adhiera a la herramienta que realizó la perforación. [15]

La acción ejercida entre el troquel y la matriz actúa como una fuerza de cizallamiento en el material a procesar, una vez que el troquel ha logrado perforar éste, dicho material se encuentra bajo los efectos de esfuerzos que rebasan su límite elástico, produciendo la ruptura o desgarramiento en ambas caras aproximadamente en el mismo lapso de tiempo y conforme el troquel penetra más y más se produce la separación del material completando el proceso. [16]

### **1.1.8. Fundamentos del corte**

Para obtener una pieza determinada se recurre al proceso de corte, el cual se realiza sobre tiras de metal, este sufre algunas fases de corte, a continuación se las describe

#### **- Deformación plástica**

Esta deformación se produce al momento de ejercer una presión continua de la hoja fija – móvil sobre el material a cizallar, provocando sobre el material una deformación plástica, ejemplo en la figura 5 se verifica a una gran escala el movimiento de la hoja móvil con respecto al material a cizallar

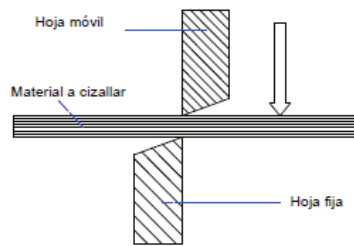


Figura 5 Deformación plástica

- **Cizallamiento**

Al momento que se produce la deformación plástica, las hojas cortantes empiezan a penetrar el material a cizallar y el material empieza a endurecerse en la zona afectada, ejemplo en la figura 6 se observa como el material se comporta al cizallamiento

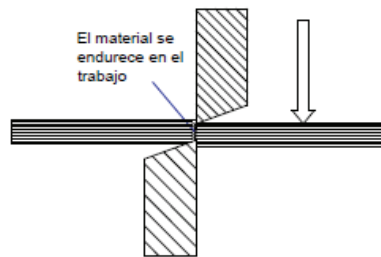


Figura 6 Cizallamiento

- **Ruptura**

Una vez que empieza a endurecerse la zona afectada, comienza a originarse pequeñas fracturas a partir de los puntos de contacto de las hojas cortantes. En el instante en que las fracturas coinciden se produce la falla, provocando que se separen en dos partes el material de trabajo, ejemplo en la figura 7 se ilustra como el material se comporta a la ruptura

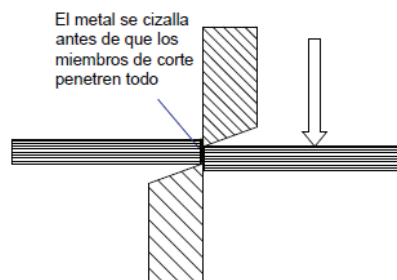


Figura 7 Ruptura

## **1.2. Análisis de alternativas**

En este análisis, se presentará las características técnicas de las alternativas del mecanismo fundamental, para poder realizar fichas que se las utilizarán en el laboratorio de ingeniería mecánica.

La selección de alternativas para diseñar una máquina que cumpla con los objetivos planteados es el resumen de un estudio de las características más importantes consideradas por el estudiante tales como, costo, facilidad de construcción, espacio de operación, etc. después del análisis se realiza un resumen y se selecciona la alternativa eficiente.

### **1.2.1. Características a analizar:**

Mediante un estudio exhaustivo se ha llegado a la conclusión que los sistemas que más se asemejan a cumplir los objetivos planteados son los tres que se describen a continuación:

- Troqueladora eléctrica
- Troqueladora tipo prensa hidráulica
- Troqueladora tipo prensa de tornillo

Para poder llegar a una conclusión de cuál será el sistema a escoger se realiza una descripción de estos sistemas, se toma como guías maquinarias que se encuentran en el mercado, estas ayudarán a verificar cuales son las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas, una vez analizados, se procede a escoger el sistema que cumpla los objetivos de la mejor manera.

### **1.2.2. Alternativa 1**

#### **a) Troqueladora eléctrica**

Las Troqueladoras eléctricas se emplean para dar forma a materiales sólidos con una facilidad extrema ya que el operador solo tiene que verificar el trabajo de la máquina sin realizar algún esfuerzo físico. Este se monta en una prensa, que ejerce una fuerza sobre los elementos del troquel, por medio de la conversión de energía eléctrica en cinética,

provocando que la pieza superior encaje sobre la inferior, a continuación en la figura 8 se tiene un ejemplo de troqueladora eléctrica,



Figura 8 Troqueladora eléctrica

#### - **Funcionamiento**

La operación básica de una troqueladora es el corte y punzonado, donde se busca la fractura del material, en esta se utiliza un motor el cual, convierte la energía eléctrica en cinética, la misma que produce la fuerza necesaria para sobrepasar el esfuerzo mínimo de corte del material, esta fuerza es transmitida al punzón siendo finalmente el que realiza el corte.

Ventajas:

- La máquina realiza una producción a gran escala con lo cual el operador podrá realizar el número de fichas que requiera en un tiempo corto.
- Trabaja por accionamiento neumático, con lo que el esfuerzo físico que realiza el operador es nulo.
- Tiene lubricación automática, por lo que se facilita el trabajo a grandes cantidades y se puede trabajar en horarios continuos.
- Realiza completamente el proceso de corte de manera autónoma, por lo que el operador solo debe vigilar el proceso y contrastar el resultado

Desventajas:

- El costo de fabricación es muy elevado, dado que se necesitan la construcción de sistemas con sensores y actuadores de grandes fuerzas.

- Consumo de energía eléctrica, aparte de que su inversión es alta para la construcción, al momento de operar se necesita de energía eléctrica, agrandando los costos del proceso en esta máquina
- Estas maquinarias por lo general son de gran tamaño, por lo cual el transporte y el montaje es muy complicado, también se necesita por seguridad grandes espacios de operación
- El costo de las partes son elevadas, por lo cual al tener alguna avería por operación en cualquiera de estas su mantenimiento o cambio sumarán mayores costos al proceso.

### 1.2.3. Alternativa 2

#### b) Prensa hidráulica

Se conoce como prensa hidráulica al mecanismo el cual se encuentra conformado por vasos comunicantes impulsados por pistones de diferente área, cuyo propósito es el aumento de la fuerza que se realiza en el pistón de menor área, a continuación la figura 9 representa un ejemplo de prensa hidráulica



Figura 9 Prensa hidráulica

#### - Principio de funcionamiento

La prensa hidráulica constituye la aplicación fundamental del principio de pascal, por lo tanto consiste en la alimentación hidráulica del aceite a presión, en las cámaras de un pistón. Según se haga el suministro a través de sus cámaras anterior y posterior, se

producirá el avance o retroceso del émbolo de este pistón, que acciona directamente la corredera.

En comparación con las prensas mecánicas se puede mencionar que son más lentas. Permiten mantener el tonelaje pleno y una velocidad constante durante toda la carrera, pudiendo ser esta a su vez más larga y fácilmente ajustable. Por regla general pueden dar mayores fuerzas y mayor flexibilidad por métodos más sencillos.

Este modelo de prensa se ha empleado para operaciones de embutición profunda y para grandes requerimientos de presión. Se debe por una parte, a que al ser más lento su maniobra, permite que las fibras del material sufran un alargamiento más compensado, con un flujo más controlado y con menor peligro de rotura.

Ventajas:

- Se puede mantener el total de la fuerza en toda la carrera, con esto se puede decir que a diferencia de las prensas mecánicas o eléctricas al momento de calcular la fuerza necesaria para el corte no se deberá tomar en cuenta pérdidas de fuerza en carrera
- Con respecto al análisis costo – potencia esta máquina no tiene comparación, se puede llegar a tener fuerzas altas a costos relativamente bajos
- Tiene facilidad en seguridad, dado que trabaja con sensores y actuadores, se puede programar que al momento de una ruptura de un troquel o de una herramienta se realiza una apertura de alguna válvula de seguridad
- Su nivel de ruido es muy bajo, dado que sus partes móviles son pocas y no tienen rueda volante

Desventajas:

- La velocidad de corte; que se utiliza al corte es baja, por lo cual el material a cortar no se rompe simplemente se desgarró o se debe utilizar fuerzas mayores para no tener este problema
- Su alimentación es larga, se necesita de un espacio grande para poder tener la alimentación necesaria de la prensa hidráulica

- Se necesita un aislador de choque para su descompresión, sin esta protección la prensa tendrá daños en sus líneas a corto tiempo.

#### 1.2.4. Alternativa 3

##### c) Troqueladora tipo prensa de balancín a tornillo

Las prensas y balancín son máquinas adaptadas para ejercer en un breve instante un máximo esfuerzo de presión y son utilizados exclusivamente para fabricaciones en serie, a continuación la figura 10 representa una troqueladora tipo prensa de balancín a tornillo.



Figura 10 Troqueladora tipo prensa de balancín a tornillo

Existe una amplia tipología de modelos de prensas de accionamiento mecánico, que comprenden muchos sistemas como; el de palanca acodada y el de fricción. Sin embargo el de excéntrica o de balancín ha sido sin duda el más generalizado, hasta el punto de que al hablar de prensas mecánicas sin otra aclaración se refiere a la prensa excéntrica

##### - Principio de funcionamiento

Su funcionamiento es la transmisión de la fuerza del volante por medio de un tornillo de potencia, es aquí donde se obtiene el esfuerzo deformador. El movimiento de giro del volante es transformado en movimiento lineal vertical de la masa. Como el volante puede girar en ambos sentidos, la masa puede bajar y subir

Ventajas:

- Son versátiles y sencillas, por lo cual su transporte y montajes no necesitan muchas operaciones.
- Su tamaño y espacio de operación son pequeños

- Su construcción es económica, dado que utiliza los fundamentos mecánicos para su operación
- Tiene su mejor eficiencia al momento de realizar trabajos con piezas medianas o pequeñas
- No requiere una fuente externa de energía para su funcionamiento
- Su mecanismo de construcción es simple, sus elementos son ligeros y sencillos.
- Tiene un fácil montaje y desmontaje
- Es una máquina de alta durabilidad y resistencia, su resistencia al desgaste y compresión son excelentes.
- Facilidad de mantenimiento
- Tiene una gran facilidad de fabricación y recambio de sus partes
- El proceso de producción es económico, no necesita de energías externas
- Realiza un mecanizado de forma sencilla
- Facilidad en el montaje y desmontaje en el troquel
- Sistema confiable y preciso
- Velocidad de corte altas

Desventajas:

- El operador es el que realiza el trabajo, por lo cual se necesita de esfuerzo físico para poder realizar el corte del material
- No es autónoma, ni automática, por lo cual no se lleva un conteo de la cantidad fabricada
- Se necesita de varios pasos para poder realizar el proceso de manera eficiente
- No se lo puede utilizar en producciones en serie

**1.2.1. Ponderación de alternativas**

Considerando las alternativas planteadas se procede a realizar la selección de la mejor, para esta decisión las características que se tomarán en cuenta son las siguientes:

- Costo de fabricación
- Facilidad de construcción



- Facilidad de montaje
- Facilidad de operación
- Costo de mantenimiento
- Espacio de operación

Al momento de evaluar las características se utiliza una escala de 1 a 10 donde 1 es considerado el puntaje más bajo y 10 es el mayor, en la siguiente tabla, la tabla 1 “Ponderación de alternativas”, se muestran los resultados.

Tabla 1 Ponderación de alternativas

Ponderación de alternativas			
Parámetro	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Costo de fabricación	3	4	9
Facilidad de construcción	2	3	7
Facilidad de montaje	2	6	6
Facilidad de operación	8	9	5
Facilidad de mantenimiento	5	6	9
Costo de mantenimiento	2	3	10
Espacio de operación	2	5	10
Total	24	36	56
Porcentaje	34%	51%	80%

Elaborado por: Pablo Mier y Danny Valencia

Posteriormente de efectuado las evaluaciones correspondientes a cada una de las alternativas anteriormente descritas, según la tabla 1 “Ponderación de alternativas” se ha determinado que el sistema que se acerca a las expectativas óptimas de diseño es la alternativa 3 que se refiere a “Troqueladora tipo prensa de balancín a tornillo”, y que para el diseño de la máquina se tomara como punto de partida. A continuación en la figura 11 se puede observar de mejor manera la ponderación descrita en la tabla anteriormente mencionada



Figura 11 Gráfico de ponderación de alternativas

### 1.3. Formulación

Es importante tener un análisis de las dimensiones, los materiales y el acabado que se va a utilizar al momento del diseño y construcción de los elementos, para tener altos rendimientos y extender la vida útil de la matriz.

#### 1.3.1. Matriz con las dimensiones requeridas

Para iniciar el diseño se toma como punto de partida las dimensiones y la forma que se quiere conseguir, el material de la ficha utilizado, que en este caso será aluminio, el espesor de 1 milímetro. Las dimensiones y forma se representan en la figura 12 y 13.



Figura 12 Dimensiones principales de la ficha a obtener

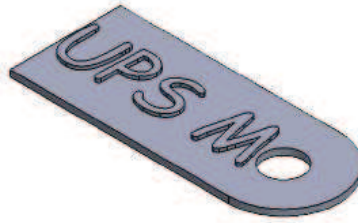


Figura 13 Modelo en 3 dimensiones de la ficha a obtener

### 1.3.2. Diseño de la matriz de corte

Para poder realizar el diseño del troquel hay que saber que el corte de una chapa es producido mediante la fuerza que genera la prensa sobre la matriz, por lo tanto se necesita especificar la fuerza de la prensa. Para encontrar dicha fuerza se utiliza la siguiente fórmula:

#### 1.3.1. Fuerza efectiva para el trabajo de prensa

Para calcular la fuerza efectiva se utiliza la siguiente ecuación:

$$F_{ef} = F_c + F_{ext} + F_{exp} \quad \text{Ec. (1)}$$

Donde:

$(F_{ef})$	Fuerza necesaria para el trabajo de la prensa	[Ton]
$(F_c)$	Fuerza de corte	[N]
$(F_{ext})$	Fuerza de extracción del punzón una vez cortada la chapa	[N]
$(F_{exp})$	Fuerza de expulsión de la pieza que queda alojada en la matriz	[N]

### 1.3.1. Fuerza real de la prensa

La fuerza real de la prensa es aquella con la que se va a dimensionar la troqueladora, dado que para encontrar esta fuerza se toma en cuenta el rendimiento que se desea tenga la máquina. Se calcula la fuerza real de la prensa según la siguiente ecuación:

$$F_{real} = \frac{P_{ef}}{\eta} \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$(F_{real})$	Fuerza real de la troqueladora	[Ton]
$(F_{ef})$	Fuerza necesaria para el trabajo de la prensa	[Ton]
$(\eta)$	Rendimiento de la troqueladora	%

### 1.3.2. Fuerza de corte

Se define como el esfuerzo necesario para poder separar una parte de material de una pieza de chapa. Esta fuerza es directamente proporcional a la resistencia a la cizalladura de su material, a su perímetro de corte y a su espesor, por lo cual se tiene la siguiente fórmula:

[11]

$$F_c = K_c * p * e \quad \text{Ec. (3)}$$

Siendo:

$(F_c)$	La fuerza de corte	[N]
---------	--------------------	-----

$(K_c)$	La constante de corte del material	$\left[ \frac{N}{m^2} \right]$
$(p)$	El perímetro de corte	$[mm]$
$(e)$	El espesor de la chapa a cortar	$[mm]$

[11]

En la tabla 2 “Coeficiente de resistencia a la cizalladura de algunos metales”, se describe la constante de corte de algunos materiales. Para el diseño de esta máquina se tomara el coeficiente de resistencia a la cizalladura del aluminio crudo o duro.

Tabla 2 Coeficiente de resistencia a la cizalladura de algunos materiales

Coeficiente de resistencia a la cizalladura de algunos metales (en $N/mm^2$ )		
Material	Estado	
	Blando o recocido	Crudo o duro
Acero con 0.1% de C	245	313
Acero con 0.2% de C	313	392
Acero con 0.3% de C	353	470
Acero con 0.4% de C	441	549
Acero con 0.6% de C	549	706
Acero con 0.8% de C	706	882
Acero con 1% de C	784	1030
Acero inoxidable	510	588
Acero al silicio	441	549
Alpaca o plata alemana	274-353	441-451
Aluminio	68-88	127-156
Bronce	313-392	392-588
Cobre	176-215	245-294
Duraluminio	215	372
Estaño	29-39	-
Latón	215-294	343-392
Plata	225	245
Plomo	19-29	-
Cinc	117	196

Fuente: [1]

El esfuerzo total de corte de una matriz que tenga varios punzones es el resultado de la suma de los esfuerzos de corte de cada uno de sus punzones

### 1.3.3. Fuerza de extracción del punzón

Es el esfuerzo que se requiere para separar al punzón de la chapa adherida, ya realizado el corte, esta fuerza depende de la naturaleza del material que se va a cortar, del espesor, de la forma y del material circundante a su perímetro de corte.

Esta fuerza se calcula de manera porcentual la cual oscila entre el 2 y 7% sobre la fuerza de corte del perímetro a cortar. [11]

$$F_{ext} = F_c * x\% \quad \text{Ec. (4)}$$

Siendo:

$(F_{ext})$	Fuerza de extracción	[N]
$(F_c)$	Fuerza de corte	[N]
$(x\%)$	Valor porcentual, depende del tipo de corte a efectuar	(%)

En la tabla 3 “Coeficiente a aplicar para el cálculo de la fuerza de extracción de la chapa”, se puede encontrar el valor porcentual dependiendo de las circunstancias de corte

Tabla 3 Coeficiente a aplicar para el cálculo de la fuerza de extracción de la chapa

Valor (x) %	Circunstancias de corte
2 %	Cuando el material circundante a la figura es mínimo, pudiendo éste abrirse o expandirse, separándose casi por sí solo del punzón. También en operaciones de muescado o en cortes abiertos en el extremo de una chapa
4 %	Cuando la piza presenta formas irregulares o tiene algún entrante en su perímetro de corte, en el caso en que exista poco material alrededor de la figura a cortar
7 %	Cuando el corte se efectúa en plena chapa, a modo de punzonado, donde existe bastante material alrededor del corte, el cual tiene tendencia a quedarse fuertemente sujeto al pinzón. También en el caso de corte interior o punzonado de figuras irregulares, con formas entrantes y salientes

Fuente: [15]

### 1.3.4. Fuerza de expulsión

La adherencia por expansión o por rozamiento de la ficha al interior de la matriz representa un esfuerzo que se denomina fuerza de expulsión y que la forma de calcularlo es el 1.5% de la fuerza de corte: [11]

$$F_{exp} = F_c * 1,5\% \quad \text{Ec. (5)}$$

Siendo:

$$(F_{exp}) \quad \text{Fuerza de expulsión} \quad [N]$$

$$(F_c) \quad \text{Fuerza de corte} \quad [N]$$

### 1.3.5. Tolerancia de corte o juego entre punzón y matriz

La tolerancia de corte es la holgura que se deja entre el punzón y la matriz de un mismo perfil [11], para conseguir un perfil que no contenga rebabas se debe tomar muy en cuenta los valores de tolerancia, para el aluminio ( $K_c = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$ ) los valores de tolerancia se estiman entre un 8 y 12% de su espesor

$$Tolerancia = e * 12\% \quad \text{Ec. (6)}$$

Una vez calculada la tolerancia se la utiliza dependiendo si el corte es exterior o interior. Para cortes exteriores se toma a la matriz con la medida nominal y el punzón es quien deberá tener la reducción de tolerancia

$$M_{matriz} = M_{nominal} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$M_{punzón} = M_{nominal} - Tolerancia \quad \text{Ec. (8)}$$

Para cortes interiores el punzón será quien tenga la medida nominal y se sumará a la matriz el valor de tolerancia

$$M_{Punzón} = M_{nominal} \quad \text{Ec. (9)}$$

$$M_{Matriz} = M_{nominal} - Tolerancia \quad \text{Ec. (10)}$$

### 1.3.6. Distancia de separación entre piezas

Esta distancia debe garantizar rigidez de la tira de material, también debe proveer suficiente material para que el corte sea correcto, sin que la forma de la una infiera con la forma de la siguiente, caso contrario el resultado sería unas fichas defectuosas, si se tiene una separación muy grande se desperdicia material y esto influye en costos, la separación entre piezas debe calcularse de la siguiente ecuación: [11]

$$a = 1,5e \quad \text{Ec. (11)}$$

**Siendo:**

(a) Separación entre piezas (mm)

(e) Espesor del material (mm)

Tener en cuenta que a debe ser mayor o igual a 1mm

### 1.3.7. Distancia de separación entre piezas y borde

De igual manera para garantizar rigidez en el material, y poder hallar el ancho del eje adecuado para cortar una serie de piezas se utiliza la siguiente ecuación: [11]

$$b = 1,5 * e \quad \text{Ec. (12)}$$

**Siendo:**

(b) Separación entre piezas y borde (mm)



(*e*)                      Espesor del material                      (*mm*)

Y para la anchura del fleje se tiene la siguiente ecuación:

$$B = 2 * b + h_{pieza} \qquad \text{Ec. (13)}$$

Siendo:

(*B*)                      Anchura del fleje                      (*mm*)

(*b*)                      Separación entre piezas y  
borde                      (*mm*)

(*h<sub>pieza</sub>*)                      Altura de pieza                      (*mm*)

### 1.3.8. Paso o avance

Se considera paso a la distancia existente entre dos puntos homólogos de dos piezas que se encuentran en forma consecutiva sobre una chapa. De este modo el paso tiene una medida en milímetros, que sería la medida con la que avanza el fleje de material por dentro de la matriz entro dos ciclos consecutivos de la prensa.

El paso del material puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$P = a + a_{pieza} \qquad \text{Ec. (14)}$$

Siendo:

(*P*)                      El paso                      (*mm*)

(*a*)                      La separación entre piezas                      (*mm*)

(*a<sub>pieza</sub>*)                      La anchura de la pieza                      (*mm*)

### 1.3.9. Esfuerzo

El esfuerzo es la distribución de fuerzas a través de toda el área. La distribución de fuerza la cual actúa sobre un punto en su superficie es única. Para calcular el esfuerzo se utiliza la siguiente fórmula

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (15)}$$

Siendo:

$(\sigma)$	El esfuerzo.	$\frac{Kgf}{mm^2}$
$(F)$	La fuerza ejercida perpendicular al área	$[N]$
$(A)$	El área a cortar	$[mm^2]$

El área a cortar se calcula de la siguiente manera:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad \text{Ec. (16)}$$

El área de un rectángulo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$A_1 = b * h \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde

$(A_1)$	Es el área del rectángulo	$[mm^2]$
$(b)$	Es la base	$[mm]$
$(h)$	Es la altura del rectángulo	$[mm]$

El área de un círculo se obtiene con la siguiente ecuación:

$$A_2 = \pi * r^2 \quad \text{Ec. (18)}$$

Donde

$(A_2)$	Es el área del círculo	$[mm^2]$
$(r)$	Es el radio	$[mm]$

### 1.3.1. Factor de seguridad

El factor de seguridad es esencial en el cálculo, ya que con este se puede verificar el material a utilizar en la matriz.

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_{calculado}}{fs} \quad \text{Ec. (19)}$$

Donde

$(\sigma_{admisible})$	El esfuerzo admisible, esfuerzo tabulado del material	$\frac{Kgf}{mm^2}$
$(\sigma_{calculado})$	El esfuerzo calculado, esfuerzo encontrado con la fuerza máxima de corte admisible del material	$\frac{Kgf}{mm^2}$
$(fs)$	Factor de seguridad, este debe ser menor o igual a 2,5 para que el material no tenga riesgo de falla.	-

### 1.3.2. Cálculo de tornillo de potencia

El tornillo de potencia tal como su nombre lo dice se utiliza para la transmisión de potencia, para el diseño se comienza con la formulación de un tornillo de potencia de rosca cuadrada con rosca simple, cuyo diámetro media es  $d_m$ , con un paso  $p$ , un ángulo de avance  $\lambda$ , y un ángulo de hélice  $\psi$ . Este tornillo es sometido a una fuerza de compresión axial  $F$ . Se necesita la expresión del par de torsión requerida para poder elevar y para poder bajar la carga, lo cual lleva a la siguiente ecuación:

Ecuación de par de torsión para elevar la carga

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{1 + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) \quad \text{Ec. (20)}$$

Siendo:

$(T_R)$	Par de torsión que se requiere para elevar la carga.	$[Nm]$
$(F)$	Fuerza de compresión axial	$[N]$
$(d_m)$	Diámetro media	$[mm]$
$(f)$	Coefficiente de fricción	
$(l)$	Avance	$[mm]$

Para poder calcular el avance se utiliza el número de entradas o filetes de la rosca y el paso, a continuación se tiene la ecuación 20 con la que se explica cómo encontrar el avance de un tornillo de potencia:

$$l = n * p \quad \text{Ec. (21)}$$

Donde

( <i>l</i> )	El avance del tornillo de potencia	[ <i>mm</i> ]
( <i>n</i> )	Número de entradas o filetes de la rosca	-
( <i>p</i> )	El paso de la rosca	[ <i>mm</i> ]

Se procede a calcular el diámetro medio mediante la siguiente ecuación:

$$dm = de - p \quad \text{Ec. (22)}$$

Donde

( <i>dm</i> )	El diámetro medio del tornillo de potencia	[ <i>mm</i> ]
( <i>de</i> )	El diámetro exterior del tornillo de potencia	[ <i>mm</i> ]
( <i>p</i> )	El paso de la rosca	[ <i>mm</i> ]

Los valores del coeficiente de rozamiento *f* se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 4 Valores del coeficiente de rozamiento *f*

Superficie de contacto	<i>f</i> estático	<i>F</i> cinético
Metal sobre metal (seco)	0,2	0,1
Metal sobre meta (engrasado)	0,1	0,05

Fuente: [1]

Ecuación de par de torsión para bajar la carga

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - 1}{\pi d_m + f l} \right) \quad \text{Ec. (23)}$$

Siendo:

$(T_l)$	Par de torsión que se requiere para bajar.	$[Nm]$
$(F)$	Fuerza de compresión axial	$[N]$
$(d_m)$	Diámetro media	$[mm]$
$(f)$	Coefficiente de fricción	
$(l)$	Avance	$[mm]$

## CAPÍTULO 2

### DISEÑO

Todos los elementos de una matriz de corte tienen una función específica, por lo tanto al momento de individualmente tener un desempeño correctamente garantizado, se podrá lograr que el conjunto realice un trabajo eficiente.

En este capítulo se realiza los cálculos correspondientes y el diseño de los elementos importantes de la matriz, del punzón y de la troqueladora.

Para comenzar con el diseño primero se encuentra la tolerancia de corte, esta es la holgura existente entre el punzón y la matriz en un mismo perfil, en este caso se tiene un espesor de 1mm y mediante la ecuación 6 se puede definir lo siguiente:

$$Tolerancia = e * 12\%$$

$$Tolerancia = 1[mm] * 12\%$$

$$Tolerancia = 0,12 [mm]$$

Una vez encontrada la tolerancia, se procede a calcular la distancia de separación entre las piezas, para lo cual se puede utilizar la ecuación 11:

$$a = 1,5e$$

$$a = 1,5 * 1[mm]$$

$$a = 1,5[mm]$$

Mediante la ecuación 12 se procede a calcular la distancia de separación entre la pieza y el borde

$$b = 1,5 * e$$

$$b = 1,5[mm]$$

Con la ecuación 13 y con los datos anteriores, es posible calcular la anchura del fleje:

$$B = 2 * b + h_{pieza}$$

La distancia existente entre dos puntos homólogos de dos piezas es el paso o avance en una matriz, para calcular este paso se utiliza la fórmula 14:

$$P = a + a_{pieza}$$

$$P = 3 + 485 [mm]$$

$$P = 515 [mm]$$

Para proseguir con el diseño se calcula las fuerzas que soporta la matriz, con estas fuerzas se podrá tener la fuerza necesaria de la máquina, y se verificará si el material no tendrá fallas al momento de trabajar.

La matriz tiene dos figuras geométricas elementales, por lo cual se debe calcular la fuerza de corte de estas dos figuras, se las denominara de la siguiente forma:

- Fuerza de corte de interior; es la fuerza de corte de la circunferencia interior de la ficha
- Fuerza de corte de la exterior, comprende todo el exterior de la ficha.

### 2.1.1. Fuerza corte de interior

Para calcular la fuerza de corte interior se tiene que tener en cuenta que forma geométrica es, en este caso se puede observar la forma y sus medidas en la figura 14 que a continuación se describe



Figura 14 Diseño geométrico orificio

Por lo tanto se puede utilizar la ecuación 3 para proceder con el cálculo de dicha fuerza:

$$F_c = K_c * p * e$$



En este caso la forma geométrica es una circunferencia de radio 3mm, por lo cual para calcular su perímetro se opta por:

$$p = 2\pi r$$

$$p = 2\pi * 3$$

$$p = 6\pi[mm]$$

La ficha tiene un espesor de  $e = 1[mm]$  y la constante de corte del aluminio es  $K_c = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

$$e = 1[mm]$$

$$K_c = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

Remplazando los valores obtenidos se encuentra la fuerza de corte interna:

$$F_c = K_c * p * e$$

$$F_{c1} = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] * 6\pi[mm] * 1[mm]$$

$$F_{c1} = 1658,761[N]$$

### 2.1.2. Fuerza corte de externa

Para la fuerza de corte externa la forma geométrica que se va a utilizar se la representa en la figura 15, a continuación descrita:



Figura 15 Diseño geométrico de ficha

Utilizando la ecuación 3, se encuentra la fuerza de corte externa:

$$F_c = K_c * p * e$$

Para calcular el perímetro de la ficha hay que tomar en cuenta que se tiene 3 formas geométricas diferentes, por lo tanto se calcula los perímetros de manera individual y se suma o restar dependiendo de la forma de la ficha.

$$p_T = p_1 + p_2 - p_3$$

$$p = 146,553[mm]$$

La ficha tiene un espesor de  $e = 1[mm]$  y la constante de corte del aluminio es  $K_c = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$

$$e = 1[mm]$$

$$K_c = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

$$F_c = K_c * p * e$$

$$F_{c2} = 88 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] * 146,553[mm] * 1[mm]$$

Con los datos obtenidos se puede calcular la segunda fuerza de corte, la cual es:

$$F_{c2} = 12896,672[N]$$

### 2.1.3. Fuerza de corte total

Como anteriormente se mencionó la fuerza de corte total será la suma de las fuerzas de corte internas y externas:

$$F_{cT} = F_{c1} + F_{c2}$$

$$F_{cT} = 1658,761[N] + 12896,672[N]$$

$$F_{cT} = 14555,433[N]$$

#### 2.1.4. Fuerza de extracción

Se calcula el esfuerzo que se requiere para separar al punzón de la chapa adherida, para este caso según la tabla 3 “Coeficiente a aplicar para el cálculo de la fuerza de extracción de la chapa” se escoge el valor porcentual de 7%

$$F_{ext} = F_c * x\%$$

$$x = 7\%$$

$$F_{ext} = 14555,433 * 7\%$$

$$F_{ext} = 1018,880 [N]$$

#### 2.1.5. Fuerza de expulsión

Para calcular la fuerza de expulsión se toma la ecuación 5 que nos dice:

$$F_{exp} = F_c * 1,5\%$$

$$F_{exp} = 14555,433 * 1,5\%$$

$$F_{exp} = 218,331 [N]$$

#### 2.1.6. Fuerza requerida para el trabajo de la prensa

Para el diseño del tornillo de potencia se necesita la potencia mínima requerida por la matriz para que se ejecute el corte, y será la fuerza para el punto de partida del tornillo anteriormente especificado

Mediante la ecuación 1 de la potencia efectiva necesaria para el trabajo de la prensa se tiene que:

$$F_{ef} = F_c + F_{ext} + F_{exp}$$

Dado que la Fuerza de corte total es:

$$F_{cT} = 14555,433[N]$$

La fuerza de extracción ya calculada es:

$$F_{ext} = 1018,880 [N]$$

Y la fuerza de expulsión es:

$$F_{exp} = 218,331 [N]$$

La fuerza efectiva es:

$$F_{ef} = 14555,433[N] + 1018,880 [N] + 218,331 [N]$$

$$F_{ef} = 15792,645[N]$$

$$F_{ef} = 1,5[Ton]$$

Para el diseño de la troqueladora se necesita una fuerza real, la que se puede calcular con la ecuación 2:

$$F_{real} = \frac{F_{ef}}{\eta}$$

Con un rendimiento del 75% se observa que la Fuerza real de la troqueladora es:

$$F_{real} = \frac{1,5[Ton]}{75\%}$$

$$F_{real} = 2 Ton$$

Con esto se puede concluir que la troqueladora realiza una fuerza mínima de 2 Toneladas

### **2.1.7. Esfuerzo máximo para selección del material del punzón y de la matriz**

Para seleccionar el material del punzón y de la matriz se utiliza el esfuerzo máximo admisible de un acero de mediana aleación, conocido en la industria como acero AISI: 01, este acero tiene una dureza Rockwell C de 63 – 65, anexo B, con lo cual según la tabla 2

del anexo B tiene una resistencia a la tracción de  $260 \frac{Kg}{mm^2} - 280 \frac{Kg}{mm^2}$ , y para el esfuerzo calculado se toma la fuerza de 20 kgf y se encuentra el esfuerzo según la ecuación 14

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Para calcular el área total se utiliza la ecuación 15:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

Siendo el área total igual a:

$$A_T = b * h + \pi * r^2 + \frac{\pi * r^2}{2}$$

$$A_T = 654 \text{ mm}^2$$

Con lo cual el esfuerzo calculado será igual a:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{20}{654}$$

$$\sigma = 0,03 \frac{Kgf}{mm^2}$$

### 2.1.8. Factor de seguridad para comprobación del material

Se calcula el factor de seguridad para verificar que el material de la matriz y del punzón se encuentran en el rango admisible, utilizando la ecuación 18 se tiene que:

$$\sigma_{admissible} = \frac{\sigma_{calculado}}{fs}$$

$$fs = \frac{\sigma_{calculado}}{\sigma_{admissible}}$$

$$fs = \frac{0,03}{260}$$

$$f_s = 0,00011 \leq 2,5$$

Como se puede observar el factor de seguridad es menor a 2,5 con lo que se concluye que al utilizar el material ASI: 0.1 no se tendrá riesgo de falla.

### 2.1.9. Tornillo de potencia

Una vez que ya se tiene la fuerza, el material de la matriz y del punzón se procede a diseñar el tornillo de potencia, para lo cual se utiliza la ecuación 19, que es la ecuación para elevar la carga.

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{1 + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right)$$

Para el diseño de la máquina se toma como un tornillo con 3 entradas, paso de 2 [mm], diámetro nominal de 16[mm], la carga a levantar es de 27,53 [Kgf], equivalente a 269,97 [N] , se calcula el diámetro medio con la ecuación 21

$$d_m = d_e - p$$

$$d_m = 14 \text{ mm} = 0,014 \text{ [m]}$$

Siguiente se procede a calcular el avance del tornillo mediante la ecuación 20

$$l = n * p$$

$$l = 6 \text{ mm} = 0,006 \text{ [m]}$$

Con lo cual se tiene todos los datos necesarios para poder calcular el torque, el que será:

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{1 + \pi f d_m}{\pi d_m - fl} \right)$$

$$T_R = 43,75 \text{ [Nm]}$$

Para disminuir el torque necesario al operador, se colocan 2 bocines a los extremos los cuales generan un torque total igual a:

$$T = 14,4158 \text{ [Nm]}$$

Con esta ayuda el operador tendrá que realizar una fuerza de torque final de:

$$T_R = 43,75 - 14,4158 [Nm]$$

$$T_R = 29,33 [Nm]$$

Para disminuir la carga se toman todos los elementos anteriores y se cambia la fuerza de compresión axial, en este caso la fuerza de compresión es de  $196,133[N] + 269,97[N]$ , utilizando la ecuación 22 se tiene que:

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - 1}{\pi d_m + f l} \right)$$

$$T_L = 291,44 [Nm]$$

Para disminuir el torque que realiza el operador, los bocines disminuye este torque en:

$$T = 14,4158 [Nm]$$

Con lo cual el operador tiene que realizar un torque final de:

$$T_L = 277,03 [Nm]$$

### **2.1.10. Dimensiones de punzones y matriz**

Una vez encontrada la holgura entre el punzón y la matriz, se procede a dimensionar a estos elementos, se considera que para este caso se debe conservar la dimensión exterior de la pieza; entonces se procede a restar el juego al punzón mientras que la dimensión de la matriz de corte se mantiene.

#### **- Caso de corte**

Dimensiones de la matriz representada en la figura 16:

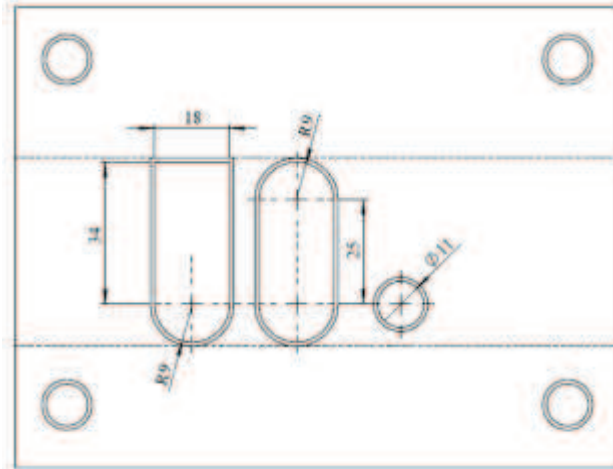


Figura 16 Dimensión de matriz de corte

Dimensión del punzón representada en la figura 17.

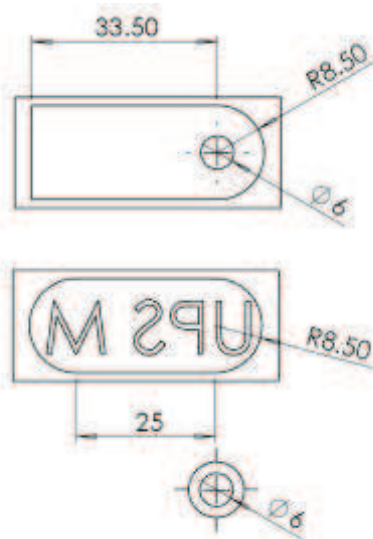


Figura 17 Dimensiones de punzones

### 2.1.11. Diseño de las placas de la matriz de corte

Para el diseño de las placas que conforman el troquel de corte, se procede a enfatizar el diseño obtenido en el análisis funcional, con la forma clara que tendrán las fichas, además



se añade las tolerancias y el tipo de material utilizado para cada pieza; así como el tratamiento térmico que recibieron los punzones.

- **Placa sufridera**

La placa sufridera mostrada en la figura 18, tiene forma rectangular con perforaciones de la geometría de los punzones de corte y de embutido, soporta la presión del punzón de recalcada, dicha sufridera es de material acero A-36; de espesor 20mm, largo de 145mm y ancho de 110mm, se perforan 4 agujeros  $\varnothing$  10mm para acoplar y centrar mediante tornillos a la placa matriz.

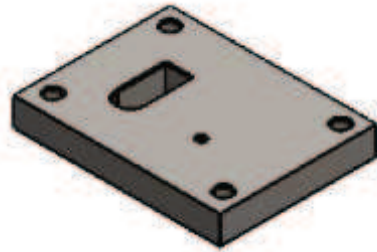


Figura 18 Placa sufridera

- **Punzón de embutido**

El punzón de embutido mostrado en la figura 19, es de acero K-460 cilíndrico, la zona activa es plana y en dirección perpendicular al embutido. Las dimensiones del punzón en su zona activa son:  $\varnothing$  6mm y un alto para el embutido de 10mm. Las dimensiones generales del punzón son un alto de 78mm y un  $\varnothing$  10mm. Se realiza un tratamiento térmico de templado para este punzón.



Figura 19 Punzón de embutido

### - **Punzón de recalcada**

El punzón de recalcada mostrado en la figura 20, es de acero K-460 rectangular, la zona activa es plana y en dirección perpendicular a la platina donde se va a realizar el recalcado. Las dimensiones del punzón en su zona activa son: 25 mm de alto de los cuales 2mm pertenecen al logotipo de la Universidad Politécnica Salesiana, que recibieron un proceso de electroerosión para llegar a lo deseado, el ancho de esta zona es 17mm. Las dimensiones generales del punzón de recalcada son: largo 76mm, ancho 48mm y un espesor de 20mm. Este punzón fue sometido a un tratamiento térmico de templado.

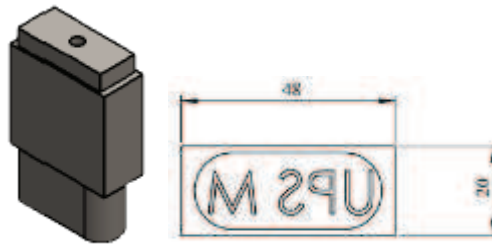


Figura 20 Punzón de recalcada

### - **Punzón de corte**

El punzón de la figura 21, es de acero K-460 de forma rectangular, la zona activa es plana, tiene la forma de la ficha a producir y es perpendicular a la dirección de avance de corte, las dimensiones del punzón de corte son: alto total 78mm, ancho 48mm y un espesor de 20mm, la zona activa tiene un ancho de 17mm y un largo de 42 mm, se realiza una perforación de 10mm de profundidad y de  $\varnothing$  6mm de diámetro para evitar daños en la perforación que realiza el punzón de embutido. El punzón es templado como proceso de tratamiento térmico.

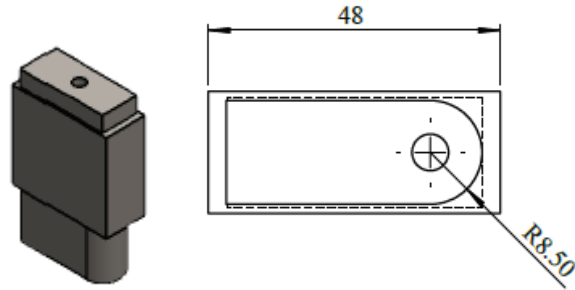
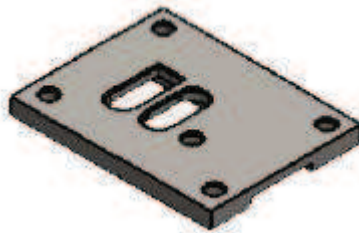


Figura 21 Punzón de corte

### 2.1.12. Placa matriz

La placa matriz mostrada en la figura 22, tiene forma rectangular con perforaciones de la geometría de los tres punzones que actúan sobre ella, de material en acero A-36; de espesor 13mm, largo de 145mm y ancho de 110mm, para el ingreso de la platina a punzonar se realiza un fresado de profundidad 6mm y ancho de 45mm y se perforan 4 agujeros  $\varnothing$  10mm para acoplar y centrar mediante tornillos avellanados a la placa guía inferior o sufridera.



## CAPÍTULO 3

### COSTOS

Se elabora un estudio de los costos que intervienen en la construcción de la troqueladora y todos sus elementos propuestos en el presente proyecto de titulación.

#### 3.1. Materiales

En la tabla 5 se describen los materiales empleados.

Tabla 5 Costo de materiales

N°	Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Placa base de Prensa	Acero A36	kg	20.72	\$0.85	\$17.62
2	Placa guía inferior	Acero A36	kg	2.50	\$0.85	\$2.13
3	Placa inferior troquel	Acero A36	kg	7.67	\$0.85	\$6.52
4	Punzón de corte	Acero k460	kg	0.55	\$15.59	\$8.58
5	Columna de troquel	AISI 4340	m	0.16	\$16.85	\$2.61
6	Placa porta punzones	Acero A36	kg	1.88	\$0.85	\$1.60
7	Buje de Placa	Br SAE 64	m	0.10	\$175.67	\$17.57
8	Placa superior troquel	Acero A36	kg	7.67	\$0.85	\$6.52
9	Manzana del troquel	Acero A36	kg	0.12	\$0.85	\$0.10
10	Columna guía de prensa	AISI 4340	m	0.89	\$39.24	\$34.92
11	Palanca de prensa	AISI 1018	m	0.50	\$3.15	\$1.58
12	Base de palanca	AISI 1018	m	0.14	\$39.00	\$5.54
13	Guía de pernos	Acero A36	kg	1.11	\$0.85	\$0.95
14	Pesa de balancín	AISI 1018	m	0.08	\$165.24	\$12.56
15	Perno de prensa	AISI 4340	m	0.33	\$52.47	\$17.32
16	Placa superior Prensa	Acero A36	kg	4.94	\$0.85	\$4.20
17	Tuerca de prensa	Br SAE 65	m	0.08	\$1,177.29	\$88.30
18	Guía de presión	AISI 4140	m	0.57	\$5.48	\$3.12
19	Placa Guía	Acero A36	kg	6.05	\$0.85	\$5.14
20	Bujes	Br SAE 64	m	1.40	\$307.42	\$430.39
21	Punzón de embutido	Acero k460	kg	0.04	\$16.34	\$0.65
22	Punzón de recalcada	Acero k460	kg	0.6	\$15.59	\$9.35
23	Placa Guía superior	Acero A36	kg	1.59	\$0.85	\$1.35
					<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$678.61</b>
					<b>12% IVA</b>	<b>\$81.43</b>
					<b>TOTAL</b>	<b>\$760.04</b>

Fuente: Pablo Mier y Danny Valencia

Los materiales empleados están de acuerdo a las características de cada elemento que forman parte de la troqueladora.

### 3.2. Costo de tratamientos térmicos

Los elementos que se someten a tratamiento térmico de templado. En la tabla se describe los costos de tratamiento térmicos realizados.

Tabla 6 Costos de tratamiento térmico

Descripción	# PIEZAS	PESO (KG)	PRECIO	TOTAL
Punzón de corte	1	0.55		\$ 2.61
Columna de troquel	2	0.64		\$ 3.04
Columna guía de prensa	2	8.01	\$ 4.75	\$ 38.05
Punzón de embutido	1	0.04		\$ 0.19
Punzón de recalca	1	0.6		\$ 2.85
			<b>SUBTOTAL</b>	\$ 46.74
			<b>12% IVA</b>	\$ 5.61
			<b>TOTAL</b>	\$ 52.35

Fuente: Pablo Mier y Danny Valencia

### 3.1. Mano de obra

El costo de mano de obra va relacionado con todo el proceso de la obtención de cada elemento que forma parte de la matriz de corte, en la tabla 6 se describe el costo de hora hombre-máquina que se necesita para la construcción.

Tabla 7 Costo de Horas-Hombre-Máquina

MÁQUINA		TORNO		FRESADORA		TALADRO		Electroerosión	
COSTO HHM		\$12.00		\$15.00		\$7.00		\$25.00	
PIEZA	Cant.	Horas	Precio	Horas	Precio	Horas	Precio	Horas	Precio
Placa base de Prensa	1	1.50	\$18.00	3.20	\$48.00	3.50	\$24.50		
Placa guía inferior	1	1.00	\$12.00	2.20	\$33.00	1.25	\$8.75		
Placa inferior troquel	1	1.50	\$18.00	2.00	\$30.00	1.35	\$9.45		
Punzón de corte	1	1.20	\$14.40	1.00	\$15.00				
Columna de troquel	2	0.60	\$7.20						
Placa porta punzones	1	1.45	\$17.40	2.00	\$30.00	1.00	\$7.00		
Buje de Placa superior del Troquel	2	0.50	\$6.00					\$0.00	
Placa superior troquel	1	1.20	\$14.40	1.50	\$22.50	1.25	\$8.75		
Manzana del troquel	1	0.40	\$4.80						
Columna guía de prensa	2	1.00	\$12.00						
Palanca de prensa	2	0.75	\$9.00						
Base de palanca	1	1.00	\$12.00	1.20	\$18.00	0.30	\$2.10		
Guía de pernos	1	0.50	\$6.00	0.50	\$7.50	0.30	\$2.10		
Pesa de balancín	2	0.50	\$6.00						
Perno de prensa	1	1.00	\$12.00						
Placa superior de Prensa	1	1.50	\$18.00	1.35	\$20.25	0.75	\$5.25		
Tuerca de prensa	1	0.50	\$6.00						
Guía de presión	2	0.50	\$6.00						
Placa Guía	1	1.50	\$18.00	1.60	\$24.00	0.80	\$5.60		
Bujes	2	0.60	\$7.20						
Punzón de embutido	1	0.80	\$9.60						
Punzón de recalca	1	1.50	\$18.00	0.30	\$4.50			3.25	\$81.25
Placa Guía superior	1	1.00	\$12.00	1.35	\$20.25	1.35	\$9.45		
<b>Total (\$)</b>								<b>\$701.20</b>	

Fuente: Pablo Mier y Danny Valencia

### 3.2. Costos de diseño e ingeniería

Implica todo lo relacionado al diseño de la troqueladora, diseño e ingeniería y los implementos de oficina que se han empleado para obtener los objetivos propuestos en el presente proyecto de titulación. En la tabla se detalla el costo de diseño propuesto.

Tabla 8 Costo de diseño

Descripción	Costo (\$)
Implementos de oficina	50
Impresiones y plotters	35
Diseño e Ingeniería	650
<b>Total</b>	<b>\$ 735.00</b>

Fuente: Pablo Mier y Danny Valencia

### 3.3. Costo total del proyecto de titulación

El costo total del proyecto es la suma total de todos los costos relacionados con la construcción, diseño y funcionamiento del presente proyecto de titulación, en la tabla 8 se detalla el costo total del proyecto.

Tabla 9 Costo total del Proyecto de Titulación

Rubros	Precio (\$)
Costo de materiales	\$ 760.04
Costos Horas Hombre Máquina	\$ 701.20
Costo de Tratamiento Térmico	\$ 52.35
Costo de diseño	\$ 735.00
<b>Costo total</b>	<b>\$ 2248.59</b>

Fuente: Pablo Mier y Danny Valencia

### 3.4. Costo por ficha fabricada y comprada

En esta sección se hace una comparación o análisis entre el costo de producción de la ficha contra el costo de compra de fichas ya fabricadas.

a) **Según Anexo D Se tiene que:**

$$\text{Costo}_{\text{Compra}} = \frac{\$ 0,73}{\text{ficha}} + \text{IVA}$$

$$\text{Costo}_{\text{Compra}} = \frac{\$ 0,82}{\text{ficha}}$$

b) **Costo de producción.**

- **Materia prima:**

$$\text{Costo Plancha } 1000 \times 2000 \times 1 \text{ mm} = \$ 18,30 + \text{IVA}$$

$$\text{Perímetro plancha} = 7320 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro de corte (ficha)} = 146.55 \text{ mm}$$

$$\text{Precio Real} = \frac{\text{Perímetro de corte} * \text{costo plancha}}{\text{Perímetro plancha}}$$

$$\text{Precio Real} = \frac{146.55 * 18.30}{7320}$$

$$\text{Precio Real} = \frac{\$ 0,37}{\text{ficha}}$$

- **Producción:**

$$\text{Pr} = \frac{\# \text{ fichas}}{\text{hora} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}}$$

$$\text{Pr} = \frac{200}{\text{horas} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}}$$

$$\text{Pr} = 3,33 \frac{\text{fichas}}{\text{min}}$$



- **Mano de obra:**

$$MO = \frac{\text{Salario básico unificado}}{200 \text{ horas} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}}$$

$$MO = \frac{\$ 375,00}{200 \text{ horas} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hora}}}$$

$$MO = \frac{\$0.03}{\text{min}}$$

$$MO_U = \frac{\$0.03}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{3.33 \text{ fichas}}$$

$$MO_U = \frac{\$0.01}{\text{ficha}}$$

- **Costo Total = MO<sub>U</sub> + Precio Real**

- **Costo Total = \$ (0,37+0.01)**

- **Costo Total =  $\frac{\$0,38}{\text{ficha}}$**

De acuerdo a lo obtenido, el valor de la ficha producida tiene un costo menor de 44 centavos por ficha producida, lo cual muestra una ganancia en producción.

- **Depreciación troqueladora**

Para encontrar la depreciación mensual de la troqueladora se realiza la operación siguiente:

$$\text{Depreciación} = \frac{\text{Costo total}}{2 \text{ año} * \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}}}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{\$ 2248,59}{24 \text{ meses}}$$

$$\text{Depreciación} = \$93,69 / \text{mes}$$

## CONCLUSIONES

- La matriz de corte utilizada en esta troqueladora manual permite cortar láminas de aluminio de 1 mm de espesor y como resultado obtener fichas de 17x40 mm y recalcar las iniciales de la Universidad Politécnica Salesiana; con acabado superficial libre de rebabas para poder ser utilizadas por los estudiantes del laboratorio de máquinas herramientas.
- El dimensionamiento de los elementos que forman parte de la troqueladora deben ser acorde a los requerimientos de la ficha a obtener, y según parámetros de estudios previamente realizados para garantizar un sistema fácil de utilizar, sencillo y eficaz.
- El proceso de producción de las fichas de aluminio empieza con la perforación de diámetro 6 mm en la parte superior de la pieza, seguido se realiza el recalcado de las iniciales de la Universidad Politécnica Salesiana y finaliza con el corte de la ficha a utilizar, con un tiempo aproximado de 15 segundos por ficha, es decir, una producción de 240 fichas por hora.
- Durante la producción se desecha las dos primeras fichas ya que se tiene una matriz de tres paso de corte, recalcado del diseño y perforación de diámetro, la primera ficha pasa por el corte de la forma geométrica, la segunda pieza obtiene la recalcada del diseño y corte de la geometría y la tercera ficha pasa por todos los pasos indicados, lo cual se verificó realizando pruebas con probetas del material seleccionado. La fuerza real de la troqueladora es 2 toneladas, y la fuerza total de corte es 14555 N.

- Dentro del diseño se consideró como factor importante el juego de 1mm entre las sufrideras y los punzones, de esto depende la exactitud y calidad de las fichas finalmente obtenidas.
- Para mejorar la vida útil de los punzones que son los elementos que sufren mayor desgaste, se realizaron tratamientos térmicos de templado para mejorar las propiedades mecánicas de los mismos y garantizar una buena función, aumentando la resistencia a la tracción de 77 a 260 kg/mm<sup>2</sup>.

## RECOMENDACIONES

- Verificar medidas y estado de la prensa donde se va a colocar los punzones y matrices para corte para garantizar su funcionamiento y el acople exacto de todos sus elementos.
- Realizar la lubricación necesaria entre las matrices y los punzones, para garantizar y asegurar la vida útil de cada componente disminuyendo el desgaste entre ellos y favoreciendo los procesos por los que tiene que pasar cada ficha.
- Utilizar la troqueladora únicamente con el espesor y material para el que fue diseñada, debido a que si no se sigue las precauciones no se podrá evitar el desgaste prematuro de los elementos de corte, embutido y recalcada.
- Cuando empiece a darse el desgaste de los punzones utilizados durante el proceso de producción, se debe seguir un proceso de rectificado para poder afilar los elementos dentro de las tolerancias permitidas, que no afecten en la vida útil de los mismos.
- Para obtener un buen desempeño del troquel con ayuda del manual de mantenimiento se debe cuidar los elementos que lo conforman, dar una lubricación periódica y adecuada a dichos elementos y respetar manual de operación para cuidar la vida útil del mismo.

## REFERENCIAS

- [1] W. Smith, Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales, Mexico Df: McGraw-Hill Interamericana , 1998.
- [2] W. González-Viñas y H. L. Mancini, «Propiedades Mecánicas,» de *Ciencia de los materiales*, Editorial Ariel, 2003, pp. 63-65.
- [3] S. Barroso Herrero y M. Carsí Cebrián, «Procesos de conformado,» de *Procesado y puesta en servicio de materiales*, Madrid, Universidad Nacional De Educación a Distancia, 2013, pp. 16-88.
- [4] M. P. Groover, «Procesos de Manufactura,» de *Fundamentos de manufactura moderna : materiales, procesos y sistemas (3a. ed.)*, Madrid, McGraw-Hill, 2007, pp. 10-66.
- [5] P. Molera Solá, «Introducción,» de *Tratamientos térmicos de los metales* , Barcelona, Marcombo , 1991 , p. 11.
- [6] C. Ochoa, «Prensa de volante,» de *Principales máquinas herramientas utilizadas en la industria metal mecánica*, El Cid Editor, 2007, p. 9.
- [7] A. Contín, TECNOLOGIA MECANICA 2, México: Reverté, 1968.
- [8] G. Heinrich, Alrededor de las Máquinas-Herramientas, Loreto: REVERTÉ, S.A., 2006.

- [9] O. A. Johnson, *Diseño de máquinas herramienta*, Mexico: Roble, 1973.
- [10] Falk, Gockel, Lernet y Schlossorsch, *Metalotecnia Fundamental*, Bogota: REVERTÉ, S.A., 1986.
- [11] A. Florit, de *Fundamentos de matricería*, Barcelona, Ceac, 2005, pp. 93 -276.
- [12] J. Timoshenko. Gere, *Resistencia de Materiales*, Madrid: Thomson, 2002.
- [13] J. Shigley, *Diseño en Ingeniería Mecánica*, Mexico DF: McGrae-Hill/Interamericana, 2002.
- [14] F. J. R. Beer, *Mecánica de Materiales*, México DF: McGraw-Hill/Interamericana, 2007.
- [15] J. M. Marín García, *Apuntes de Diseño de Máquinas*, Alicante: Club universitario, 2008.
- [16] S. Kalpakjian y S. R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología*, Mexico DF: Prentice-Hall, 2002.
- [17] J. H. Jackson y H. G. Wirtz, de *Estática y resistencia de materiales*, McGraw-Hill Interamericana, 1986, p. 218.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**

**PLANOS**



**ANEXO B**

**TABLA DE MATERIALES**

**ANEXO C**  
**MANUALES**

**ANEXO D**  
**PROFORMAS**