

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE
PROBETAS PLANAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN**

PRESENTADO POR:

**CRISTIAN ADIEL DUBÓN HERRERA
JORGE LUIS PINEDA SARAVIA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIA GENERAL :

M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

Dr. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO :

Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR INTERINO :

Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, octubre de 2021

DEDICATORIA

A mis padres Samuel Dubón y Griselda Herrera que ni un tan sólo día de mi vida han dejado de brindarme su amor, confianza, consejos, corrección y sabiduría. Sin su apoyo incondicional nada de esto podría ser posible hoy en día.

A mis abuelos que siempre han estado a mi lado brindándome su amor y su apoyo incondicional, así como su abundante sabiduría al darme consejos para ser una mejor persona día a día.

A mis hermanos que siempre me brindan su cariño y confianza. Especialmente a Josué Dubón que hasta el cielo le dedico esto con mucho amor.

A mis tías Olivia Herrera, Flor Herrera y tío Milton Herrera que son parte esencial de mi vida, ya que siempre me han brindado su apoyo y amor incondicional.

Cristian Adiel Dubón Herrera

DEDICATORIA

A mis padres, por su apoyo incondicional desde el inicio hasta el final de mi carrera.

A mis hermanos, y demás familiares que sirvieron de apoyo directa e indirectamente durante este proceso, por estar siempre dispuestos a brindar su ayuda y ser personas de bien en mi carrera.

Jorge Luis Pineda Saravia

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por la vida, la salud y el conocimiento obtenido, el cual utilizamos para el bien de los que amamos y nos apoyan en cada etapa a la que nos enfrentamos.

A la Universidad de El Salvador, a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y a nuestros docentes, los profesionales que hacen posible la comprensión, el crecimiento y la formación integral, trabajando constantemente con esmero para brindar una parte de sus vidas a cada uno de los estudiantes que desean enriquecerse de las experiencias de tan respetables seres humanos.

A nuestros compañeros, amigos y familias, por cada momento en los que nos apoyaron para seguir adelante a pesar de las dificultades encontradas.

Agradecemos profundamente al Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz, nuestro asesor, quien con su preparación en la ciencia y la Ingeniería sumada a su extensa amabilidad y dedicación ha hecho posible que demos los pasos para alcanzar tan respetable logro.

Una barrera más que se supera, una meta más que se alcanza. Los obstáculos nos han fortalecido y nos llenan de felicidad cuando los culminamos con esfuerzo. Es momento de continuar por el sendero correcto del saber.

Jorge Luis Pineda Saravia y Cristian Adiel Dubón Herrera

DISEÑO DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE PROBETAS PLANAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN

Estudiantes: Br. Cristian Adiel Dubón Herrera¹

Br. Jorge Luis Pineda Saravia²

Docente asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz³
Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
Universidad de El Salvador

RESUMEN

Se ha realizado una recopilación bibliográfica sobre el trabajo metálico en frío de láminas metálicas delgadas, los tipos de las máquinas troqueladoras particularizando su accionamiento, el funcionamiento de las máquinas y las propiedades y características de los principales componentes de dichas máquinas troqueladoras. Luego, se procedió al diseño de los elementos principales de la máquina tomando en consideración su funcionalidad, propiedades, factores directos e indirectos de estos para realizar una correcta selección de los materiales y dimensionamiento de una troqueladora de probetas planas para ensayos de tracción, accionada mecánicamente por bandas mediante un motor eléctrico. Posteriormente, se procedió a realizar un análisis de los costos de construcción de la máquina, como lo son los materiales, piezas y herramientas necesarias para la construcción, mano de obra, así como los costos indirectos. Además, paralelamente, se elaboraron los planos de detalle de los elementos, subconjuntos y conjunto de la máquina troqueladora. También, se elaboraron los manuales de operación y mantenimiento correspondiente de dicha máquina. Finalmente, se concluye que el costo estimado de producción de la máquina diseñada debe actualizarse cuando se construya.

Palabras claves: Troquelado, Corte y Cizallado.

1 ps14011@ues.edu.sv

2 dh11002@ues.edu.sv

3 jonathan.berrios@ues.edu.sv

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Trabajo metálico de láminas.....	3
1.2. Elementos básicos de una troqueladora.....	5
1.3. Funcionamiento de la troqueladora.....	6
1.4. Proceso de troquelado.....	6
1.5. Fundamentos del corte de material.....	7
1.5.1. Tipos de corte.....	9
1.6. Parámetros importantes en el corte.....	11
1.7. Fuerzas de corte.....	12
1.8. Prensas.....	15
1.8.1. Potencia y sistemas de transmisión.....	16
1.9. Componentes básicos de un troquel.....	17
1.10. Clasificación de los troqueles.....	22
1.10.1. Simples (de una estación o un paso).....	22
1.10.2. Compuestos (de dos o tres estaciones o pasos).....	23
1.10.3. Progresivos (múltiples estaciones o pasos).....	24
1.11. Materiales de los troqueles.....	25
2. DISEÑO.....	28
2.1. Fuerza efectiva para el trabajo de prensa.....	29
2.2. Fuerza real de la prensa.....	29
2.3. Fuerza de corte.....	30
2.4. Fuerza de extracción del punzón.....	32
2.5. Fuerza de expulsión.....	33
2.6. Tolerancia de corte o juego entre punzón y matriz.....	34
2.7. Distancia de separación entre piezas.....	35
2.8. Distancia de separación entre piezas y borde.....	35
2.9. Paso o avance.....	36
2.10. Esfuerzo.....	37
2.11. Dimensionamiento de matriz.....	38
2.12. Punzón de corte.....	41
2.13. Pisador.....	44
2.14. Punzón.....	45
2.15. Porta troquel y porta matriz.....	46
2.16. Transmisión mecánica.....	46
2.16.1. Selección de bandas.....	47
2.17. Análisis mecánico del eje.....	54

	Pág.
3. ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA TROQUELADORA PROPUESTA.....	62
3.1. Estudio técnico.....	62
3.1.1. Construcción de la máquina troqueladora.....	62
3.1.2. Funcionamiento y operación de la máquina troqueladora..	74
3.2. Análisis de costos del proyecto.....	78
3.2.1. Costos de materiales de fabricación.....	79
3.2.2. Costos de mano de obra.....	79
3.2.3. Costos indirectos.....	81
4. DISEÑO DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTOS.....	83
4.1. Diseño del manual de operación.....	83
4.1.1. Objetivo.....	83
4.1.2. Responsabilidades.....	83
4.1.3. Contenido.....	84
4.2. Diseño del manual de mantenimiento.....	85
4.2.1. Objetivo.....	85
4.2.2. Responsabilidades.....	86
4.2.3. Contenido.....	86
CONCLUSIONES.....	87
BIBLIOGRAFÍA.....	88
ANEXOS.....	89
Anexo A: Manual de operación.....	89
Anexo B: Manual de mantenimiento.....	94
Anexo C: Norma E-8M-04.....	100
Anexo D: Planos.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Valor de tolerancias para los tres grupos de láminas metálicas [1].....	12
Tabla 2.1. Coeficiente de resistencia de cizalladura de algunos materiales [7].....	30
Tabla 2.2. Coeficiente para el cálculo de fuerza de extracción de chapa [11].....	33
Tabla 2.3. Tamaños sugeridos de matrices estandarizadas, unidades en pulg [14].....	38
Tabla 2.4. Constante de algunos materiales para cálculo de claro [14].....	42
Tabla 2.5. Distancia entre borde de la matriz y tira [14].....	44
Tabla 2.6. Valores recomendados para el espesor de la cavidad [14].....	44
Tabla 2.7. Valores específicos de la porta matriz y porta punzón [14].....	46
Tabla 2.8. Factores de servicio sugeridos para transmisiones de bandas en V [9].....	48
Tabla 2.9. Factor de corrección por ángulo de contacto para transmisiones de banda plana, VV y V [9].....	50
Tabla 2.10. Factor de corrección de longitud de banda [9].....	50
Tabla 2.11. Valores de potencia en bandas según diámetro y velocidad lineal [9].	52
Tabla 2.12. Tipos de rodamiento.....	57
Tabla 2.13. Valores del factor a y b según tipo proceso mecánico.....	58
Tabla 2.14. Factores de corrección por el tipo de carga.....	59
Tabla 2.15. Resistencias mínimas a la tensión y o la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y laminados en frío (CD). Las resistencias son valores ASTM mínimos encontrados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm a 1 ¾ pulg.....	61
Tabla 3.1. Costos de materiales de fabricación, elementos, dispositivos de soporte y ensamble.....	80
Tabla 3.2. Costo de mano de obra para construcción y fabricación.....	81
Tabla 3.3. Costos indirectos del proyecto.....	81
Tabla 3.4. Costos totales del proyecto.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Productos obtenidos mediante troquelado [1].....	4
Fig. 1.2. Cizallado o corte de una lámina metálica entre dos bordes cortantes: a) Movimiento del punzón; b) deformación plástica; c) penetración del punzón; y d) fractura del material. En donde F es la fuerza aplicada, t es el espesor del material y c es el espacio [1].....	8
Fig. 1.3. Bordes cizallados característicos del material de trabajo [1].....	9
Fig. 1.4. Operación de cizallado: a) Vista lateral de la operación; y b) vista frontal de la cizalla equipada con una cuchilla superior sesgada. El símbolo v indica movimiento [1].....	10
Fig. 1.5. Operaciones de corte: a) Punzonado; y b) perforado [1].....	10
Fig. 1.6. Efecto del espacio: a) uno demasiado pequeño ocasiona una fractura poco menos que óptima y fuerzas excesivas; y b) uno demasiado grande ocasiona rebaba más grande [1].....	11
Fig. 1.7. Componentes de las fuerzas presentes en el proceso de corte [12].....	14
Fig. 1.8. Trayectoria del esfuerzo cortante [12].....	14
Fig. 1.9. Componentes de una prensa troqueladora accionada por una transmisión mecánica [1].....	16
Fig. 1.10. Tipos de transmisión para prensa destinadas al trabajo de metal en láminas: a) Excéntrico; b) cigüeñal; y c) de junta de bisagra [1].....	17
Fig. 1.11. Componentes básicos del troquel [5].....	21
Fig. 1.12. Troquel simple [1].....	22
Fig. 1.13. Troquel compuesto [13].....	23
Fig. 1.14. Troquel progresivo: a) Troquel; y b) desarrollo asociado de la tira [1].....	24
Fig. 1.15. Ejemplos de troqueles compuestos fabricados con aceros de alta dureza y resistencia [13].....	27
Fig. 2.1. Esquema en 3D de la propuesta de troqueladora.....	28
Fig. 2.2. Esquema y dimensiones de la probeta.	31
Fig. 2.3. Esquema de dimensiones estándar para la matriz.....	39
Fig. 2.4. Espacio angular del troquel [1].....	41
Fig. 2.5. Diseño de matriz en 3D.....	41
Fig. 2.6. Claro aplicado al punzón o matriz [14].....	43
Fig. 2.7. Vista de planta de una tira [14].....	43
Fig. 2.8. Vista frontal para espesores de la cavidad de la matriz.....	44
Fig. 2.9. Diseño en 3D del pisador.....	44
Fig. 2.10. Proporciones típicas de un punzón [14].....	45

	Pág.
Fig. 2.11. Esquema de una transmisión mecánica por polea [9].....	47
Fig. 2.12. Diagrama de cuerpo libre del eje.....	55
Fig. 3.1. Banco de la troqueladora.....	63
Fig. 3.2. Banco de la troqueladora con su placa.....	63
Fig. 3.3. Banco de la troqueladora con las placas laterales y nervios de soporte.	64
Fig. 3.4. Vista detallada de las placas laterales.....	65
Fig. 3.5. Vista detallada de los elementos de soporte para el motor eléctrico.....	65
Fig. 3.6. Vista detallada en 3D de la ubicación del eje de transmisión.....	66
Fig. 3.7. Vista detallada del conjunto del dispositivo de movimiento excéntrico.	67
Fig. 3.8. Vista detallada de la sujeción.....	68
Fig. 3.9. Vista del conjunto porta matriz, matriz y pisado.....	68
Fig. 3.10. Vista de los postes guías y bujes relacionados al porta punzó.....	69
Fig. 3.11. Instalación completa del punzón con sus respectivos pernos Allen.....	69
Fig. 3.12. Transmisión mecánica mediante poleas de la troqueladora.....	70
Fig. 3.13. Vista de posición inicial del pedal.....	71
Fig. 3.14. Vista de pedal y embrague desacoplados.....	71
Fig. 3.15. Vista de la posición final del pedal.....	72
Fig. 3.16. Movimiento de la pieza de fricción.....	72
Fig. 3.17. Acople entre embrague y polea.....	73
Fig. 3.18. Repetición del proceso de desembrague.....	73
Fig. 3.19. Guarda de bandas de transmisión.....	74
Fig. 3.20. Ingreso de la tira metálica	75
Fig. 3.21. Vista de la tira ingresando por la abertura del pisador.....	76
Fig. 3.22. Vista frontal del punzón al momento de descender	76
Fig. 3.23. Salida de la tira metálica saliendo por el extremo derecho.....	76
Fig. 3.24. Vista frontal del conjunto troquel	77
Fig. 3.25. Expulsión de la probeta por la parte inferior de la maquina.....	78

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

a_{pieza} :	Ancho de pieza
A :	Área, ancho de la matriz
AC :	Tolerancia del espacio
b :	Separación entre piezas y borde
b_f :	Ancho de fleje
B :	Largo de la matriz
c :	Distancia entre punzón-troquel
C :	Carga dinámica
d :	Diámetro del eje
D :	Diámetro
e :	Espesor
f :	Coefficiente de fricción
F :	Fuerza en el punzón
F_e :	Carga equivalente
F_h :	Fuerza horizontal en el punzón
F_v :	Fuerza vertical en el punzón
F'_h :	Fuerza horizontal en la matriz
F'_v :	Fuerza vertical en la matriz
F'_s :	Fuerza de reacción en la matriz
F_c :	Fuerza de corte
F_{ef} :	Fuerza efectiva para el trabajo de la prensa
F_{exp} :	Fuerza de expulsión
F_{ext} :	Fuerza de extracción
f_s :	Fuerza admisible
g :	Gravedad
h_{pieza} :	Altura de la pieza
l :	Distancia entre fuerzas verticales
K :	Constante del material
k_1 :	Factor de corrección por ángulo de contacto
k_2 :	Factor de corrección por longitud de banda
K_a :	Factor de corrección por superficie
K_b :	Factor de tamaño
k_c :	Constante de corte del material
k_s :	Factor de servicio
K_F :	Factor de concentración de esfuerzos
L :	Longitud de corte, longitud de banda
L_d :	Longitud
M :	Momento de inercia
n :	Velocidad angular
N :	Número de bandas
p :	Perímetro, paso
Pot :	Potencia

Pot_d :	Potencia de diseño
Pot_c :	Potencia corregida
Pot_b :	Potencia por banda
Pot_n :	Potencia nominal
R :	Radio
S_n :	Esfuerzo de fluencia
S_u :	Esfuerzo último
t :	Espesor del material
T :	Torque
v :	Dirección de movimiento
γ :	Peso específico del material
θ_1 :	Ángulo de contacto
μ :	Coefficiente de fricción
σ :	Esfuerzo
σ_{ea} :	Esfuerzo alterno
σ_{em} :	Esfuerzo medio
τ :	Esfuerzo cortante

INTRODUCCIÓN

El troquelado es un proceso de manufactura muy empleado en la industria metalmeccánica, esta operación se realiza en frío utilizando máquinas llamadas troqueladoras, las cuales están compuestas por una prensa y un elemento de corte llamado troquel. La prensa es la encargada de suministrar la presión necesaria para que el elemento de corte (troquel), conformado por un punzón y una matriz, también llamado “macho” y “hembra”. Cuando el troquel ejerce presión sobre el material, supera su límite elástico y actúa como fuerza para transformarlo, bien sea para cortar, doblar o conformar una forma previamente definida. En raras ocasiones, cuando el espesor de la lámina es muy grande, por ejemplo, 2 pulg, y no se pueden obtener las piezas por fundición u otro proceso, el material debe calentarse previamente.

Este proceso está enfocado, principalmente, hacia la productividad. Es empleado en gran variedad de sectores: electrodomésticos (línea blanca), automotor, aeronáutico, naval, electrónico e informático y su objetivo es aprovechar al máximo el material para elaborar la mayor cantidad de piezas con el menor tiempo y costo posible.

El presente trabajo consiste en el diseño de una máquina troqueladora que permitirá la obtención de probetas planas que serán sometidas a ensayos de tracción con fines didácticos, ya que en los últimos años se ha dado la necesidad de determinar el esfuerzo de fluencia de materiales recubiertos, particularmente determinar la contribución de el recubrimiento con el fin de asociarlo con el comportamiento a la fatiga o las resistencia al desgaste, para lo cual es necesario la obtención de estas probetas. Esto es necesario ya que es una práctica habitual en asignaturas en donde se aborda el tema de trabajo en frío como laminación, son los ensayos de tracción a diferentes ángulos de dirección de laminación.

En el capítulo uno se lleva a cabo una amplia descripción y explicación sobre el proceso de troquelado y sobre la máquina troqueladora. Los componentes más importantes de la máquina serán descritos en cuanto a la

función que realizan, materiales de los cuales están hechos y geometría de los mismos.

En el capítulo dos se realiza el diseño de los componentes más importantes de la prensa, así como también del troquel. Los parámetros geométricos del diseño del troquel se realizan en función de la geometría de la pieza que se desea obtener, al ser una probeta que será sometida a ensayos, sus dimensiones están determinadas por la norma ASTM designación E-8M-04, que es la norma que rige las dimensiones de probetas planas para ensayos de tracción. Estas dimensiones de la pieza son de gran importancia porque es base estas que se determina la fuerza necesaria de corte, con lo cual también se determinara el tipo de material a utilizar en el punzón y la matriz.

En el capítulo 3 se procede tanto a describir el proceso de fabricación y operación de la máquina troqueladora, como también a realizar un análisis de los costos de fabricación de la máquina troqueladora. Estos costos se dividen en costos de materiales, mano de obra y costos variables, estos se desglosarán detalladamente para poder hacer la estimación más precisa del costo real de fabricación de máquina troqueladora y con esto poder una decisión respecto a la factibilidad de construcción de la misma.

Por último, se llevará a cabo un análisis de los resultados obtenidos lo que servirán para llevar a cabo las respectivas conclusiones sobre el trabajo de graduación.

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se procede a realizar la investigación teórica previa al diseño de la máquina, se explican conceptos generales que se relacionan con el proceso de troquelado. Se realizará una explicación de la máquina herramienta, se detallan los principales elementos que la conforman, su funcionamiento y se describe el proceso que realiza al momento de ejecutar su función.

1.1. TRABAJO METÁLICO DE LÁMINAS

El trabajo metálico de láminas incluye operaciones de corte y formado realizados sobre láminas delgadas de metal. Los espesores del material típicos están de 0.4 a 6 mm (1/64 a 1/4 de pulg). Cuando el espesor excede de 6 mm se le llama placa en lugar de lámina. El material de lámina o placa que se usa en el trabajo metálico de láminas se produce por laminación [1].

La importancia comercial del trabajo con láminas es significativa. Es decir, al considerar el número de productos industriales y de consumo que incluyen piezas de lámina metálica: carrocerías de automóviles y camiones, aeroplanos, carros de ferrocarril y locomotoras, equipo de construcción y agrícola, utensilios pequeños y grandes, muebles y equipo de oficina, entre otros. Aunque estos ejemplos son obvios debido a que tienen lámina en su exterior, muchos componentes internos de estos productos se hacen también de láminas o placas. Las piezas de lámina de metal se caracterizan generalmente por su alta resistencia, buena precisión dimensional, buen acabado superficial y bajo costo relativo. Se pueden diseñar operaciones de producción masiva de lámina para grandes cantidades de componentes que se requieren en muchos de los productos antes mencionados [1].

La mayoría de los procesos con láminas metálicas se realizan a temperatura ambiente (trabajo en frío), excepto cuando el material es grueso, frágil o la deformación es significativa [1].

Las tres grandes categorías de los procesos de láminas metálicas son: 1) corte, 2) doblado y 3) embutido. El corte se usa para separar láminas grandes en piezas menores, para cortar un perímetro o hacer agujeros en una pieza. El doblado y el embutido se usan para transformar láminas de metal en piezas de forma especial. Así, este trabajo de graduación está dirigido a las operaciones de corte [1].

En la Fig. 1.1 se presenta algunos ejemplos de los productos que se obtienen mediante estas operaciones en lámina mencionadas anteriormente. En todas las variantes del proceso, la precisión depende directamente de la exactitud y calidad del troquel (cuya forma y dimensiones coincide con las piezas que se quieren obtener).



Fig. 1.1. Productos obtenidos mediante troquelado [1].

La mayoría de las operaciones con láminas metálicas se ejecutan en máquinas herramienta llamadas prensas. Se usa el término prensa de estampado, para distinguirlas de las prensas de forjado y extrusión. Las herramientas que se usan para realizar el trabajo en láminas se llaman punzón y

troquel; también se usa el término troquel estampador. Los productos fabricados de lámina se llaman troquelados o estampados [1].

La término troquelar se deriva del griego *troque* que significa corte y *lar* que quiere decir forma. Mediante este juego de palabras se puede definir el término troquelar por sus orígenes semánticos como cortar a la forma [2].

Troquelar es la acción mecánica que se utiliza para realizar agujeros de forma geométrica propia sin la producción de viruta en láminas o placas de metal, plástico, papel, cartón, entre otros [3 y 4].

El troquelado se define como un proceso mecánico de producción industrial que se utiliza para trabajar en frío lámina metálica y fabricar completamente o parcialmente piezas por medio de una herramienta (troquel), conformada por un punzón y una matriz, también llamados macho y hembra, respectivamente.

Troquelar es un arte metalmecánico muy importante para la industria, ya que siempre se busca fabricar productos más eficientes, resistentes, de calidad y económicos que los obtenidos con cualquier otro proceso productivo como fundición, forja o maquinado. Está enfocado en aprovechar al máximo el material para fabricar la mayor cantidad de piezas con el menor tiempo y costo posible [5].

1.2. ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA TROQUELADORA

Los elementos básicos que constituyen una troqueladora son:

- ✓ El punzón 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 enérgica 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 [6].

1.3. 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 [5 y 6].

El punzón y la matriz no son elementos mecánicos autónomos, 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 avanza o es evacuada y se continúa con la repetición del ciclo de troquelado [7].

1.4. PROCESO DE TROQUELADO

Una troqueladora consideración 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 metálico, la potencia del motor que controla la herramienta, entre otros [1].

La matriz es la parte que soporta o fija el material que se va a perforar, 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 [1].

Este comportamiento, del material, de adherirse al troquel tiene su origen cuando el material es perforado y se deforma elásticamente cuando el troquel avanza, pero cuando el troquel ha realizado el corte y se encuentra de regreso a su posición inicial, el material se contrae por la recuperación elástica y esto hace que se adhiera a la herramienta que realizó la perforación [10.]

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 [11 y 12].

1.5. FUNDAMENTOS DEL CORTE DE MATERIAL

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes de corte afilados. La acción de cizalla se describe en los cuatro pasos esquematizados en la Fig. 1.2, donde el borde superior de corte (el punzón) se mueve hacia abajo sobrepasando el borde estacionario inferior de corte (el troquel). Cuando el punzón empieza a empujar el material de trabajo, ocurre una deformación plástica en las superficies de la lámina; conforme éste se mueve hacia abajo, ocurre la penetración, en la cual comprime la lámina y corta el metal. Esta zona de penetración es generalmente una tercera parte del espesor de la lámina. A medida que el punzón continúa su viaje dentro del trabajo, se inicia la fractura en éste entre los dos bordes de corte. Si el espacio entre el punzón y el troquel es correcto, las dos líneas de fractura se encuentran y el resultado es una separación limpia de trabajo en dos piezas [1].

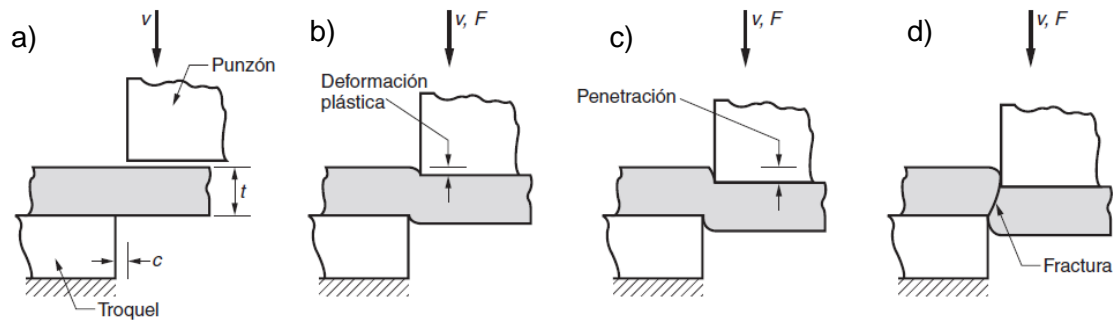


Fig. 1.2. Cizallado o corte de una lámina metálica entre dos bordes cortantes: a) Movimiento del punzón; b) deformación plástica; c) penetración del punzón; y d) fractura del material. En donde F es la fuerza aplicada, t es el espesor del material y c es el espacio [1].

En la Fig. 1.2a inmediatamente antes de que el punzón entre en contacto con el material, en la Fig. 1.2b el punzón empieza a comprimir el material de trabajo causando deformación plástica, en la Fig. 1.2c el punzón comprime y penetra en el trabajo formando una superficie lisa de corte y en la Fig. 1.2d se inicia la fractura entre los dos bordes de corte opuestos que separan la lámina. En esta Fig. 1.2 se presenta el avance del punzón.

Como resultado del proceso de corte, se generan cuatro zonas (ver, Fig. 1.3) en los bordes de las piezas desprendidas con diferentes características [1]:

- ✓ Redondeada: En esta zona, se llevaron a cabo etapas de deformación plástica y la compresión mencionada en la etapa de penetración.
- ✓ Bruñido: En esta zona el acabado es brillante y liso, se trata de una región en la cual comienza la penetración y que debe su acabado a la alta fuerza de fricción entre la lámina y el punzón cuando éste comienza a penetrar en la lámina.
- ✓ Fractura: Es la zona en donde se puede observar una superficie relativamente tosca del borde de corte en donde el movimiento continuo del punzón hacia abajo causa la fractura del material.
- ✓ Rebaba: es generada por la elongación del material durante la separación de la pieza.

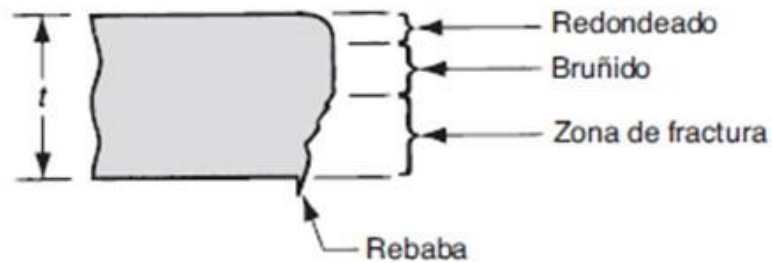


Fig. 1.3. Bordes cizallados característicos del material de trabajo [1].

La calidad del producto depende en gran medida del tamaño de la zona de rebaba, ya que en la mayoría de los casos es necesario retirar dicha porción del material en procesos posteriores. Por lo tanto, un proceso que reduzca el tamaño de rebaba podría, incluso no necesitar un proceso posterior, lo cual se logra principalmente con una correcta sección de claro o holgura entre la matriz y punzón.

1.5.1. TIPOS DE CORTE

Existen tres operaciones principales en el trabajo de prensa que cortan el metal por el mecanismo de cizalla que se acaba de describir: el cizallado, el punzonado y el perforado:

- ✓ El cizallado. Es la operación de corte de una lámina de material a lo largo de una línea recta entre dos bordes de corte, como se presenta en la Fig. 1.4a. El cizallado se usa típicamente para reducir grandes láminas a secciones más pequeñas para operaciones posteriores de prensado, se ejecuta en una máquina llamada cizalla de potencia o cizalla recta. La cuchilla superior de la cizalla de potencia está frecuentemente sesgada, como se presenta en la Fig. 1.4b, para reducir la fuerza requerida de corte [1].

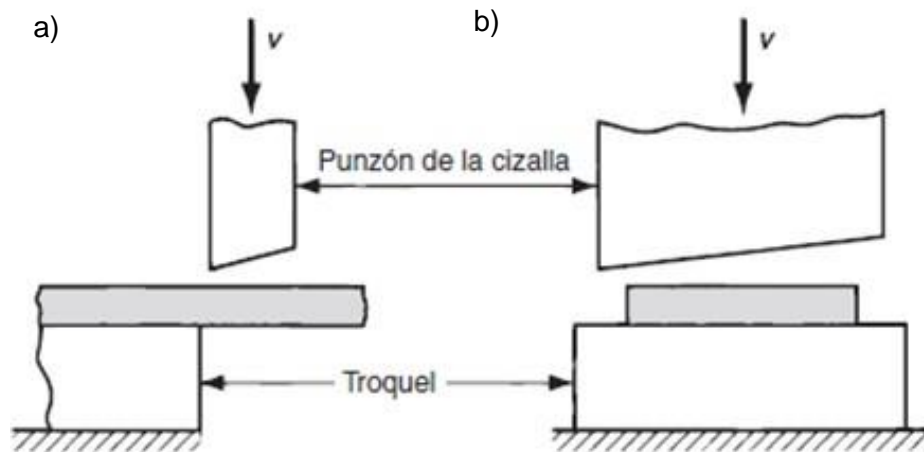


Fig. 1.4. Operación de cizallado: a) Vista lateral de la operación; y b) vista frontal de la cizalla equipada con una cuchilla superior sesgada. El símbolo v indica movimiento [1].

- ✓ El punzonado y perforado. Implica el corte de una lámina de metal a lo largo de una línea cerrada en un sólo paso para separar la pieza del material circundante, como se presenta en la Fig. 1.5a. La pieza que se corta es el producto deseado en la operación y se designa como la parte o pieza deseada. El perforado es muy similar al punzonado, excepto porque la pieza que se corta se desecha y se llama pedacería, el material remanente es la pieza deseada, la distinción se presenta en la Fig. 1.5b [1].

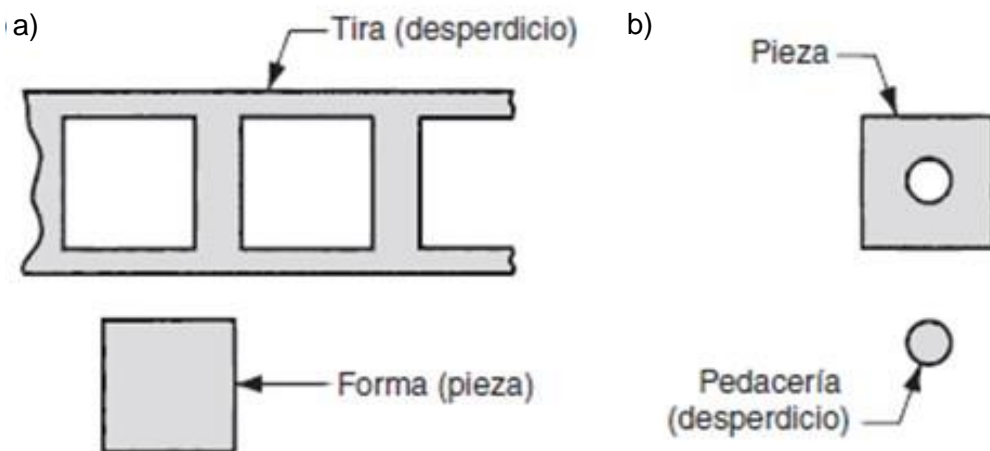


Fig. 1.5. Operaciones de corte: a) Punzonado; y b) perforado [1].

1.6. PARÁMETROS IMPORTANTES EN EL CORTE

Los parámetros importantes a tomar en consideración en el corte de láminas metálicas son:

- ✓ El espacio entre el punzón y la matriz;
- ✓ El tipo de materia y su resistencia; y
- ✓ Longitud del corte.

En una operación de corte, el espacio c es la distancia entre el punzón y el troquel, tal como se presentó en la Fig. 1.2. Los espacios típicos en el prensado convencional están en el intervalo de 4 a 8% del espesor de la lámina del material (t).

Si el espacio es demasiado pequeño (ver, Fig. 1.6a), las líneas de fractura tienden a pasar una sobre la otra, causando un doble bruñido y requiriendo mayor fuerza de corte. Si el espacio es demasiado grande (ver, Fig. 1.6b), los bordes de corte pellizcan el material y da por resultado una rebaba excesiva. En operaciones donde se requieren bordes muy rectos, el espacio es solamente del 1% del espesor del material.

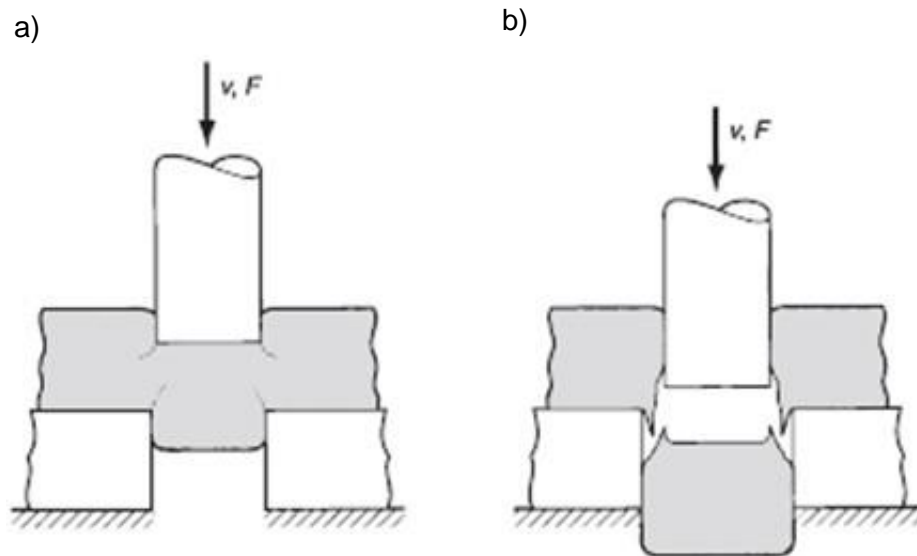


Fig. 1.6. Efecto del espacio: a) Demasiado pequeño ocasiona una fractura poco menos que óptima y fuerzas excesivas; y b) demasiado grande ocasiona rebaba más grande [1].

El espacio correcto depende del material y espesor de la lámina. Este valor es determinado mediante la Ec. 1.1.

$$c = A_c t \quad (1.1)$$

donde:

c es el espacio entre la matriz y el punzón en mm,

A_c es la tolerancia del espacio entre la matriz y el punzón en mm, y

t es el espesor del material en mm.

La tolerancia se determina de acuerdo con el tipo de material y estos materiales se clasifican en tres grandes grupos, con un valor de tolerancia asociado a cada uno, tal como se presenta en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Valor de tolerancias para los tres grupos de láminas metálicas [1].

Grupo metálico	A_c
Aleaciones de aluminio 1100S y 5052S, todos los temple.	0.045
Aleaciones de aluminio 2024 y 606, latón, acero suave laminado en frío, acero inoxidable frío.	0.060
Acero laminado en frío, dureza media; acero inoxidable, dureza media y alta.	0.075

Los valores calculados del espacio mediante esta relación se pueden aplicar al punzonado convencional y a las operaciones de perforado de agujeros para determinar los tamaños del punzón y la matriz adecuados. La abertura de la matriz debe ser siempre más grande que el tamaño del punzón.

1.7. FUERZAS DE CORTE

Las fuerzas presentes durante el proceso de separación representan un parámetro esencial para la prensa y el diseño del troquel.

Los siguientes factores influyen en las fuerzas de corte:

- ✓ La resistencia del material al corte (τ) en MPa,
- ✓ El espesor del material (t) en m,
- ✓ La longitud de corte (L) en m,
- ✓ El desgaste de la herramienta,
- ✓ La calidad de la superficie de la herramienta, y
- ✓ Lubricación.

Los esfuerzos de compresión radial están presentes entre el punzón, la tira metálica y en la matriz. Estos esfuerzos ocasionan fuerzas de fricción, dependiendo de las condiciones de fricción (lubricación, calidad de la superficie del punzón) y de los esfuerzos radiales (dimensiones, materiales, forma de la herramienta), las fuerzas de retracción se pueden asumir con valores de 1 a 40 % de la fuerza de corte. En la Fig. 1.7 se presenta como las fuerzas de corte (F_S) en el punzón se descomponen en una componente horizontal (F_H) y una componente vertical (F_V). La fuerza de corte genera una fuerza de reacción (F_S') en la matriz, la cual también puede descomponerse en una componente horizontal (F_H') y otra vertical (F_V'). Las fuerzas verticales (F_V y F_V') comienzan desde el punzón y la matriz ocasionando esfuerzos de compresión durante el proceso de corte en un área estrecha en la cara del troquel o en la superficie de presión de la matriz. Puesto que ya existe un deslizamiento del material en estas posiciones, resultan fuerzas de fricción, las cuales son las responsables del desgaste de la matriz y el punzón. Debido a la distancia l de las fuerzas verticales, un momento (M) surge en la tira la cual se mantiene en equilibrio para los esfuerzos de doblado y las fuerzas horizontales (F_H). Los esfuerzos de doblado en la tira ocasionan una deflexión en ésta.

En la Fig. 1.8 se presenta la trayectoria de la fuerza de corte. Al inicio del proceso, la tira se deformará elásticamente. Cuando el esfuerzo de cedencia se excede, la fuerza de corte aumenta de forma decreciente, alcanzando su máximo aproximadamente a 30-50% de la trayectoria de corte. Después disminuye hasta el final del corte.

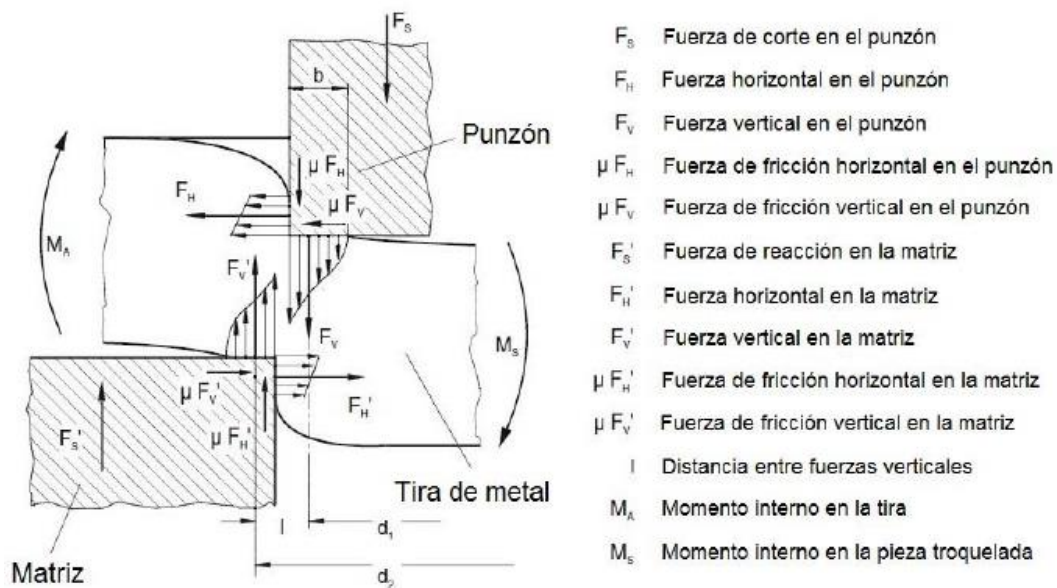


Fig. 1.7. Componentes de las fuerzas presentes en el proceso de corte [12].

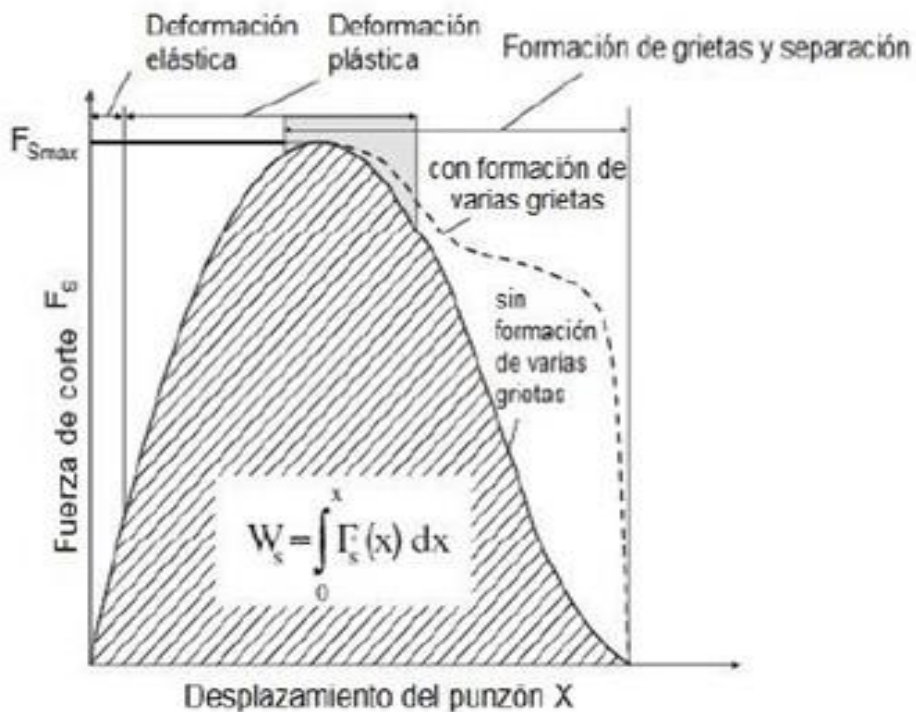


Fig. 1.8. Trayectoria del esfuerzo cortante [12].

La propagación de las grietas ocasiona una rápida reducción en la fuerza de corte. En el caso de que existan varias grietas, uno o más puntos de inflexión

aparecen en la trayectoria de corte después de que se ha alcanzado la máxima fuerza de corte.

1.8. PRENSAS

Las prensas que se usan para el trabajo de láminas metálicas son máquinas herramienta que tienen una cama estacionaria y un pistón (o corredera), el cual puede ser accionado hacia la cama y en dirección contraria para ejecutar varias operaciones de corte y formado. En la Fig. 1.9 se presenta una prensa típica con sus principales componentes.

El armazón establece las posiciones relativas de la cama y el pistón, el cual es accionado mediante fuerza mecánica o hidráulica. Cuando se monta un troquel en la prensa, la porta punzón se fija al pistón y la porta matriz se fija a la placa transversal de la cama de la prensa.

Existen prensas de varias capacidades, sistemas de potencia y tipos de armazón. La capacidad de una prensa es su disposición para manejar la fuerza y energía requerida para realizar las operaciones de troquelado. Ésta se determina por su tamaño físico y por sus sistemas de potencia. El sistema de potencia se refiere a la clase de fuerza que usa, ya sea mecánica o hidráulica, así como al tipo de transmisión empleada para enviar la potencia al pistón. La velocidad de producción es otro aspecto importante de la capacidad. El tipo de armazón de la prensa se refiere a la construcción física de la misma. Existen dos tipos de armazón o estructura de uso común: de escote o de estructura en C y estructura de lados rectos.

Para seleccionar el tipo de prensa a usar en un trabajo dado, se debe de considerar el tipo de operación a desarrollar, tamaño de la pieza, potencia requerida, y la velocidad de la operación. Para la mayoría de las operaciones de punzonado, recortado y desbarbado, se usan generalmente prensas del tipo manivela o excéntrica. En estas prensas, la energía del volante se puede transmitir al eje principal, ya sea directamente o a través de un tren de engranes. La prensa de junta articulada se ajusta idealmente a las operaciones de acuñado,

prensado o forja. Tienen una carrera corta y es capaz de imprimir una fuerza extrema.

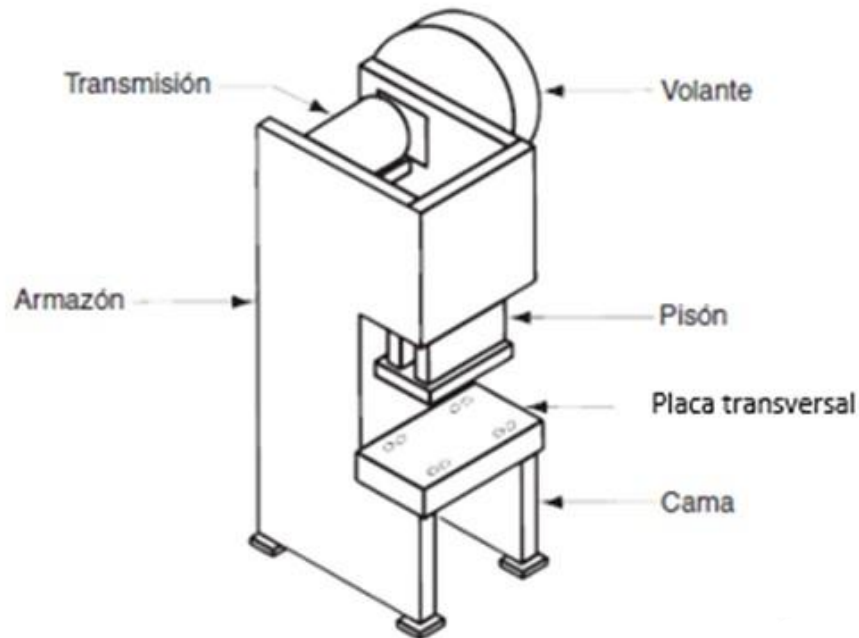


Fig. 1.9. Componentes de una prensa troqueladora accionada por una transmisión mecánica [1].

1.8.1. POTENCIA Y SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

Los sistemas de transmisión de las prensas pueden ser hidráulicos o mecánicos. Las prensas hidráulicas usan grandes cilindros y pistones para mover el pisón. Este sistema de potencia suministra típicamente carreras más largas que las de impulsión mecánica y pueden generar la fuerza de tonelaje completo a través de la carrera entera. Sin embargo, es más lento. Su aplicación a las láminas de metal se limita normalmente al embutido profundo y a otras operaciones de formado donde sus características son ventajosas. Estas prensas disponen de una o más correderas independientes, llamadas de simple acción (corredera simple), doble acción (dos correderas) y así sucesivamente. Las

prensas de doble acción son útiles en operaciones de embutido profundo cuando se requiere un control separado de la fuerza de punzón y la fuerza del sujetador.

En las prensas mecánicas se usan varios tipos de mecanismos de transmisión. Estos incluyen excéntrico, eje cigüeñal y de junta de bisagra como se presenta en la Fig. 1.10. Estos mecanismos convierten el movimiento giratorio del motor en movimiento lineal del pisón. Utilizan un volante para almacenar la energía del motor, que usan posteriormente en las operaciones de estampado. Las prensas mecánicas que utilizan este tipo de transmisión alcanzan fuerzas muy altas al final de su carrera y, por lo tanto, son muy apropiadas para operaciones de forma y punzonado. La junta de bisagra libera fuerzas muy altas cuando está en al final o al fondo y por esa causa se usa frecuentemente en las operaciones de acuñado.

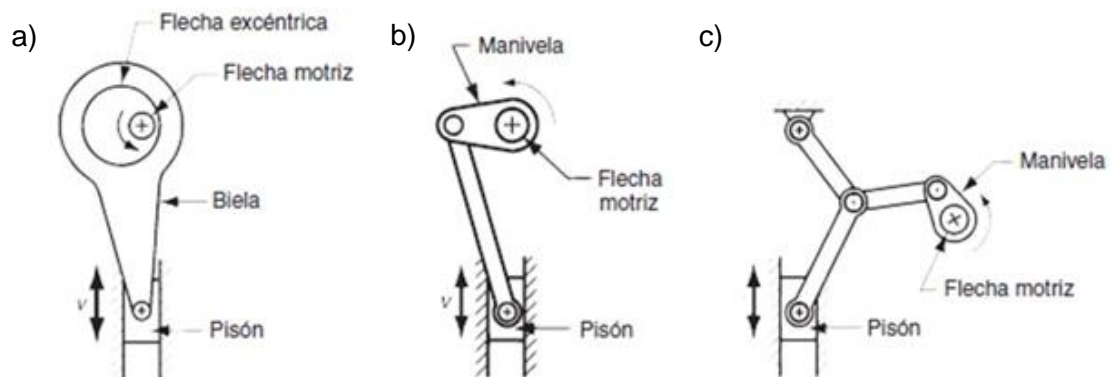


Fig. 1.10. Tipos de transmisión para prensa destinadas al trabajo de metal en láminas: a) Excéntrico; b) cigüeñal; y c) de junta de bisagra [1].

1.9. COMPONENTES BÁSICOS DE UN TROQUEL

Entre los componentes principales de una máquina troqueladora se tiene:

- ✓ Base superior (parte móvil). Tiene la misión de contener en su superficie todas las placas y elementos que sostienen los punzones del troquel, está anclada al martillo o ariete de la prensa, que la inmoviliza y fija durante todo el proceso de trabajo. Ésta conduce el movimiento de la máquina para que

los punzones penetren la matriz y transformen la lámina. Algunos de los elementos que aloja la base superior son: placa porta punzones; punzones de cortar, doblar, embutir, estampar, entre otras operaciones; sufridera superior; bujes guías; placa pisadora; resortes; entre otros.

- ✓ Base inferior (parte fija). Es el elemento sobre el cual están montados todos los componentes que hacen parte de la matriz, y a su vez, está sujeta fuertemente en la bancada de la prensa durante la fase de trabajo. Esta base y los elementos que lleva montados hacen las funciones de apoyo, puesto que recibirán toda la fuerza de transformación que la prensa aplique sobre ella. En La base inferior también se pueden montar las columnas guía que sirven como referencia del centrado entre la parte superior e inferior. Algunos de los elementos que aloja la base inferior son: placa porta matrices o segmentos de cortar, doblar o embutir, reglas guías, sufridera inferior, topes de avances, columnas guía, pernos, entre otros. Para la fabricación, tanto de la base superior como la inferior, se usan placas de hierro fundido o hierro maleable del tipo ASTM A36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas. Estos materiales son tratados térmicamente por temple convencional y tienen una dureza superficial de 55 a 58 Rockwell C (HRC).
- ✓ Sufrideras. La función básica de las placas superior e inferior de choque o sufrideras consiste en absorber sobre su superficie los sucesivos golpes de los elementos en el troquel. Estos impactos se producen cada vez que los punzones transforman la lámina con la matriz. Cuando el punzón impacta contra el material, la resistencia que opone éste es transmitido a la superficie de las sufrideras sobre las que se apoyan las placas porta matriz y porta punzones. Estas placas están construidas en materiales ya templados y que conservan su tenacidad y cohesión, uno muy empleado es el acero SAE 1045 o de mayor dureza como el SAE O1 u O6.
- ✓ Reglas guías. Las reglas guías de banda son uno de los componentes más característicos de las matrices progresivas. Se disponen con el fin de guiar longitudinal y transversalmente las tiras de lámina en su desplazamiento por

- el interior de la matriz. El tratamiento térmico más utilizado para éstas es el templado y revenido o nitrurado, que impide un desgaste prematuro de sus paredes que pueda dificultar el buen deslizamiento de la banda por su interior.
- ✓ Porta punzones. La finalidad de la placa porta punzones es la de alojar y fijar en su interior todos los punzones que lleve la matriz. Estos punzones pueden ser de cualquier tipo o tamaño, pero han de tener una sola característica en común: deben estar firmemente sujetos y guiados en el interior de dicha placa impidiendo que puedan moverse o desprenderse. La placa porta punzones es mecanizada por electroerosión, rectificada y templada, posteriormente. Es construida según la exigencia del troquel con diferentes tipos de aceros, incluyendo SAE 1045 para trabajos de baja y mediana exigencia o de alta calidad y resistencia, como SAE O1, O2, A2, D2, D3 o D6, para aquellas herramientas dedicadas a procesos de alta producción, todos estos materiales que cumplen con las tres propiedades más importantes en la selección de aceros para trabajos en frío: tenacidad, resistencia al desgaste y dureza.
 - ✓ Porta matriz. La placa porta matrices o cajera tiene por misión alojar y posicionar en su interior todos los elementos de pequeñas dimensiones que lleve la propia matriz, de esta manera dichos componentes quedarán ajustados en su interior. El acero se elige según el número de piezas a fabricar, puede ser hierro ASTM A36 o SAE 1045, para grandes producciones se prefieren materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste como el SAE D2, que después de templado puede alcanzar una dureza de 62 a 64 HRC.
 - ✓ Placa pisadora. Durante el movimiento descendente del troquel, la placa pisadora presiona la lámina dejándola inmovilizada antes de que los punzones lleguen a tocarla y mientras penetran el material y lo transforman. Una vez cortada la lámina, la función de la placa es mantener la pieza bien sujeta hasta que los punzones hayan salido de ella, de lo contrario, los punzones la arrastrarían hacia arriba sujeta a ellos con el riesgo de ruptura.

- ✓ Punzones. Los punzones, también conocidos como machos, tienen por objeto realizar las máximas transformaciones en la lámina (cortar, doblar, embutir, acuñar, extrusionar, entre otras), a fin de obtener piezas con una calidad acorde a las medidas requeridas, existen tantos tipos de éstos como variantes del troquelado. Se habla de punzones y no de punzón, porque en general la mayoría de troqueles tienen montados en su interior un gran número de ellos que pueden ser iguales o totalmente diferentes, según la función que desempeñen. En la matricería o troquelería, se cuida con especial atención la fabricación de los punzones, que deben estar perfectamente diseñados y maquinados, muy bien sujetos, acorde a las dimensiones requeridas, con excelentes acabados y un adecuado tratamiento térmico de endurecido. La elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los punzones de corte se emplean materiales de alta resistencia al desgaste y con muy buena conservación del filo, por ejemplo, el SAE D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62 a 64 HRC, por su parte, según recomienda el Centro Tecnológico Ascamm de España, para doblado se debe usar aceros con contenido de níquel, materiales que tienen una alta resistencia al impacto, alta penetración y una dureza superior a 65 HRC.
- ✓ Sistema de guiado. El movimiento de las dos partes más importantes del troquel (bases superior e inferior) necesita ser guiado en todo momento para garantizar una total concentricidad entre ambas. Esta función se deja a cargo de cuatro columnas de guiado que están montadas generalmente en la base inferior y sus respectivos bujes, sistema que se encargan de posicionar y centrar las dos partes del troquel. El sistema de guiado por columna puede ser de dos tipos: el más habitual es por rozamiento, el cual debe estar muy bien lubricado para no forzarlo, el segundo es de rodamientos o canastilla esferada, en el que las columnas están acompañadas por una guía lineal de bolas (cilindros con esferas en su superficie), lo que facilita el desplazamiento, con excelentes ventajas, pues, el movimiento del sistema es

muy ligero, los desgastes por rozamientos son bajos y necesita poca lubricación y mantenimiento.

- ✓ Pilotos centradores. Son elementos que sirven para centrar los troqueles con la lámina y garantizar un desplazamiento correcto entre cada uno de los pasos que realiza la banda. De no ser así se podrían perder los puntos de referencia en común que tendrían las diversas transformaciones y con ello generar desplazamientos del material que ocasionarían irregularidades o defectos en las piezas troqueladas. Generalmente están montados en la placa porta punzones y ajustan en agujeros de la lámina, previamente fabricados, para centrarla o pilotarla, antes que los punzones hagan su trabajo.
- ✓ Varios. Para la construcción y funcionamiento de los troqueles se requiere de una gran variedad de componentes complementarios como, bujes, sujetadores, tornillos de fijación, tornillos de apriete, pernos de transporte, sistemas de amarre y bridas de sujeción, entre otros. Todos ellos forman el complejo sistema del troquelado y se representan en la Fig. 1.11.

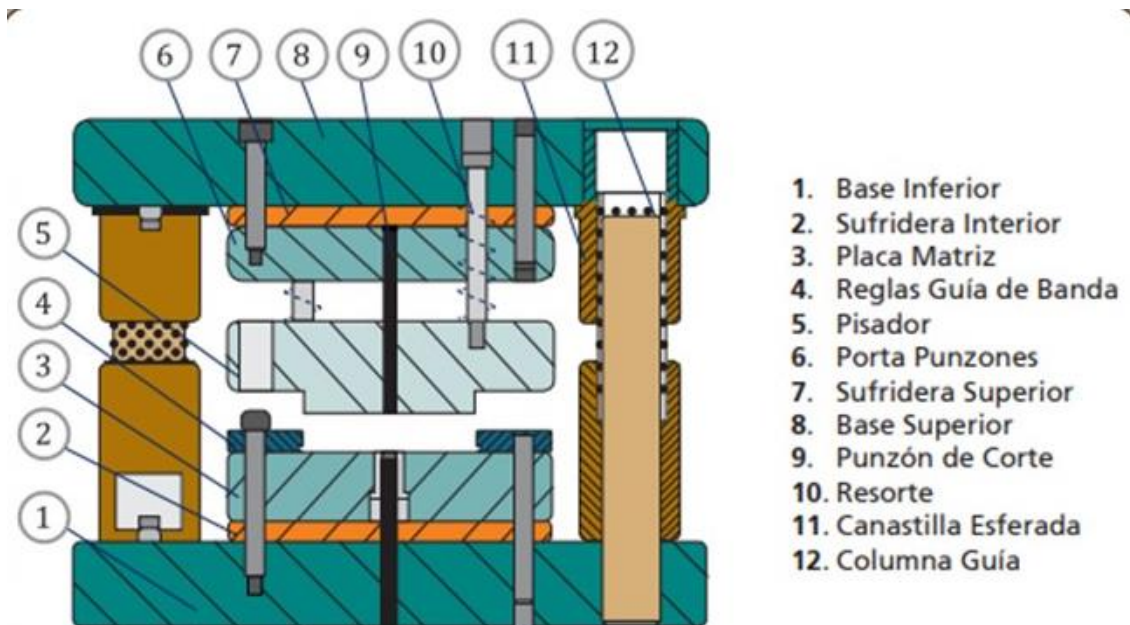


Fig. 1.11. Componentes básicos del troquel [5].

1.10. CLASIFICACIÓN DE LOS TROQUELES

Los troqueles se clasifican según el número de operaciones separadas que la máquina ejecuta en cada acción de la prensa y a como se realizan estas dichas operaciones, estos tipos son: simples, compuestos y progresivos.

1.10.1. SIMPLES (DE UNA ESTACIÓN O UN PASO)

Estos troqueles permiten realizar solamente una operación en cada golpe de la prensa, son de baja productividad y normalmente es necesario el uso de otros troqueles para poder concluir una pieza y considerarla terminada.

Se utilizan para fabricar piezas sencillas como arandelas, accesorios y pequeñas partes para electrodomésticos, en Fig. 1.12 se presenta un troquel simple.

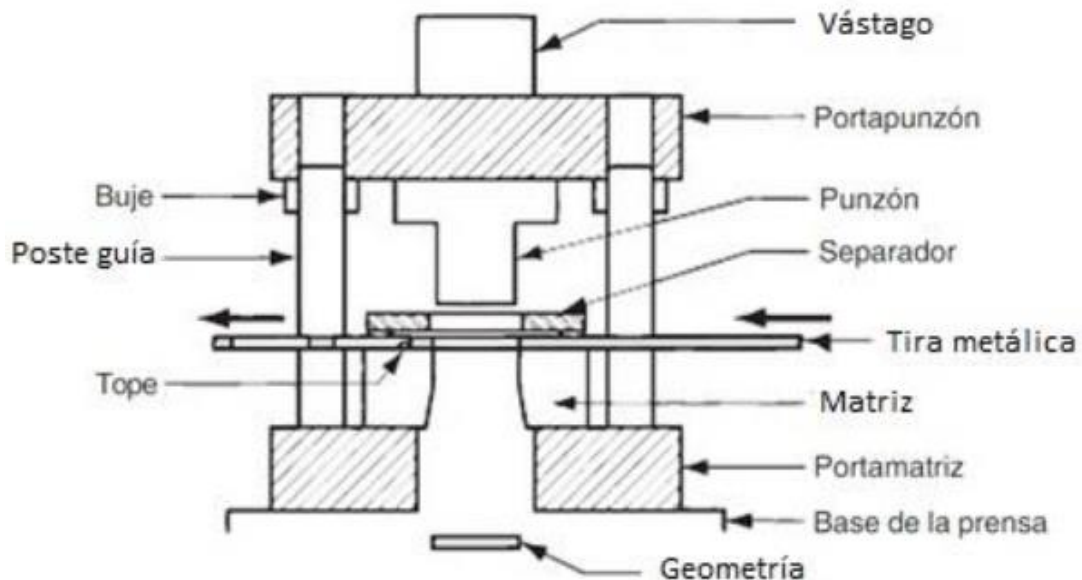


Fig. 1.12. Troquel simple [1].

1.10.2. COMPUESTOS (DE DOS O TRES ESTACIONES O PASOS)

Son herramientas que permiten realizar dos o más operaciones en cada golpe y así agilizar el proceso. Generan mayor productividad y se utilizan para conformar, utensilios de cocina, recipientes, partes de estufas, entre otros.

En la Fig. 1.13 se presenta como los orificios de la pieza se perforan al mismo tiempo que se corta la pieza, en lugar de realizarse en una estación previa, esto genera mayor exactitud en la pieza, cualquiera que sea la exactitud de diseño, esta se duplicará en cada pieza producida por el troquel.

Los troqueles compuestos son troqueles invertidos, el punzón A está fijo a la base en lugar de estar sujeto al brazo de la prensa como en los troqueles convencionales. La matriz B está sujeta al brazo de la prensa y está apoyada por un espaciador C, el cual retiene los punzones.

Debido a que todas las operaciones son realizadas en la misma estación, los troqueles compuestos son más compactos.

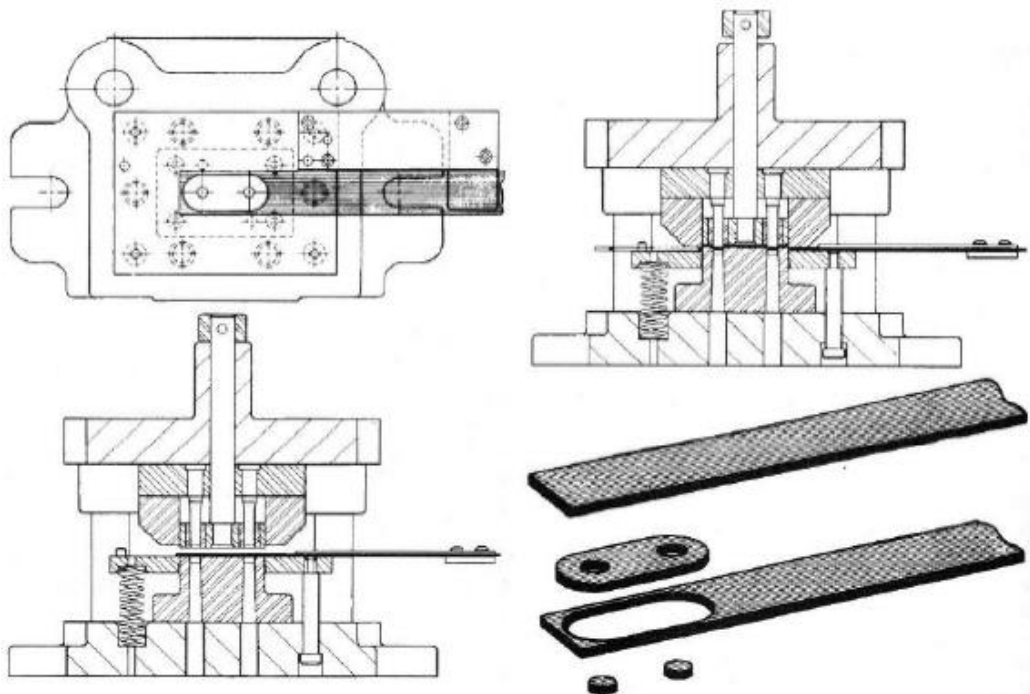


Fig. 1.13. Troquel compuesto [13].

1.10.3. PROGRESIVOS (MÚLTIPLES ESTACIONES O PASOS)

Son troqueles complejos y de gran desarrollo. Llegan a tener decenas de etapas o pasos, en cada uno de ellos se modifica la lámina con una secuencia establecida por el diseñador (secuencia de corte), de tal manera que al final se obtiene una o varias piezas terminadas. En la Fig. 1.14 se presenta un troquel progresivo.

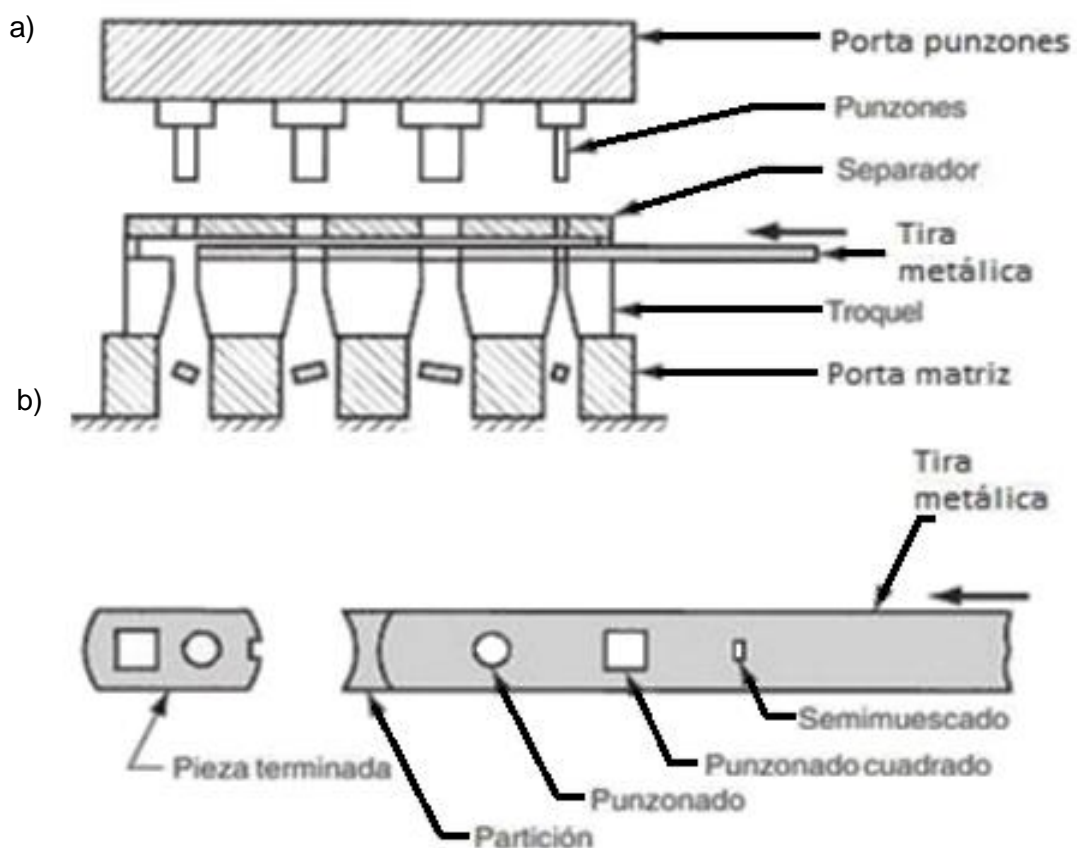


Fig. 1.14. Troquel progresivo: a) Troquel; y b) desarrollo asociado de la tira [1].

En un troquel de corte progresivo, los punzones entran en acción sucesivamente a medida que la lámina avanza a través del troquel. Son altamente productivos, aunque su mantenimiento y operación es más compleja que en los otros casos y requiere de mayor capacitación del personal involucrado, son de alta eficiencia y precisión.

Para asegurar la secuencia en el proceso y lograr el avance requerido de la lámina es muy común el uso de alimentadores automáticos, aunque también existen troqueles progresivos alimentados manualmente, los cuales requieren de topes o cuchillas de avance en diferentes puntos de la guía, lugar donde se detendrá o avanzará el material para garantizar el adecuado posicionamiento de éste con la herramienta.

1.11. MATERIALES DE LOS TROQUELES

Los materiales empleados en la construcción de troqueles deben seleccionarse considerando determinados parámetros, los cuales dependen del tipo de trabajo que se requiera realizar. Un troquel destinado a punzonar piezas de latón de pequeño tamaño, no requerirá de un acero de tan elevada resistencia al desgaste como otro destinado a troquelar acero inoxidable. Así mismo, una matriz destinada solamente a trabajos de embutición, permite el empleo de fundición de hierro o de metales ligeros; dependiendo del volumen de rendimiento que se desee obtener. Sin embargo, los diversos aceros empleados en la construcción de esta clase de troqueles deben ser de alta resistencia al corte, muy estables al temple y de muy bajo índice de deformabilidad. Para cada caso particular de aplicación, el acero se debe seleccionar cuidadosamente. Se pueden indicar, como orientación general, tres aspectos del problema que se deberán tener presentes en la selección de un acero:

- 1) Dimensiones del troquel,
- 2) Tipo de trabajo a realizar, y
- 3) Tipo de material que se troquelará.

El troquelado es un trabajo típico de corte, y siendo efectuado por choque, el acero debe tener una elevada resistencia, entre más complejo sea el perfil de la pieza que se desea obtener, el punzón y la placa matriz tendrán más entrantes y salientes, lo que modifica evidentemente el momento de inercia de estas piezas, y especialmente del punzón. El punzón deberá tener cierta dureza, que mantenga

vivo el filo aun después de cortar un elevado número de piezas para lograr repetitividad en el proceso y reproducibilidad en las dimensiones de las piezas.

Muchos hierros fundidos y diferentes tipos de grados de acero son usados para manufacturar troqueles en la industria.

La selección del material requiere tanto de una evaluación sistemática del material de la herramienta, recubrimientos y tratamientos térmicos, como también considerar los costos como parámetro de evaluación.

Varios estudios sitúan los materiales para herramientas y recubrimientos usando una prueba estándar ampliamente aceptada. Sin embargo, estos estudios no proporcionan una información cuantitativa con respecto a la vida de la herramienta bajo las condiciones prácticas de troquelado. Existe un número de publicaciones de estudios comparativos de desgaste, pero no muchos de ellos usan aceros especiales de alta dureza como material a procesar.

Los estudios de puntos de referencia dan una comparación numérica de la vida de la herramienta (número de partes troqueladas) por cierto material y recubrimiento. Los estudios se realizaron hasta que en la lámina troquelada son visibles rasguños y defectos.

Para la fabricación, tanto la base superior como la inferior, se usan placas de fundición o acero del tipo ASTM A36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas. Los materiales son tratados térmicamente por temple convencional y tienen una dureza superficial de 55 a 58 HRC.

Para la matriz el acero se elige según el número de piezas a fabricar, puede ser acero ASTM A36 o SAE 1045, para grandes producciones se prefieren materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste como el SAE D2 (alto carbono, alto cromo), que después de templado y revenido puede alcanzar una dureza de 62 a 64 HRC, todos estos materiales que cumplen con las tres propiedades más importantes en la selección de aceros para trabajos en frío: tenacidad, resistencia al desgaste y elevada dureza como ya se mencionó anteriormente de que orden en magnitud.

En la Fig. 1.15 se presenta un ejemplo de troquel fabricado con materiales de alta dureza.

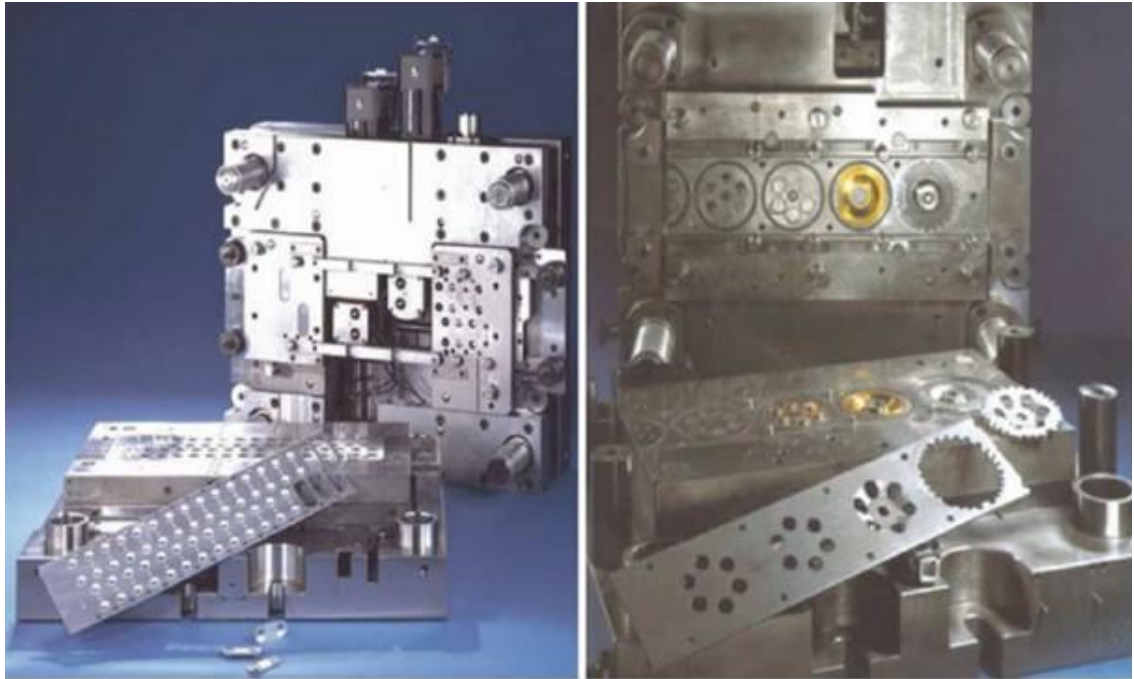


Fig. 1.15. Ejemplos de troqueles compuestos fabricados con aceros de alta dureza y resistencia [13].

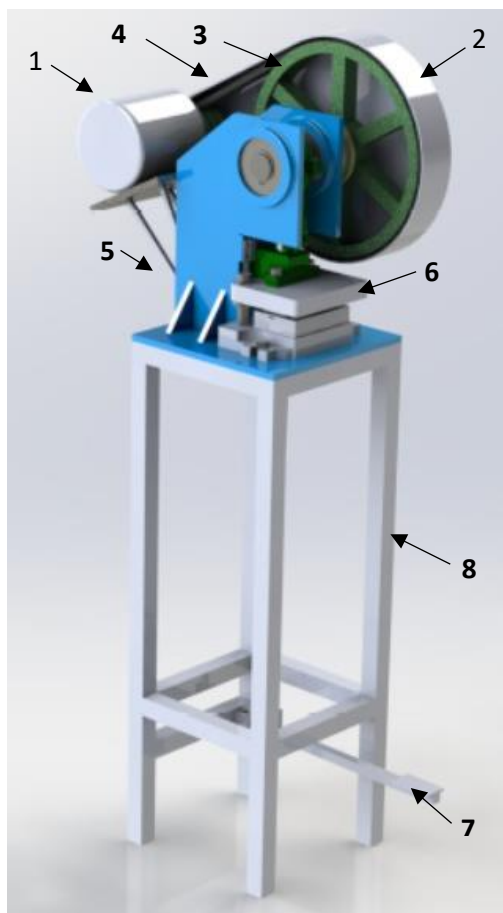
En los punzones, la elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los punzones de corte se emplean materiales de alta resistencia al desgaste y con muy buena conservación del filo, por ejemplo, el SAE D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62 a 64 HRC.

Habiendo realizado la descripción correspondiente al proceso de troquelado, las diferentes operaciones que se llevan a cabo con el mismo y describir lo que es el funcionamiento de la máquina y los distintos componentes de la misma, se procederá a realizar el proceso de una propuesta de diseño de una máquina troqueladora de probetas planas para ensayos de tracción.

2. DISEÑO DE MÁQUINA TROQUELADORA

En este capítulo se desarrollará la propuesta de diseño de los elementos principales de una máquina troqueladora. Se calcularán las dimensiones del dispositivo matriz-troquel, así como también se seleccionarán los materiales con los que se construirán dichas piezas.

Además, se realizará el diseño de la transmisión mecánica que accionará la máquina. Este sistema constará de un motor eléctrico que será el encargado de proporcionar la potencia requerida por el sistema, así esta potencia será transmitida por medio de un sistema banda-polea hacia el eje donde se encuentra instalado el punzón donde está ensamblado el troquel. En la Fig. 2.1 se presenta la propuesta de diseño de la máquina troqueladora.



1. Motor eléctrico,
2. Guarda de polea,
3. Polea,
4. Bandas,
5. Estructura del troquel,
6. Troquel,
7. Pedal, y
8. Base de troqueladora.

Fig. 2.1. Esquema en 3D de la propuesta de troqueladora.

2.1. FUERZA REAL DE LA PRENSA

La fuerza real de la prensa es con la que se dimensionará la troqueladora, así para encontrar el valor de esta fuerza es necesario tomar en consideración el rendimiento deseado de la máquina. La fuerza real se obtiene con la Ec. 2.1, así:

$$F_{real} = \frac{F_{ef}}{\eta} \quad (2.1)$$

donde:

F_{real} es la fuerza real de la troqueladora en N,

F_{ef} es la fuerza efectiva para el trabajo de la prensa en N, y

η es el rendimiento de la troqueladora, en nuestro diseño esperamos obtener un 80% de eficiencia.

2.2. FUERZA EFECTIVA PARA EL TRABAJO DE PRENSA

Para el diseño de la transmisión mecánica de la troqueladora, se necesita calcular la fuerza necesaria para llevar a cabo el proceso de troquelado de la pieza que se desea obtener; por lo tanto, para calcular la fuerza efectiva para el trabajo de la prensa se utilizará la Ec. 2.2, así:

$$F_{ef} = F_c + F_{ext} + F_{exp} \quad (2.2)$$

donde:

F_{ef} es la fuerza efectiva para el trabajo de la prensa en N,

F_c es la fuerza de corte en N,

F_{ext} es la fuerza de extracción del punzón una vez cortada la chapa en N, y

F_{exp} es la fuerza de expulsión de la pieza que queda alojada en la matriz en N.

2.3. FUERZA DE CORTE

Se define como la fuerza necesaria para poder separar una parte de material de una pieza que comúnmente es una chapa o pletina. Esta fuerza es directamente proporcional al coeficiente de resistencia de cizalladura del material, al perímetro de corte y a su espesor, por lo cual se utilizará la Ec. 2.3, así [7]:

$$F_c = K_e * p * e \quad (2.3)$$

donde:

F_c es la fuerza de corte en N,

K_c es el coeficiente de resistencia de cizalladura del material N/mm²,

p el perímetro de corte mm, y

e es el espesor de la chapa en mm.

En la Tabla 2.1 se presenta los coeficientes de resistencia de cizalladura de algunos materiales. Así, en este diseño se tomará el coeficiente de cizalladura del aluminio en estado de recocido.

Tabla 2.1. Coeficientes de resistencia de cizalladura de algunos materiales [7].

Material	Estado	
	Blando o recocido	Crudo o duro
Acero con 0.1% de carbono	245	313
Acero con 0.2% de carbono	313	392
Acero con 0.3% de carbono	353	470
Acero con 0.4% de carbono	441	549
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

En una matriz que tenga varios punzones la fuerza total de corte es el resultado de la suma de las fuerzas de corte de cada uno de sus punzones; así en este trabajo de graduación la matriz sólo contara con un punzón.

En la Fig. 2.2 se presenta las dimensiones de la probeta plana, las cuales son necesarias para obtener el perímetro de la pieza.

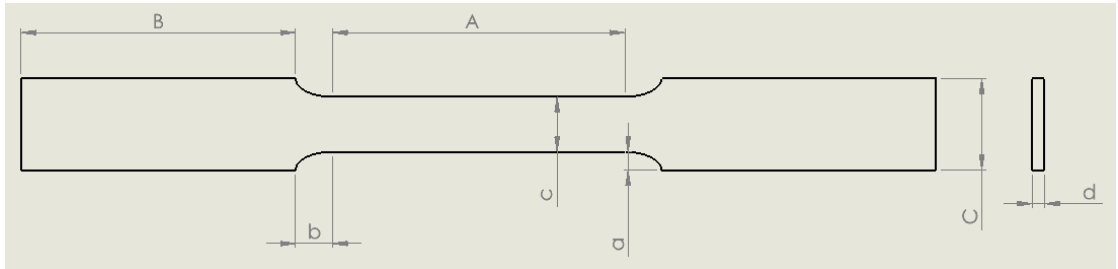


Fig. 2.2. Esquema y dimensiones de la probeta. $A = 32 \text{ mm}$, $a = 2 \text{ mm}$, $B = 30 \text{ mm}$, $b = 4 \text{ mm}$, $C = 20 \text{ mm}$, $c = 6 \text{ mm}$ y $d = 1 \text{ mm}$.

Cálculo de propiedades geométricas de la probeta

Para calcular el perímetro de la pieza de la Fig. 2.2 se tiene:

$$P = (4B + 2A + 2C) + 4 \left(2\pi \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{2}} \right)$$

Sustituyendo valores tomados de la Fig. 2.2 se obtiene:

$$P = 4(30) + 2(32) + 2(10) + 4 \left(2\pi \sqrt{\frac{2^2 + 4^2}{2}} \right)$$

$$P = 283.47 \text{ mm.}$$

Cálculo del área de la probeta:

$$Area = (B + 2a + A)(C) - 2(A * b) - 4 \left(\frac{\pi * b * a}{4} \right)$$

$$Area = (100 * 10) - 2(32 * 4) - 4 \left(\frac{\pi * 4 * 2}{4} \right)$$

$$Area = 846.86 \text{ mm}^2.$$

Además, de la Tabla 2.1 se selecciona el valor del coeficiente de cizalladura para un aluminio blando o recocido $K_c = 80 \text{ N/mm}^2$.

Así, sustituyendo en la Ec. 2.3 se obtiene la fuerza de corte en función del espesor, la cual queda:

$$F_c = 80 * 283.47 * e$$
$$F_c = 22677.6 * e \text{ N/mm.}$$

2.4. FUERZA DE EXTRACCIÓN DEL PUNZÓN

La fuerza que se requiere para separar el punzón de la chapa adherida, ya realizado el corte, 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 (ver, Ec. 2.4) sobre la fuerza de corte del perímetro a cortar, así [7]:

$$F_{ext} = x\% * F_c \quad (2.4)$$

donde:

F_{ext} es la fuerza de extracción en N,

$x\%$ es un coeficiente porcentual que oscila entre el 2 y 7%, el cual depende del tipo de corte realizado, y

F_c es la fuerza de corte en N.

En la Tabla 2.2 se presenta los coeficientes 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, para este caso se elige un valor porcentual de 4%.

Sustituyendo en la Ec. 2.4 se calcula la fuerza de extracción es función del espesor del material a ser cortado, así:

$$F_{ext} = 22677.8e * 4\%$$
$$F_{ext} = 907.112 e.$$

Tabla 2.2. Coeficiente para el cálculo de la fuerza de extracción de la chapa [11].

Valor (x), %	Circunstancia de corte
2	Cuando el material circundante a la figura es mínimo, pudiendo éste abrirse o expandirse, separándose casi por sí sólo del punzón. También, en operaciones de muescado o en cortes abiertos en el extremo de una chapa.
4	Cuando la pieza 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 sujetado al punzón. También, en el caso de corte interior o punzonado de figuras irregulares, con formas entrantes y salientes.

2.5. FUERZA DE EXPULSIÓN

La adherencia por expansión o por rozamiento del troquel al interior de la matriz representa un esfuerzo que se denomina fuerza de expulsión y es igual a un 1.5% de la fuerza de corte y se calcula mediante la Ec. 2.5, así [7]:

$$F_{exp} = 1.5\% * F_c \quad (2.5)$$

donde:

F_{exp} es la fuerza de expulsión N, y

F_c es la fuerza de corte N.

Sustituyendo la fuerza de corte que está dada en función del espesor del material, en la Ec. 2.5, se obtiene:

$$F_{exp} = 22677.8e * 0.015$$

$$F_{exp} = 340.167e.$$

Así, sustituyendo en la Ec. 2.2 se obtiene la fuerza efectiva para el trabajo de la prensa en función del espesor del material:

$$F_{ef} = 22677.6e + 907.112e + 340.167e$$

$$F_{ef} = 23924.279e.$$

Luego, sustituyendo en la Ec. 2.1, la fuerza efectiva y trabajando con una eficiencia de 80% y una carga de 4 Toneladas especificada anteriormente, con ello se calcula el espesor máximo con que se puede trabajar en las chapas de aluminio, así:

$$4T = 4 * 9806.65$$

$$F_{real} = 39226.6 N$$

$$39226.6 = \frac{23924.279e}{0.80}$$

Así, se obtiene el espesor de la lámina de trabajo:

$$e = 1.31 \text{ mm.}$$

2.6. 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 [7], para conseguir un perfil que no contenga rebabas se tomó en consideración el valor de tolerancia para el aluminio ($K_c = 80 \text{ N/mm}^2$) el cual se estiman que está entre 8 y 12% (ver, Ec. 2.6), así:

$$Tolerancia = e * 12\% \tag{2.6}$$

Sustituyendo en la Ec, 2.6 el valor del espesor de la pieza que se desea obtener y multiplicándolo por el 12 %, se obtiene:

$$Tolerancia = 1.31 * 0.012$$

$$Tolerancia = 0.01572 \text{ mm.}$$

Una vez calculada la tolerancia se aplica dependiendo si el corte es exterior o interior. Así, para cortes exteriores se toma a la matriz con la medida nominal y el punzón es quien deberá tener la reducción de tolerancia (ver, Ec. 2.6 – 2.7):

$$M_{matriz} = M_{nominal} \quad (2.7)$$

$$M_{punzon} = M_{nominal} - Tolerancia \quad (2.8)$$

2.7. DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE PIEZAS

Esta distancia debe garantizar rigidez de la tira de metal, también se debe proveer suficiente metal para que el corte sea correcto, sin que la forma de una interfiera con la forma de la siguiente, caso contrario el resultado sería unas probetas defectuosas, si se tiene una separación muy grande se desperdicia material y esto influye en costos, la separación entre piezas se calcula mediante la Ec. 2.9 [7]:

$$a = 1.5 e \quad (2.9)$$

donde:

a es la separación entre piezas mm, y

e es el espesor del material en mm.

Sustituyendo en la Ec. 2.10 y tomando en consideración que debe ser mayor o igual a 1 mm, se obtiene:

$$a = 1.5 * 1.31$$

$$a = 1.965 \text{ mm.}$$

2.8. 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 Ec. 2.10 [7]:

$$b = 1.5 * e \quad (2.10)$$

donde:

b es la separacion entre piezas y borde en mm, y

e es el espesor del material en mm.

Sustituyendo en la Ec. 2.10, se obtiene:

$$b = 1.5 * 1.31$$

$$b = 1.965 \text{ mm.}$$

Además, para el ancho del fleje (b_f) se utiliza la Ec. 2.11:

$$b_f = 2 * b + h_{pieza} \quad (2.11)$$

donde:

b_f es el ancho del fleje en mm,

b es la separación entre piezas y borde en mm, y

h_{pieza} es la altura en mm.

2.9. PASO O AVANCE

Se considera paso a la distancia que existe 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 (P) puede calcularse mediante la Ec. 2.12:

$$P = a + a_{pieza} \quad (2.12)$$

donde:

P es el paso del material en mm,

a es la separación en mm, y

a_{pieza} es el ancho de la pieza en mm.

Sustituyendo en la Ec. 2.12, se tiene:

$$P = 1.915 + 10$$

$$P = 11.915 \text{ mm.}$$

2.10. ESFUERZO

El esfuerzo es la distribución de fuerzas a través del área de la pieza a cortas. La distribución de fuerza la cual actúa sobre un punto en su superficie es única. Para calcular el esfuerzo se utiliza la Ec. 2.13, así:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.13)$$

donde:

σ es el esfuerzo en N/mm²,

F es la fuerza ejercida perpendicular al área en N, y

A es el área de la pieza a cortar en mm².

El área a cortar se calcula a partir de la Fig. 2.2 de la siguiente manera:

$$A = (100 * 10) - (32 * 4) - 4 \left(\frac{\pi * 4 * 2}{4} \right)$$

$$A = 846.86 \text{ mm}^2.$$

Sustituyendo el área de la pieza a cortar y la carga real de 4 toneladas en la Ec. 2.13, se determinará el esfuerzo, así:

$$\sigma = \frac{4 \text{ ton} * \frac{9806.65 \text{ N}}{1 \text{ T}}}{846.86 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 46.36 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 46.36 \text{ MPa}.$$

Luego, El factor de seguridad es esencial en el cálculo, ya que con este se puede verificar el material a utilizar en la matriz y el punzón, para el cálculo de este se utilizará la Ec. 2.14. En este caso se estará utilizando un acero SAE 1045 con una resistencia a la tracción de 570 MPa, dato obtenido de Tabla 2.3.

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma}{f_s} \quad (2.14)$$

donde:

$\sigma_{admisible}$ es el esfuerzo admisible del material en N/mm²,

σ es el esfuerzo, encontrado con la fuerza máxima N/mm², y

f_s es el factor de seguridad, este debe ser igual o menor a 2.5 para evitar riesgo de falla.

Sustituyendo en la Ec. 2.14, se obtiene:

$$f_s = \frac{46.36}{570}$$

$$f_s = 0.081.$$

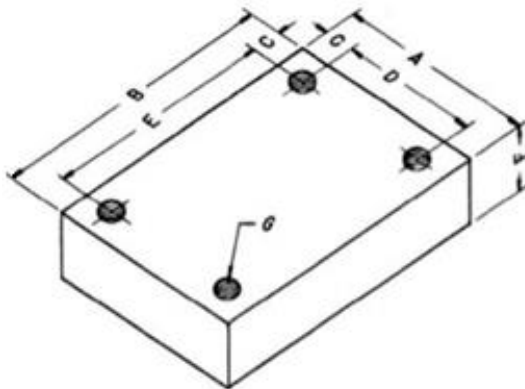
Así, dado que $0.081 \leq 2.5$ la relación se cumple, por lo tanto, no habrá riesgo de falla en la matriz o punzón.

2.11. DIMENSIONAMIENTO DE MATRIZ

Para el dimensionamiento de la matriz se tomará como base valores estandarizados para matriz y estos valores se encuentran en la Tabla 2.3, los cuales se presentan en la Fig. 2.3.

Tabla 2.3. Tamaños sugeridos de matrices estandarizados, unidades en pulg [14].

A	B	C	D	E	F	G
3.00	3 ½	3 ½	1 ¾	2 ¼	15/16	#1 (.272) taladrar, 5/16-24
3.00	5	5/8	1 ¾	3 ¾	15/16	#1 (.272) taladrar, 5/16-24
4.00	4	5/8	2 ¾	2 ¾	15/16	#1 (.272) taladrar, 5/16-24
4.00	5	5/8	2 ¾	2 ¾	15/16	#1 (.272) taladrar, 5/16-24
4.00	6	5/8	2 ¾	4 ¾	15/16	#Q (.332) taladrar, 3/8-24
5.00	5	3/4	3 ½	3 ½	15/16	#Q (.332) taladrar, 3/8-24
5.00	6	3/4	3 ½	4 ½	15/16	#Q (.332) taladrar, 3/8-24



- A. Ancho,
- B. Largo,
- C. Distancia de la orilla de la matriz al centro de los barrenos,
- D. Distancia entre barrenos en el ancho de la matriz,
- E. Distancia entre barrenos en el largo de la matriz,
- F. Espesor de la matriz, y
- G. Diámetro del agujero para el barreno.

Fig. 2.3. Esquema de dimensiones estándar para matriz.

El espesor de la tira de aluminio es de 1.31 mm, calibre #18 ~0.0478 pulg. Así, al entrar con este valor de espesor de la lámina a la Tabla 2.3 se obtiene:

$$A = 0 - \frac{1}{16} \text{ pulg.}$$

Además, dado que B es igual a 15/16 pulg, se utilizará un valor de 1 pulg debido a que es lo más aproximado a 15/16 pulg y es un espesor estandarizado por los fabricantes de materiales. También, C es igual a 1.4062 pulg (35.72 mm).

Por lo tanto, el tamaño de la matriz se calcula de la siguiente manera:

Largo:

$$\begin{aligned} & \text{largo de la cavidad} + 2C \\ & 3.94 + 2(1.4062) = 6.75 \text{ pulg (171.45 mm)} \end{aligned}$$

Ancho:

$$\begin{aligned} & \text{Ancho de la cavidad} + 2C \\ & 0.394 + 2(1.4062) = 3.21 \text{ pulg (81.53 mm)} \end{aligned}$$

Para la ubicación de los barrenos de sujeción, que son pernos Allen se retoma lo estandarizado en la Fig. 2.3, con los datos obtenidos se aproxima a las medidas $A = 5 \text{ pulg (127 mm)}$ (ancho) y $B = 6 \text{ pulg (152.4 mm)}$ (largo), la cual indica que la distancia de la orilla de la matriz al centro de los barrenos (C) es igual a $\frac{5}{8} \text{ pulg (15.88 mm)}$, por lo tanto los pernos tendan un diámetro de $\frac{1}{4} \text{ pulg (6.35 mm)}$, además de estos se tienen dos pernos de registro que sirven para colocar en el lugar correcto la matriz en casos de mantenimientos.

En el mismo sentido es de suma importancia calcular el espacio angular, con el fin de que las formas o el pedacero caigan a través del troquel (ver, Fig. 2.4), la abertura de éste debe tener un espacio angular entre 0.25° y 1.5° de cada lado. Así, en este caso se selecciona un espacio angular de 1° .

En la Fig. 2.5 se presenta el diseño en 3D de la matriz, con sus respectivas medidas, y con la forma establecida de la pobreta, además se aplica en esta el espacio angular o ángulo de salida.

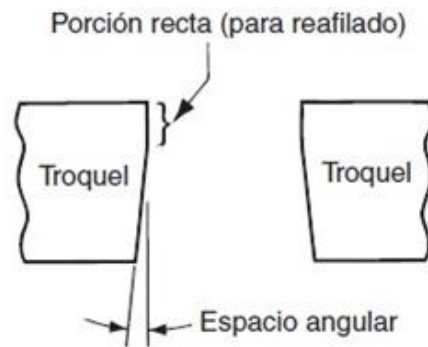


Fig. 2.4. Espacio angular del troquel [1].

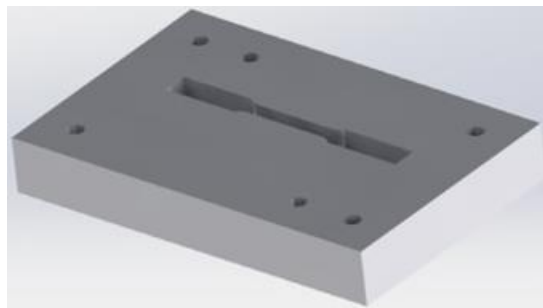


Fig. 2.5. Diseño de la matriz en 3D.

2.12. PUNZÓN DE CORTE

El cálculo de las dimensiones y el material del troquel son de suma importancia para obtener piezas de calidad, estos se calculan de la siguiente manera:

➤ Claro o espacio

Un factor muy importante debe ser considerado para las dimensiones del troquel: el correcto claro entre punzones y matrices. Para obtener piezas sin defectos de la tira metálica, debe haber exactamente el espacio correcto entre la orilla del punzón y la orilla de corte de la matriz. Si existen distancias pequeñas, las pérdidas en potencia serán excesivas para operar la prensa. También, cuando el punzón penetra la tira, las pequeñas fracturas que se originan por

ambas partes, tanto del punzón como la matriz, no se unirán, y aparecerán bordes irregulares en la pieza cortada, o en el interior de un orificio punzonado.

La distancia excesiva en el claro estirará la pieza y producirá, largas y fibrosas rebabas alrededor de la orilla. La aplicación de un claro correcto resultará en una pieza libre de rebabas, y con la mayor extensión posible de la orilla pulida. El claro correcto depende del material, de su grado de dureza y de su espesor.

En la Tabla 2.4 se presenta las constantes de materiales para los cuales se calcula el claro. La Ec. 2.15 detalla que el claro es igual al espesor del material dividido entre la constante:

$$C = \frac{e}{k} \quad (2.15)$$

donde:

C es el espacio en mm,

e es el espesor de la lámina en mm, y

k es la constante del material en kPa.

Tabla 2.4. Constante de algunos materiales [14]

Constantes para varios materiales	
Material	Constante, kPa
Cobre	21
Latón	20
Acero suave	17
Acero mediano	16
Bronce	16
Acero duro	14
Acero inoxidable	12.5
Acero suave y mediano (arriba de ¼ pulg de espesor)	10
Aluminio (hasta 1/8 pulg de espesor)	10
Aluminio (arriba de 1/8 pulg de espesor)	8

El claro se aplica al punzón o a la matriz tal como se presenta en la Fig. 2.6, pero nunca a ambos. Para poder determinar este parámetro se tienen unas reglas por seguir:

- ✓ Cuando se punzona y la pieza obtenida se desecha como desperdicio, el punzón debe tener la medida de la perforación deseada, en este caso, el claro se aplica a la matriz.
- ✓ Cuando la pieza que se produce es la requerida, y la tira de la cual se removió es el desperdicio, la apertura de la matriz es maquinada a la medida de la pieza, y el claro se aplica al punzón.

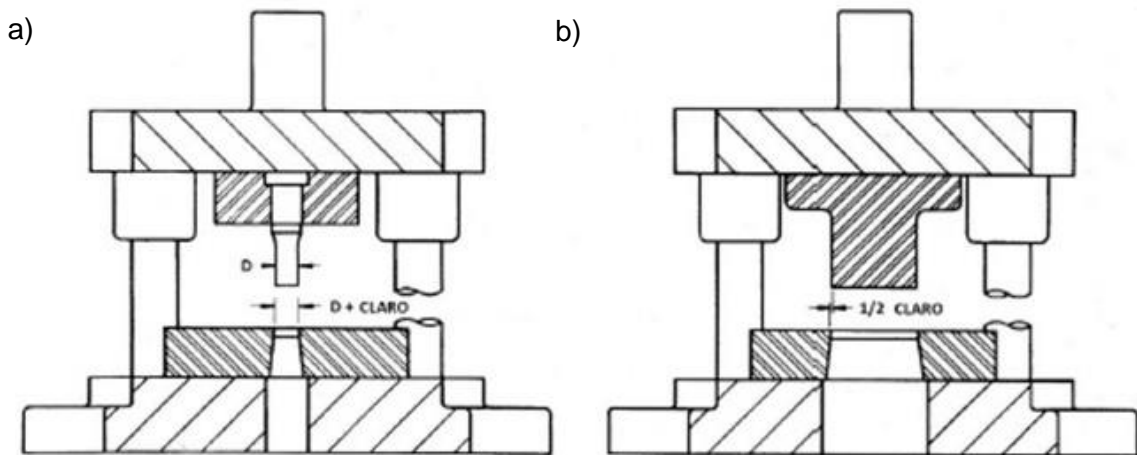


Fig. 2.6. Claro aplicado al punzón o matriz: a) Tolerancia de claro en el punzón; y b) Tolerancia de claro en la matriz [14].

➤ Cálculo del claro del punzón

Se procede a realizar el cálculo del claro del punzón sustituyendo valores en la Ec. 2.15, el espesor de la lámina 1.29 mm (0.051 pulg) y la constante del material $k = 14 \text{ kPa}$:

$$C = \frac{1.29 \text{ mm}}{14 \text{ Kpa}} = 0.09 \text{ mm.}$$

La vida útil del punzón es uno de los parámetros más importantes, este se refiere al espesor que tiene la forma de la pieza a troquelar, para el diseño de este parámetro se deben de tener en consideración algunas dimensiones de otros elementos como lo es el pisador, esto para evitar algún tipo de interferencias en el proceso, ya que como primer paso se debe de encontrar el

espesor mínimo que debe de tener la vida útil para poder hacer contacto la tira metálica. A partir de esto se pueden tomar los respectivos parámetros de diseño que afectarían la vida útil del punzón, principalmente el desgaste, y rectificandos que puedan ser efectuados sobre este.

Tomando en consideración que el uso principal de la maquina será para uso didáctico, la frecuencia de uso, el número de piezas a troquelar y el espesor de la tira metálica, por lo tanto, el desgaste se reduciría alargando la vida útil, siendo así se pueden tomar valores no tan altos de vida útil. Siendo así una vida útil mínima de 5 milímetros para que el punzón haga contacto con la tira metálica, y teniendo un desgaste mínimo, la vida útil de este punzón sería de 10 mm, teniendo un total de 15 mm.

Prosiguiendo con el diseño el ancho 120 mm, ya que la zona activa presenta un ancho de 100 mm, en el diseño del punzón se tomará en consideración las medidas obtenidas del claro. El punzón contara con dos pernos Allen de 6.35 mm ($\frac{1}{4}$ pulg) para brindarle la sujeción necesaria con la porta punzón y dos pernos de registro.

2.13. PISADOR

El diseño se realizó de tal manera que no exista interferencia con otros elementos. La cavidad se dibujó a partir de la geometría original, es decir la probeta, usando una holgura para ensamble mecánico de 0.80 mm ($\frac{1}{32}$ pulg), dato obtenido de la Tabla 2.5 y cuyo esquema está representado en la Fig. 2.7. Las medidas del pisador están relacionadas con la de la matriz; por lo tanto, el ancho y largo de esta son los mismos, el espesor es de 6.35 mm (0.25 pulg), la holgura para el pase de la tira se obtiene mediante el espesor de la tira, por lo tanto, de la Tabla 2.6 se presenta un espacio de 3.18 mm ($\frac{1}{8}$ pulg) y su esquema se presenta en la Fig. 2.8.

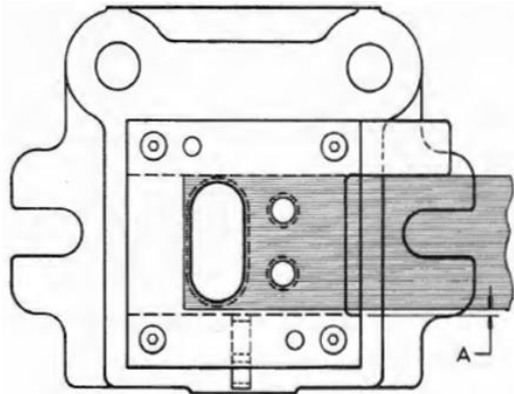


Fig. 2.7. Vista de planta de una tira [12].

Tabla 2.5. Distancia entre bordes de la matriz y tira.

Distancia entre borde, pulg	A, pulg	B, pulg
0 a 1/16	1/16	1/32
1/16 a 1/8	3/32	1/32
1/8 a 3/16	1/8	1/32
3/16 a 1/4	5/32	1/32
Sobre 1/4	3/16	1/32

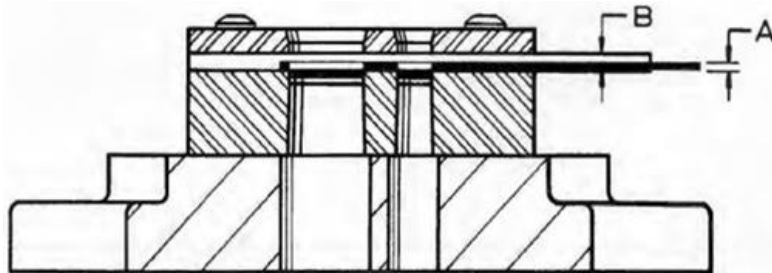


Fig. 2.8. Vista frontal para los espesores de la cavidad de la matriz [14].

Tabla 2.6. Valores recomendados para el espesor de la cavidad.

Espesor de la tira (A), pulg	Espacio frontal de la tira (B), pulg
0 a 1/16	1/8
1/16 a 1/8	3/16
1/8 a 3/16	1/4
3/16 a 1/4	5/16
1/4 a 5/16	3/8

En la Fig. 2.9 se presenta el diseño del pisador a utilizar en la máquina troqueladora.

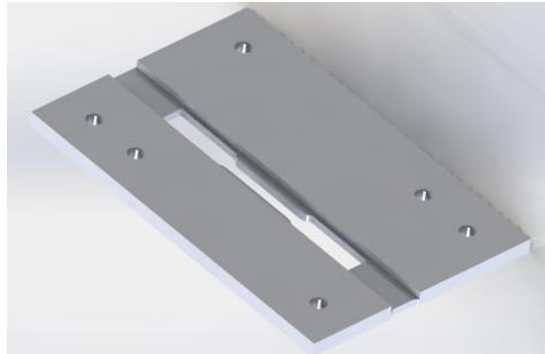


Fig. 2.9. Diseño en 3D del pisador.

2.14. PUNZÓN

Las proporciones más usadas en los punzones de mediano tamaño según la Fig. 2.10 son: A es la altura total $1 \frac{5}{8}$ pul, B es el espesor de la placa, y C es una variable que en este tipo de punzón no es necesario diseñar.

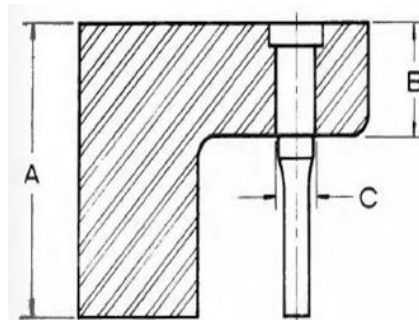


Fig. 2.10. Proporciones típicas de un punzón [14].

2.15. PORTA TROQUEL Y PORTA MATRIZ

En la Tabla 2.7 se presenta las medidas importantes para el dimensionamiento de los porta troquel y porta matriz, en la cual se consideró el tonelaje con el que trabajara la máquina. En este caso el tonelaje real es de 4

toneladas, por lo tanto, los espesores del porta punzón y del porta matriz son 31.75 y 38.1 mm (1 ¼ y 1 ½ pulg), respectivamente.

Tabla 2.7. Valores específicos de la porta matriz y porta punzón [14].

Medidas del punzón		Diámetro del punzón, pulg	Diámetro menor, pulg	Fuerza, t	
A	B	C	D		
15	10	1 ¼	1 ½	0	10
30	20	1 ¾	2	10	30
45	30	2	2 ¼	30	50
60	40	2 ½	3	50	70
75	50	3	3 ½	70	90
90	60	3 ½	4	90	110
105	70	4	4 ½	110	130
120	80	4 ½	5	130	150
135	90	5	5 1/2	150	200

2.16. TRANSMISIÓN MECÁNICA

Los elementos de máquinas elásticos o flexibles como bandas, cables, cadenas y otros similares se emplean en los sistemas de transporte y para transmitir potencia a distancias comparativamente largas. Con frecuencia, estos elementos se usan como reemplazos de engranes, ejes, cojinetes y otros dispositivos de transmisión de potencia relativamente rígidos. En muchos casos su empleo simplifica el diseño de una máquina y reduce en gran medida el costo.

Además, puesto que estos elementos son elásticos y suelen ser bastante largos, tienen una función importante en la absorción de cargas de impacto y en el amortiguamiento y aislamiento de los efectos de las vibraciones, lo que es una ventaja importante para la vida de la máquina.

La transmisión mecánica que se diseña, se realiza por medio de bandas por lo cual se realiza el análisis para calcular el tipo de banda, la cantidad y su longitud.

En la Fig. 2.11 se presenta un esquema en donde se representan los factores geométricos involucrados en la transmisión por bandas.

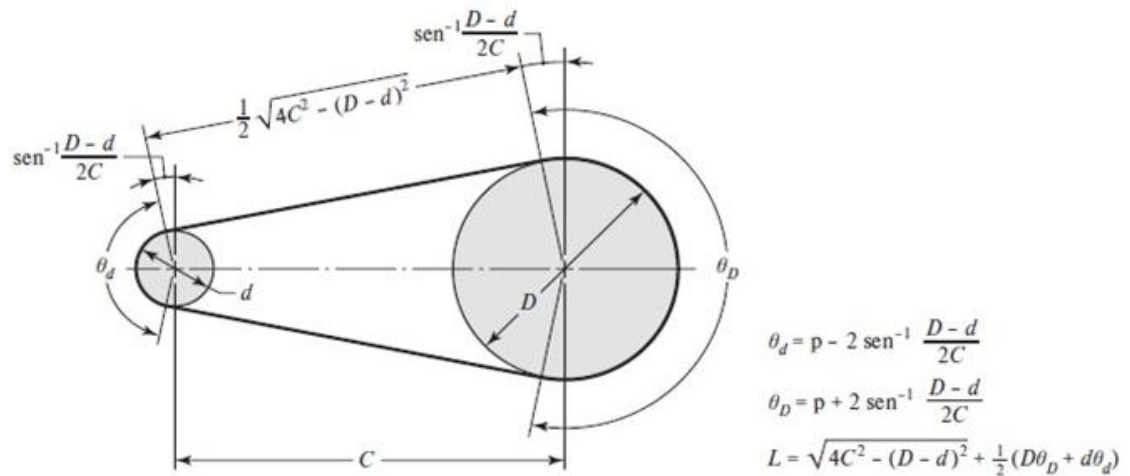


Fig. 2.11. Esquema de una transmisión mecánica por polea [9].

2.16.1. SELECCIÓN DE BANDAS

A continuación, se realizará la selección del tipo de bandas de transmisión a ser utilizadas en la máquina troqueladora, se definirá su longitud, número de bandas y su material, así:

➤ **Potencia del motor.**

Se tomará una potencia de 2 Hp para el motor eléctrico a ser utilizado esto debido a que nuestro requerimiento de fuerza para la troqueladora es de 4 toneladas y con esta potencia logramos obtener ese nivel de carga. De catálogo se obtienen los datos técnicos de un motor, los cuales son:

- ✓ Potencia nominal (P) igual a 2 Hp,
- ✓ Velocidad síncrona (n) igual a 1,800 rpm, y
- ✓ Torque (T) igual a 12 lb·pie.

➤ **Potencia de diseño.**

Para determinar la potencia de diseño es necesario multiplicar la potencia nominal del motor por el factor de servicio de la máquina (K_S), tal como se presenta en la Ec. 2.15, así

$$Pot_d = K_S * Pot_n \quad (2.16)$$

donde:

Pot_d es la potencia de diseño en Hp,

K_s es el factor de servicio, y

Pot_n es la potencia nominal en Hp.

El factor de servicio se selecciona de la Tabla 2.8; para una máquina herramienta que funciona menos de 6 horas al día, por lo que $K_s = 1.1$.

Tabla 2.8 Factores de servicio sugeridos para transmisiones de bandas en V [9].

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsión normal Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: alto par torsional Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.4	1.4	1.5	1.6
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Sustituyendo en la Ec. 2.16, se obtiene:

$$Pot_d = 1.1 * 2 * 0.8$$

$$Pot_d = 1.76 \text{ Hp.}$$

Para encontrar la potencia nominal se utilizó la Ec. 2.17, para lo cual se consideró la eficiencia del motor que se relaciona con la potencia del motor o la potencia real, así:

$$Pot_n = n * Pot_{motor} \quad (2.17)$$

donde:

Pot_n es la potencia nominal en Hp,

n es la eficiencia del motor en %, y

Pot_{motor} es la potencia del motor en Hp.

La potencia corregida por banda se calcula mediante la Ec. 1.18, así;

$$Pot_c = K_1 * K_2 * Pot_b \quad (2.18)$$

donde:

Pot_c es la potencia corregida por banda HP,

K_1 es el factor de corrección por ángulo de contacto,

K_2 es el factor de corrección por longitud de banda, y

Pot_b es la potencia por banda Hp.

Para determinar el factor de corrección por ángulo de contacto, se debe de encontrar primero el ángulo de contacto entre la banda y la polea más pequeña, esto haciendo uso de la Ec. 2.19, con este valor se entra a la Tabla 2.9 para determinar el factor de corrección por ángulo de contacto.

$$\theta_1 = \pi - 2\alpha = \pi - 2 \left(\frac{R_2 - R_1}{C} \right) \quad (2.19)$$

donde:

θ_1 es el ángulo de contacto entre la polea pequeña y la banda

α es el ángulo de contacto.

R_1 es el radio de la polea de menor diámetro

R_2 es el radio de la polea de mayor diámetro

Para determinar el factor de corrección por longitud de banda se debe de encontrar primero la longitud de la banda usando la Ec. 2.19 y con el resultado obtenido se buscará en la Tabla 2.10 el factor de corrección por longitud de banda.

$$L = 2\alpha + \pi (R_2 + R_1) + \frac{2}{C} (R_2 - R_1)^2 \quad (2.19)$$

Tabla 2.9. Factor de corrección del ángulo de contacto K_f para transmisiones de banda plana VV y en V [9].

D-d/C	$\theta, ^\circ$	K_f	
		VV	Plana en V
0.0	180.0	1.00	0.75
0.1	174.3	0.99	0.76
0.2	166.5	0.97	0.78
0.3	162.7	0.96	0.79
0.4	156.9	0.94	0.80
0.5	151.1	0.93	0.81
0.6	145.0	0.91	0.83
0.7	139.0	0.89	0.84
0.8	132.8	0.87	0.85
0.9	126.5	0.85	0.85
1.0	120.0	0.82	0.85
1.1	113.3	0.80	0.82
1.2	106.3	0.77	0.80
1.3	98.9	0.73	0.77
1.4	91.1	0.70	0.70
1.5	82.8	0.65	0.65

Tabla 2.10. Factor de corrección de longitud de banda [9].

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	48-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120-mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195-mayor	330-mayor	540-mayor	660

$$\alpha = (15)^2 - (7.5 - 1.5)^2)^{\frac{1}{2}} = 13.74^\circ$$

$$\theta_1 = \pi - 2\alpha = 180 - 2(13.74)$$

$$\theta_1 = 180 - 2(13.74)$$

$$\theta_1 = 152.52^\circ.$$

Con este valor de ángulo de contacto encontrado se selecciona de la Tabla 2.9 el valor del factor de corrección por ángulo de contacto y se obtiene que $k_1 = 0.89$.

$$L = 2(13.74) + \pi(7.5 + 1.5) + \frac{2}{15}(7.5 - 1.5)^2$$

$$L = 60.55 \text{ pulg.}$$

Con este valor de longitud de banda encontrado se entra en la Tabla 2.10 y se obtiene que el valor de corrección por longitud es de $k_2 = 1.0$.

Encontrando la velocidad tangencial de la banda mediante la Ec. 2.20, así:

$$v = \frac{\pi D_1 n}{12} \quad (2.20)$$

donde:

D_1 es el diámetro de la polea es igual a 25.4 mm (1 pulg), y

n es la velocidad angular de la polea 1 rpm.

$$v = \frac{\pi(3)(1800)}{12}$$

$$v = 1413.71 \text{ pie/min (431 m/min).}$$

Con el valor de velocidad lineal de la polea se puede entrar a la Tabla 2.11.

Con la Ec. 2.21 se procede a determinar el número de bandas. Así, para encontrar el número de bandas es necesario dividir la potencia de diseño entre la potencia corregida de bandas.

Tabla 2.11. Valores de potencias en banda según diámetro y velocidad lineal [9].

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	0
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.55	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.74	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 o mayor	1.89	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 y mayor	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.84	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.0	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 y mayor	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.20	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	165.0	7.27	12.4	15.90	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.20	17.1	19.2	19.0
	17.0 y mayor	8.01	13.90	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 y mayor	13.4	23.7	31.80	37.1	39.1

Se procede a calcular en número de bandas que se utilizaran para transmitir la potencia, para esto se hará uso de la Ec. 2.21:

$$N = \frac{P_{diseño}}{P_{corregida}} \quad (2.21)$$

Sustituyendo valores en la Ec. 2.21, queda:

$$N = \frac{K_s Pot_n}{K_1 K_2 Pot_b}$$

$$N = \frac{1.76}{0.89 \times 1 \times 1.1}$$

$$N = 2 \text{ bandas.}$$

Determinando las fuerzas en las bandas mediante la Ec. 2.22, así.

$$k = \frac{\gamma v^2 A}{g} \quad (2.22)$$

donde:

γ es el peso específico del material de la banda lb_t/pulg³,

v es la velocidad lineal de la polea 1 pie/s,

A es el área transversal del perfil de la banda pulg², y

g es la gravedad en pulg/s²

$$k = \frac{0.035 * 282.74^2 * (11/64)}{386.4}$$

$$k = 1.24 \text{ lb (5.52 N)}$$

Se hará usar de la Ec. 2.23 que relaciona las fuerzas en bandas y el coeficiente de fricción

$$\frac{F_1 - k}{F_2 - k} = e^{f\theta_1} \quad (2.23)$$

donde:

F_1 y F_2 son las fuerzas en las bandas en lb, y
 f es el coeficiente de fricción.

$$\frac{F_1 - 1.24}{F_2 - 1.24} = e^{0.4(2.66)}$$

$$Pot_b = \frac{Tn}{63025}$$

Resolviendo para T, se obtiene:

$$T = 115.55 \text{ lb.pulg.}$$

El torque producido se encuentra multiplicando la magnitud de la fuerza por la medida de la distancia a la que actúa esa fuerza, mediante la Ec. 2.24, así:

$$T = (F_1 - F_2)R \quad (2.24)$$

Al sustituir valores en la Ec. 2.24 se obtienen las fuerzas a las que están sometidas las bandas.

$$115.55 = (F_1 - F_2)(1.5)$$

$$F_1 = 119.02 \text{ lb}$$

$$F_2 = 41.96 \text{ lb (186.7 N)}$$

2.17. ANÁLISIS MECÁNICO DEL EJE

Para el diseño del eje, es necesario realizar el diagrama de cuerpo libre, el cual se presenta en la Fig. 2.12, en éste se presenta las respectivas reacciones

que se producen en los cojinetes los cuales darán el soporte al eje, además de la fuerza necesaria para llevar a cabo el proceso de troquelado.

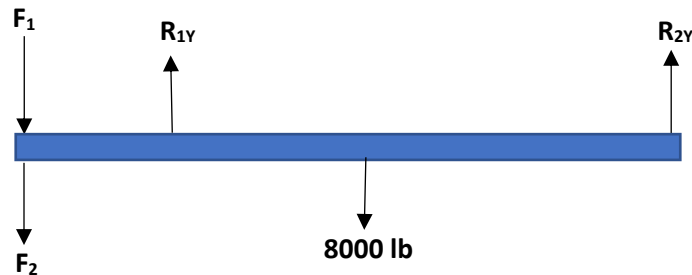


Fig. 2.12. Diagrama de cuerpo libre del eje.

Realizando sumatoria de fuerzas en la dirección Y, se obtiene la Ec. 2.25:

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$-F_1 - F_2 - 8000 + R_{2Y} + R_{1Y} = 0 \quad (2.25)$$

Realizando sumatoria de momentos respecto al punto 2, se obtiene la Ec. 2.26:

$$+\circlearrowleft \sum M_2 = 0$$

$$R_{1Y}(4.25) - (F_1 + F_2)(9.75) - 8000(2.75) = 0 \quad (2.26)$$

Al resolver las Ec. 2.25 y 2.26 se obtiene:

$$R_{1Y} = 5535.18 \text{ Lb}$$

$$R_{2Y} = 2621.18 \text{ Lb.}$$

Determinando la carga equivalente para cada cojinete:

$$F_e = F * V = 4324.60 * 1$$

$$F_e = 4324.60 \text{ lb.}$$

Determinando la carga dinámica en cada cojinete mediante la Ec. 2.27:

$$C = F_e \left(\frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (2.27)$$

donde:

k es igual a 3, y

L_d es igual a 10.8×10^6 .

Sustituyendo en la Ec. 2.27, se obtiene:

$$C = (5535.18) \left(\frac{10.8 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C = 12235.07 \text{ lb.}$$

Con la carga dinámica se encuentra el tipo de cojinete a utilizar. Así, se selecciona un cojinete de la tabla 6310 con diámetro interno 1.9865 pulg, el cual coincide con el diámetro del eje.

Tabla 2.12. Tipos de rodamientos.

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento							Diámetro de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática C_v	Capacidad básica de carga dinámica C
	d		D		B			Eje	Caja			
	mm	pulg	mm	Pulg	mm	pulg	pulg	pulg	pulg			
Series 6300												
6300	10	0.3937	35	1.378	11	0.4331	0.024	0.563	1.181	0.12	805	1400
6301	12	0.4724	37	1.4567	12	0.4724	0.039	0.656	1.220	0.13	990	1680
6302	15	0.5906	42	1.6535	13	0.5118	0.039	0.781	1.417	0.18	1200	1980
6303	17	0.6693	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.875	1.614	0.25	1460	2360
6304	20	0.7874	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.061	1.772	0.32	1730	2760
6305	25	0.9843	62	2.4409	16	0.6693	0.039	1.220	2.165	0.52	2370	3550
6306	30	1.1811	72	2.8346	17	0.7483	0.039	1.469	2.559	0.76	3150	4600
6307	35	1.3780	80	3.1496	19	0.8286	0.059	1.688	2.795	1.01	4050	5800
6308	40	1.5748	90	3.5433	21	0.9055	0.059	1.929	3.189	1.40	6800	7050
6309	45	1.7177	100	3.9370	23	0.9843	0.079	2.126	3.583	1.84	8100	9150
6310	50	1.9865	110	4.3307	25	1.0630	0.079	2.362	3.937	2.42	9450	10700
6311	55	2.1654	120	4.7044	27	1.0630	0.079	2.559	4.331	2.98	11000	12300

Además, para determinar el material del eje se procede a realizar el análisis para la selección del material a utilizar para la construcción del eje de transmisión.

Encontrando concentradores de esfuerzos:

- Se determinará el factor de concentración de esfuerzos mediante la Ec. 2.28:

$$K_F = 1 + q(K_t - 1) \quad (2.28)$$

$$K_F = 1.3$$

- Se determinará el factor de corrección por superficie mediante la Ec. 2.29:

$$K_a = aS_u^b \quad (2.29)$$

En la Tabla 2.13 se presenta los valores de los factores a y b, a utilizar en la Ec. 2.29.

Tabla 2.13. Valores del factor a y b según tipo de proceso mecánico.

Proceso	Factor a		Factor b
	Ksi	MPa	
Rectificado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado	2.70	4.51	-0.265
Laminado	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272	-0.995

Al hacer uso de los factores a y b para maquinado se obtiene un valor de:

$$K_a = 0.9$$

- Factor de tamaño (K_b): para ejes sometidos a flexión o torsión, para diámetros de eje entre $0.11 \leq d \leq 2$ pulg, se utiliza la Ec. 2.30:

$$K_a = aS_u^b \quad (2.30)$$

$$K_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} \left(\frac{1.9685}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.81$$

- Factor de carga (K_c): Este factor esta dado en función del tipo de carga que está actuando en el elemento.

En la Tabla 2.14 se presentan los valores para el factor de carga que está en función del tipo de carga al que está sometido el eje.

Tabla 2.14. Factores de corrección por tipo de carga.

Tipo de carga	Factor
A flexión	1.000
Axial	0.815
A torsión	0.580

Encontrando el esfuerzo mediante la Ec. 2.31:

$$S_n = k_a k_b k_c k_d k_e S'_n \quad (2.31)$$

Se sabe que $S'_n = 0.5S_u$, por lo tanto al sustituir en la Ec. 2.31 se obtiene:

$$S_n = 0.9 \times 0.81 \times 0.5S_u$$

$$S_n = 0.3648S_u$$

Encontrando el esfuerzo flexionante (ver, Ec. 2.32) que actúa en el eje, así:

$$\sigma = 32 \frac{M}{\pi d^3} k_f \quad (2.32)$$

$$\sigma = 32 \frac{(19287.36)}{\pi(1.9685)} (1.1)$$

$$\sigma = 25,755.30 \text{ Psi}$$

De la ecuación de potencia se puede obtener el torque que actúa en el eje

$$Pot = \frac{Tn}{63025}$$

$$T = \frac{(63025)(1.1)}{360}$$

$$T = 385.15 \text{ lb}\cdot\text{pulg.}$$

Encontrando el esfuerzo cortante al que está sometido el eje mediante la Ec. 2.33, queda:

$$\tau = 16 \frac{T}{\pi d^3} \quad (2.33)$$

$$\tau = 16 \frac{(385.15)}{\pi((1.9685)^3)}$$

$$\tau = 257.15 \text{ Psi}$$

Esfuerzos equivalentes medio y alterno

Esfuerzo equivalente medio se obtiene mediante la Ec. 2.34, así:

$$\sigma_{em} = (\sigma_a^2 + 3 \tau_a^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.34)$$

$$\sigma_{em} = (0 + 3 (257.15)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{em} = 445.39 \text{ psi}$$

El esfuerzo equivalente alterno se obtiene mediante la Ec. 2.35, así:

$$\sigma_{ea} = (\sigma_e^2 + 3 \tau_m^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.35)$$

$$\sigma_{ea} = ((9959.08)^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma_{ea} = 9959.08 \text{ psi}$$

Haciendo uso de la ecuación de la línea de Goodman (Ec. 2.36) y habiendo encontrado los datos necesarios para ser aplicada, se puede encontrar el

esfuerzo último del material y con esto por medio de la Tabla 2.14 se selecciona el tipo de material para el eje:

$$\frac{\sigma_{ea}}{S_n} + \frac{\sigma_{em}}{S_u} = \frac{1}{n} \quad (2.36)$$

$$\frac{9958.08}{0.3645S_u} + \frac{445.39}{S_u} = \frac{1}{n}$$

$$S_u = 34710 \text{ psi.}$$

De Tabla 2.15 se obtiene que el material del eje será un acero SAE 1010 HR con un esfuerzo a la tensión de 47 kpsi [9].

Tabla 2.15. Resistencias mínimas a la tensión y o la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y laminados en frío (CD). Las resistencias son valores ASTM mínimos encontrados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm a 1 a ¾ pulg.

SAE	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)		Elongación, 2%	Dureza
1006	HR	300 (43)	170 (24)		00	60
	CD	330 (48)	280 (41)		20	95
1010	HR	320 (47)	180 (26)		28	95
	CD	370 (50)	300 (44)		30	105
1015	HR	340 (50)	190 (27.5)		28	101
	CD	399 (50)	320 (47)		18	111
1018	HR	400 (58)	220 (32)		25	116
	CD	440 (58)	270 (47)		15	126
1020	HR	380 (55)	210 (32)		25	111
	CD	470 (58)	390 (34)		15	181
1030	HR	470 (68)	260 (30)		20	129
	CD	520 (70)	440 (57)		12	149
1035	HR	500 (72)	270 (37.5)		18	143
	CD	520 (80)	460 (34)		12	163
1040	HR	590 (86)	290 (39.5)		18	149
	CD	570 (91)	490 (67)		12	170
1045	HR	630 (90)	310 (43)		16	163
	CD	620 (100)	500 (71)		12	179
1050	HR	690(98)	340 (45)		15	197
	CD	680 (112)	580 (49.5)		10	201
1060	HR	770 (120)	370 (77)		12	229
1080	HR	830 (120)	420 (84)		10	248
1095	HR	850 (125)	460 (54)		10	258

3. ESTUDIO TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA TROQUELADORA PROPUESTA

En este capítulo se realiza una descripción técnica del proceso constructivo de una máquina troqueladora con el fin de considerar todos los materiales involucrados y las partes o elementos de máquinas seleccionados. También, se realiza un análisis de los costos de todos los recursos involucrados para la construir de una máquina troqueladora. Para realizar el análisis es preciso cotizar los precios de todos los materiales y componentes que se utilizarán en la construcción de dicha máquina.

3.1. ESTUDIO TÉCNICO

Una vez diseñada la máquina troqueladora se procede a las indicaciones para la construcción tomando en consideración las consideraciones de diseño y requerimientos de materiales y describiendo cada etapa de construcción.

3.1.1. CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA TROQUELADORA

La máquina troqueladora estará sostenida en una estructura construida con tubo estructural cuadrado chapa 14, en la cual en la parte superior tiene una placa de 0.25 pulg de espesor que servirá coma base para fijación de la troqueladora. Esta estructura consta de 4 puntos de apoyo que serán construido con los tubos y que de igual manera están unidos entres si por soportes horizontales del mismo tipo de tubo, tal como se presenta en la Figs. 3.1 y 3.2.

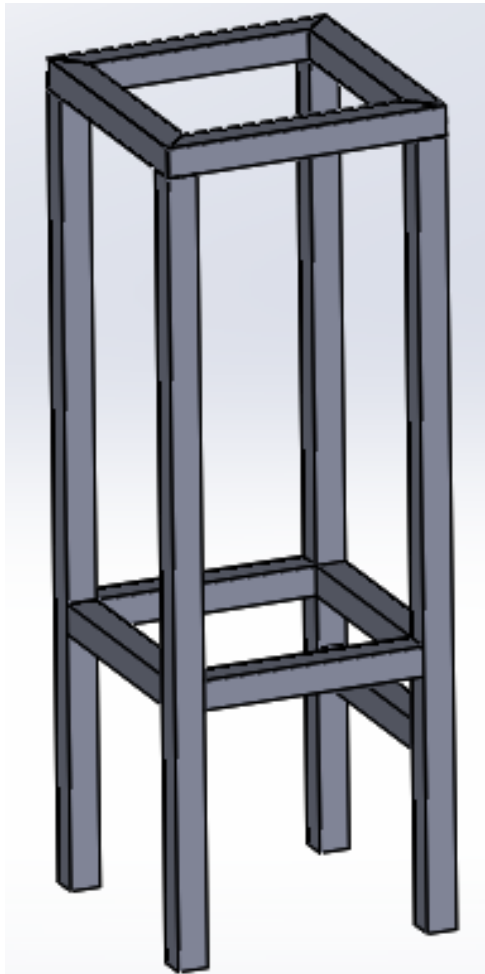


Fig. 3.1. Banco de la troqueladora.

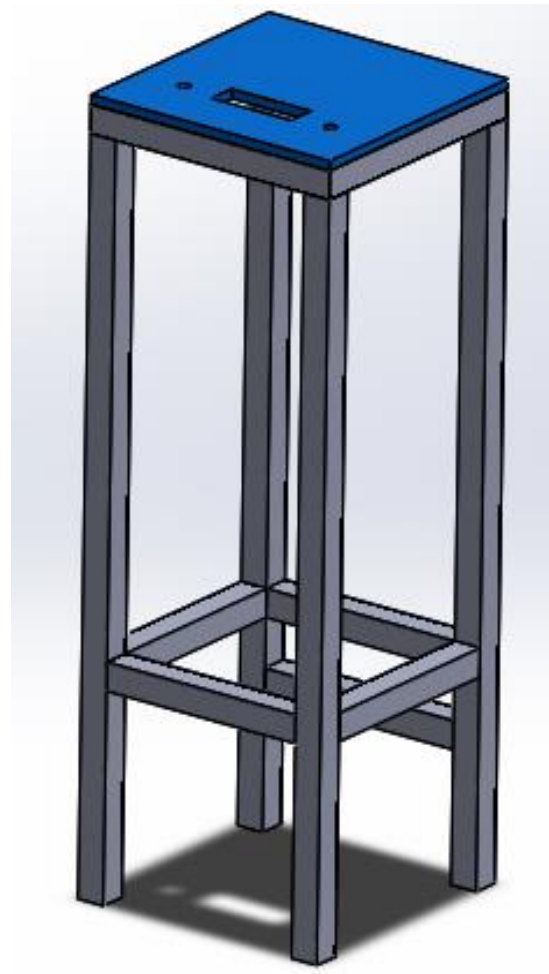


Fig. 3.2. Banco de la troqueladora con su placa

En esta placa o soporte inferior de la máquina estarán soldadas dos placas que servirán como soportes laterales, estas tendrán un espesor de 0.25 pulg, además de 4 nervios del mismo espesor para asegurar una mayor firmeza a las placas, esto se presenta en la Fig. 3.3 en estas placas se estará montando el eje de transmisión y los elementos que en conjunto conforman la transmisión mecánica; como lo son la polea de diámetro mayor, los cojinetes y el elemento excéntrico.

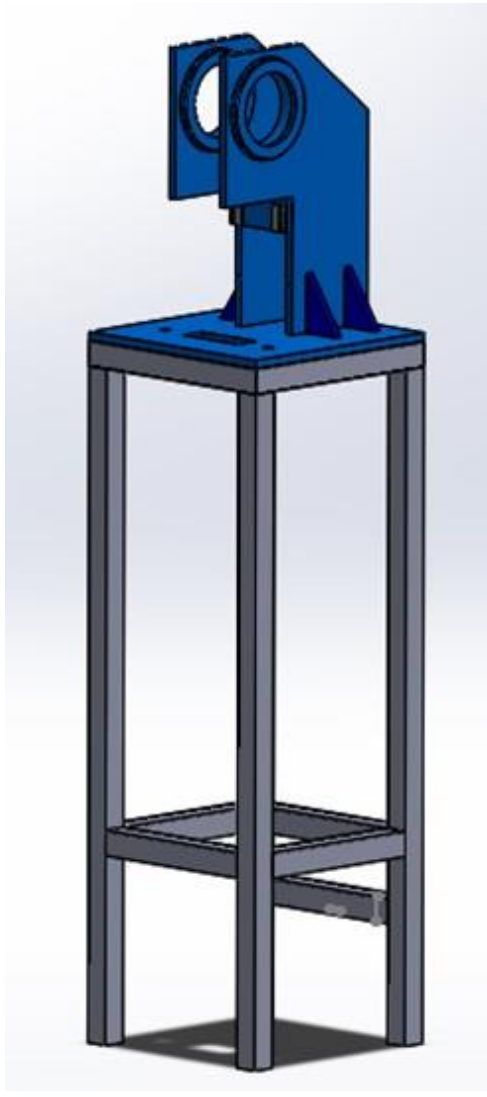


Fig. 3.3. Banco de la troqueladora con las placas laterales para soporte de eje de la troqueladora.

Perpendicular a las placas laterales, se colocará una placa de 123 x 50 mm con un espesor de 0.25 pulg, esta servirá como soporte de los topes deslizantes que servirán de guía para el movimiento lineal del dispositivo excéntrico, esto se presenta en la Fig. 3.4.

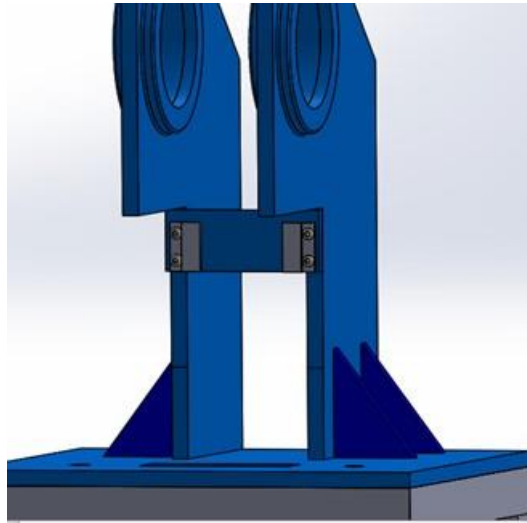


Fig. 3.4. Vista detallada de las placas laterales.

Además, a la estructura se le instalará un soporte donde estará colocado el motor, de igual manera mediante proceso de soldadura con varillas cuadradas de 10 x 10 mm, soportando una placa de 0.25 pulg, la cual dará el soporte necesario al motor eléctrico de la máquina tal como se presenta en la Fig. 3.5.

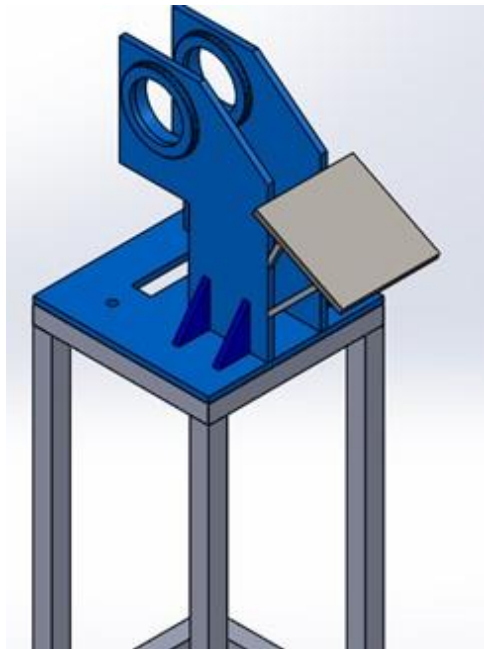


Fig. 3.5. Vista detallada de los elementos de soporte para el motor eléctrico.

En las piezas laterales se instalarán los cojinetes con sus respectivos anillos de retención externos, que darán el soporte al eje de transmisión, el cual se encuentra instalado tal como se presenta en la Fig. 3.6.

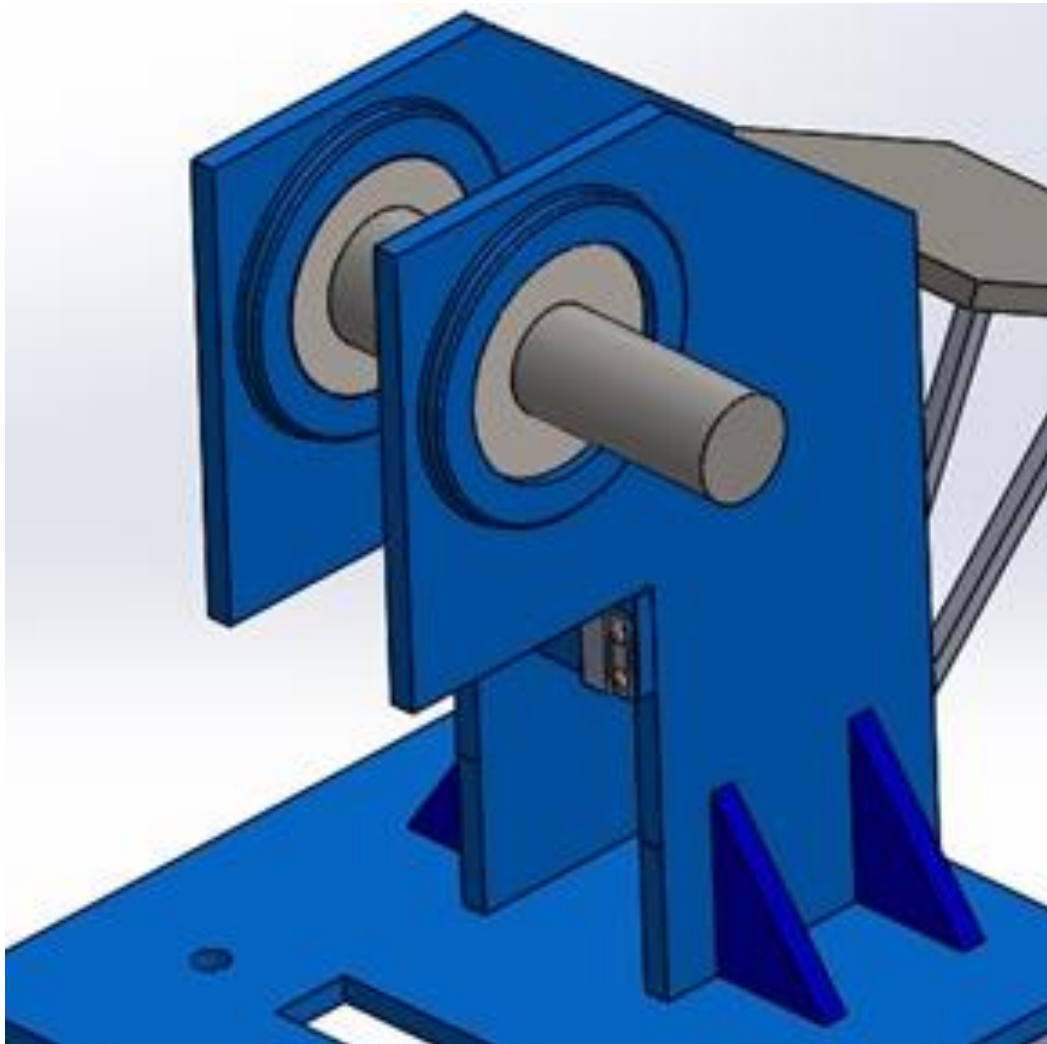


Fig. 3.6. Vista detallada en 3D de la ubicación del eje de transmisión.

En el eje se instalará el elemento excéntrico que es el encargado transformar el movimiento rotacional a lineal, este elemento se encuentra unido al eje por medio de un cuñero, completando en su conjunto la conexión con un pasador con el dispositivo que realiza el movimiento lineal hacia abajo, tal como se presenta en la Fig. 3.7.

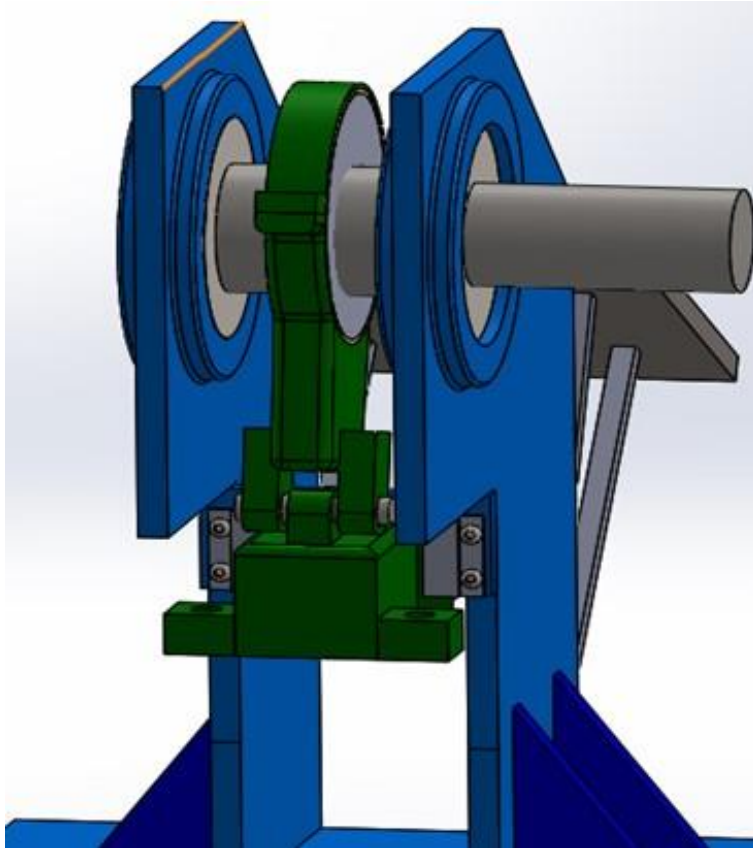


Fig. 3.7. Vista detallada del conjunto del dispositivo de movimiento excéntrico.

En la placa está instalada el porta matriz y en ella la matriz y el pisador, esto por medio de pernos y pasadores tipo espigas, detallados anteriormente, los pasadores tendrán la función de darle una mayor fijación a la matriz y porta matriz, ya que estas soportan el impacto de la troqueladora cuando de llevar a cabo el debido proceso.

En la Fig. 3.8 se presenta la sujeción del porta matriz, y los pernos y pasadores que darán sujeción a la matriz y pisador, y en la Fig. 3.9 se presenta la matriz y el pisador ya instalados.

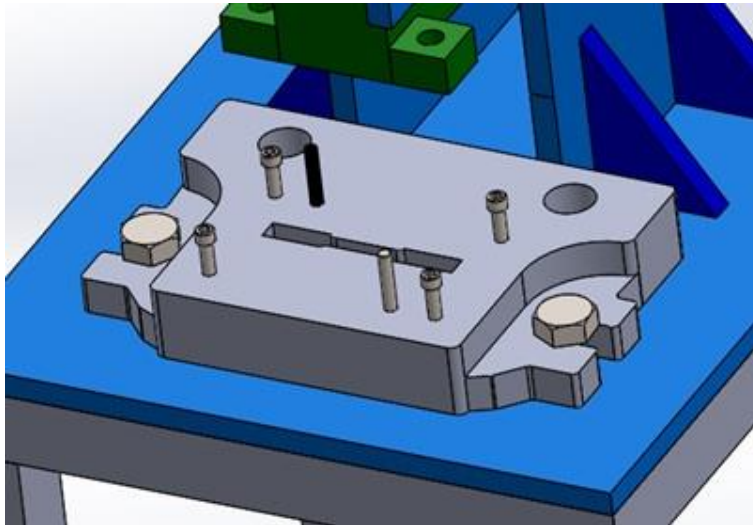


Fig. 3.8. Vista detallada de la sujeción.

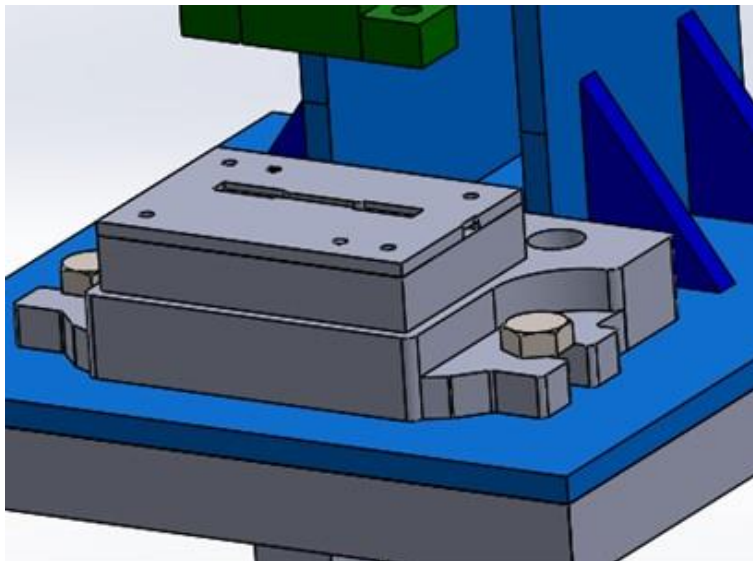


Fig. 3.9. Vista del conjunto porta matriz, matriz y pisador.

Para que el movimiento sea completamente lineal y no se produzca desalineamiento se colocan postes guías entre la porta troquel y la porta matriz, los cuales se soldan a la placa inferior de la estructura, en estos postes guías se instalan los respectivos bujes, los cuales están relacionados directamente con el porta punzón, tal como se presenta en la Fig. 3.10.

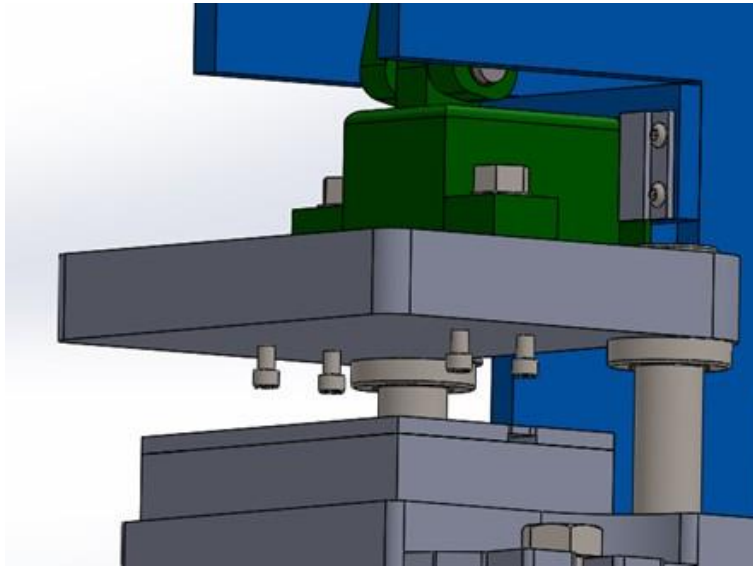


Fig. 3.10. Vista de los postes guías y bujes relacionados con el porta punzón.

La sujeción del punzón se realiza mediante pernos Allen especificados anteriormente, este se encuentra sujeto al porta punzón, el cual esta sujetado mediante pernos de 0.5 pulg con el conjunto del dispositivo excéntrico que realiza el movimiento lineal, esto se presenta en la Fig. 3.11

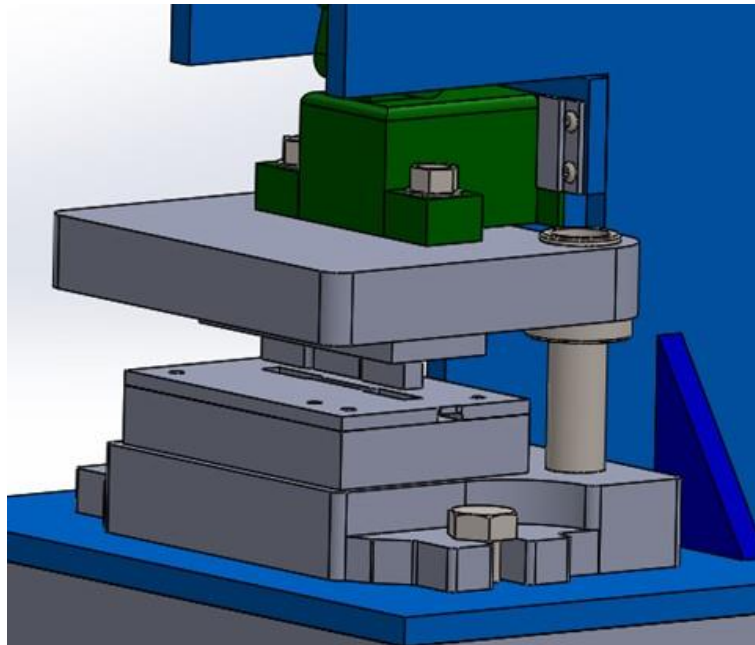


Fig. 3.11. Instalación completa del punzón con sus respectivos pernos Allen.

La instalación de las poleas, el embrague mecánico se hace con sus respectivos cuñeros, junto con la instalación de las bandas de transmisión mecánica, con esto se complementa el sistema de transmisión mecánica, que es proporcionada por el motor eléctrico instalado en su respectivo soporte, esto se detalla en la Fig. 3.12.

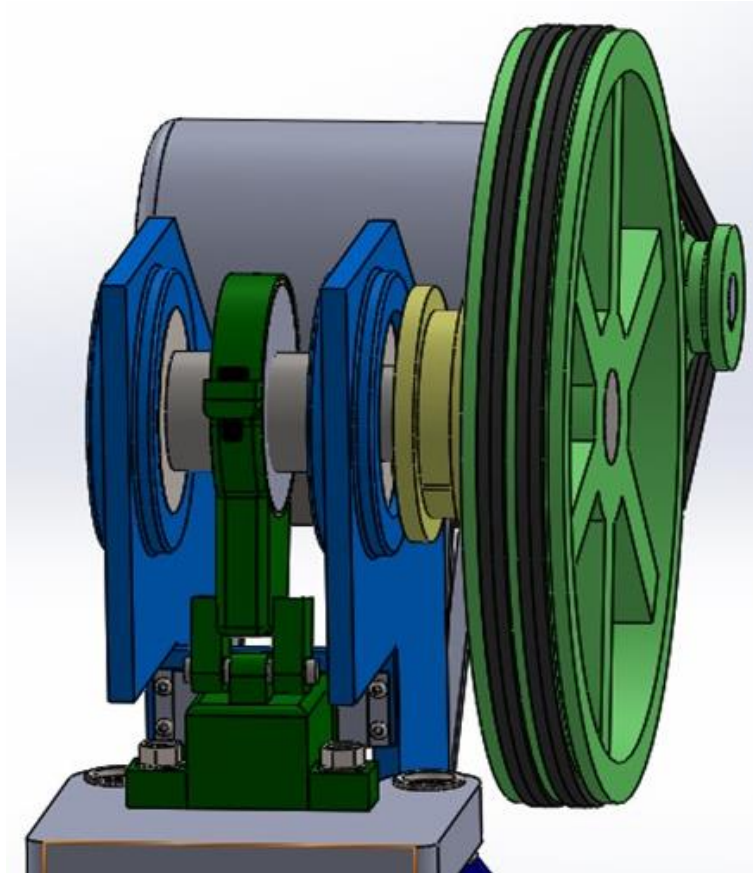


Fig. 3.12. Sistema de transmisión mecánica

Por último, se lleva a cabo el conjunto que accionará el embrague mecánico, este será accionado por un pedal, el cual está directamente asociado al embrague, sujetado con varillas cuadradas de 10 x 10 mm, este sistema se presenta en la Fig. 3.13, donde se ilustra la posición inicial del pedal que conecta al embrague mecánico, en este instante el embrague se encuentra desacoplado a la polea de transmisión, por lo tanto, la troqueladora no se encuentra operando.

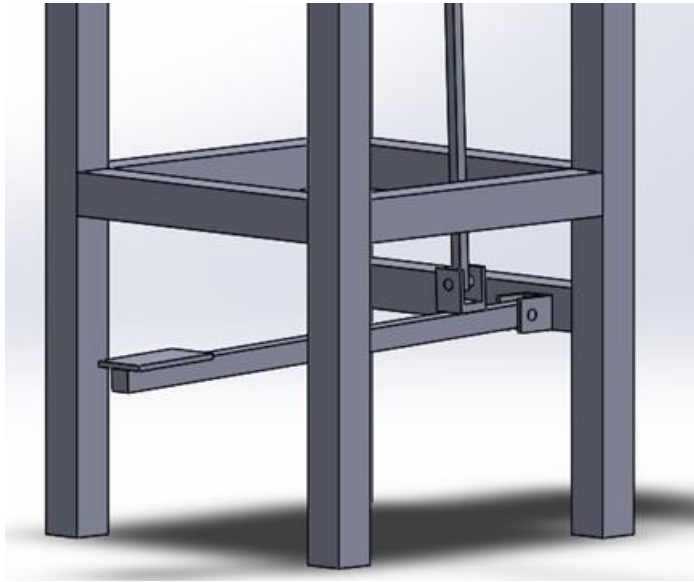


Fig. 3.13. Vista de la posición inicial del pedal.

Cuando el pedal se encuentra en su posición inicial, el embrague y la polea se encuentra desacoplada, el pin se encuentra retraído debido a la pieza de fricción que hace contacto con el embrague y va conectada al pedal, tal como se presenta en la Fig. 3.14.

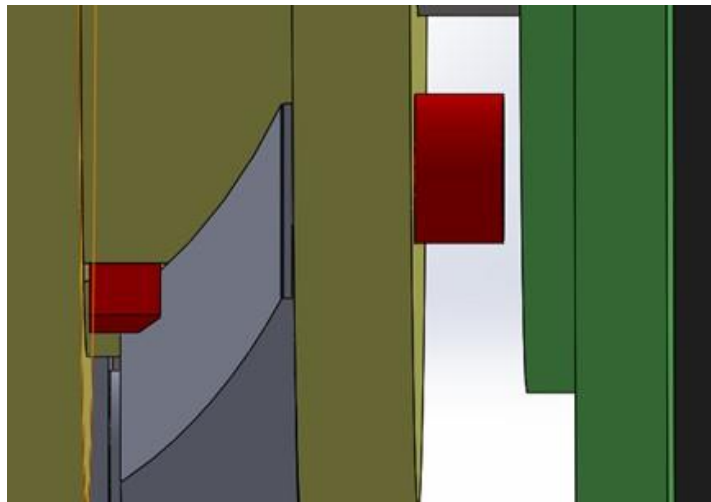


Fig. 3.14. Vista del desacople entre embrague y polea.

En la Fig. 3.15 se presenta la posición final del pedal, cuando a este se le aplica la fuerza con el pie para poner en funcionamiento la máquina.

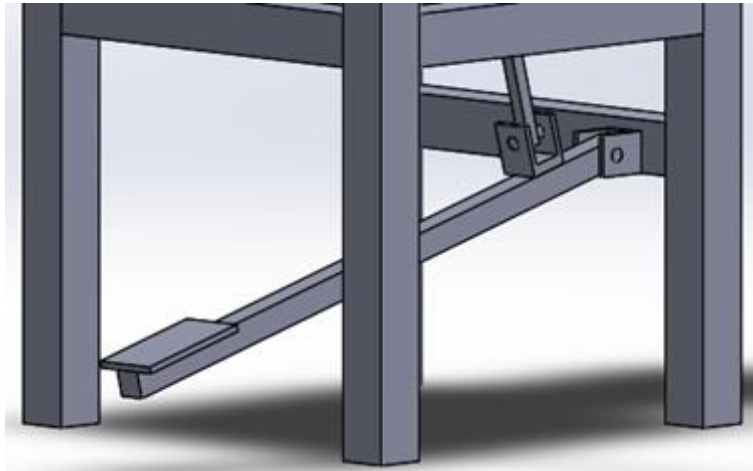


Fig. 3.15. Vista de la posición final del pedal.

Cuando se presiona el pedal, la pieza de fricción que hace contacto con el pedal se mueve hacia abajo, tal como se presenta en la Fig. 3.16.

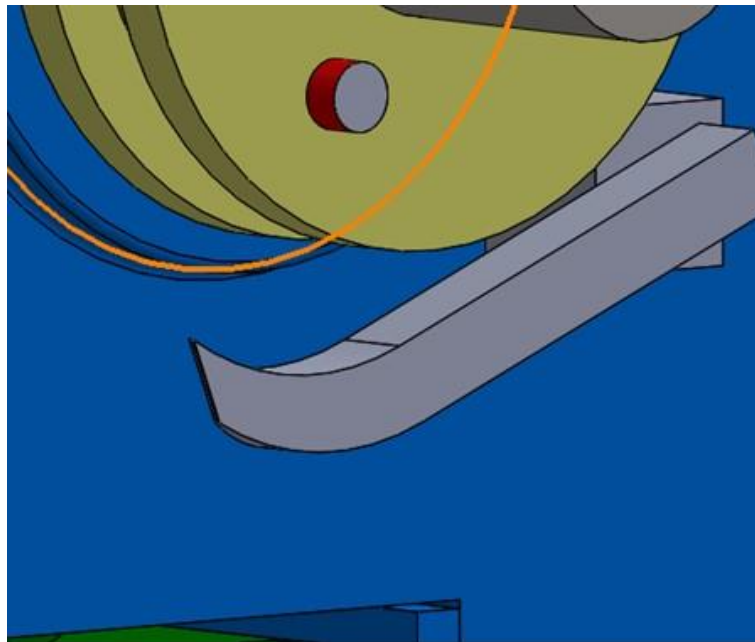


Fig. 3.16. Movimiento de la pieza de fricción.

Dando así la libertad al pin que, en su interior cuenta con un resorte, esto hace que se acople en conjunto con la polea, logrando así brindar la potencia al eje de transmisión para llevar a cabo el proceso de troquelado, como se presenta en la Fig. 3.17.



Fig. 3.17. Acople entre embrague y polea.

A la hora de soltar el pedal, la pieza de fricción vuelve a subir, que gracias al resorte será retraído, desacoplando así el embrague de la polea, tal y como se presenta en la Fig. 3.18.

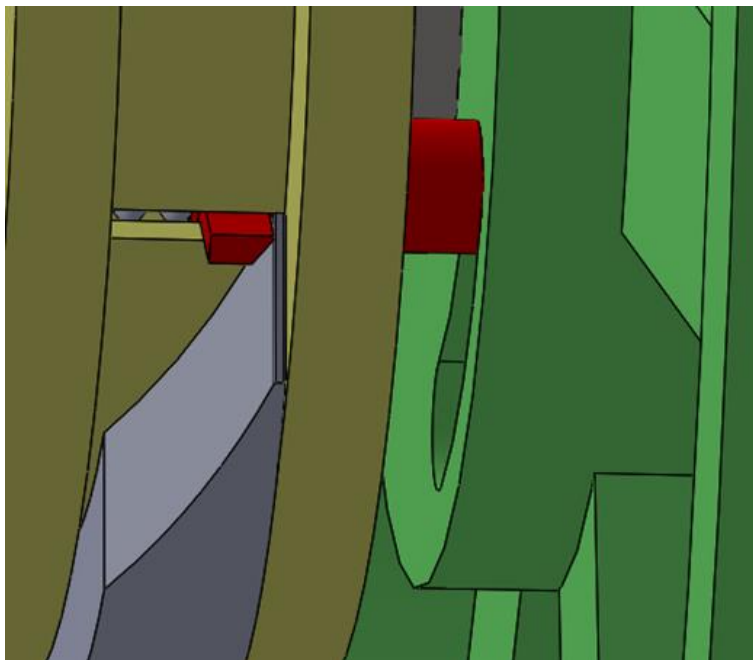


Fig. 3.18 Repetición del proceso de desembrague

Otro elemento que se incorporó a la máquina troqueladora, pensando en la seguridad de los usuarios y así evitar accidentes durante la operación de la máquina es una guarda de las bandas, tal como se presenta en la Fig. 3.19. Esta clase de elementos de seguridad son muy importantes dado que esto puede evitar a que algún usuario descuido durante la operación pueda sufrir lesiones.

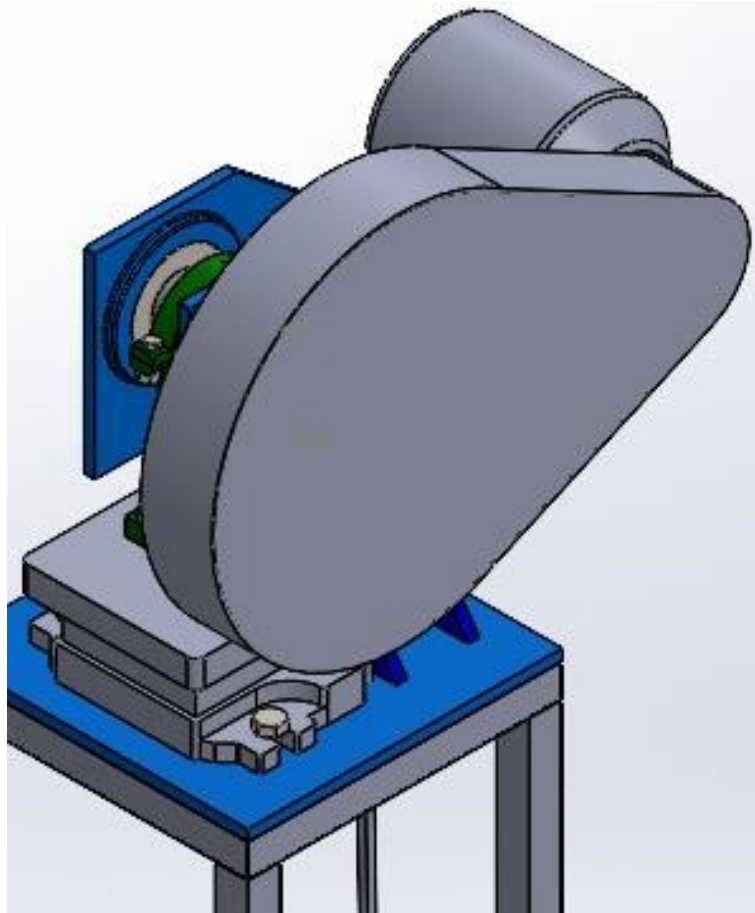


Fig. 3.19 Guarda de bandas de transmisión.

3.1.2. FUNCIONAMIENTO Y OPERACIÓN DE TROQUELADORA

La máquina troqueladora consta de un motor eléctrico que es el encargado de suministrar la potencia mecánica requerida para realizar la operación de corte del material. Para transmitir el movimiento desde el motor hacia el eje que le da

movimiento al troquel, se hace uso de dos poleas, las cuales se encuentran conectadas por medio de dos bandas tipo V.

Al poner en marcha el motor, tal como se describió anteriormente el movimiento se trasmite hacia el eje donde se acopla el punzón, pero para que el movimiento rotacional se convierta en lineal se hace uso de un elemento excéntrico el cual permite que el punzón haga el movimiento lineal hacia abajo y hacia arriba. Otro elemento muy importante en la transmisión del movimiento es el pedal, ya que es cuando se presiona este que el eje de la troqueladora se acopla al elemento excéntrico para realizar el movimiento lineal del troquel.

El material a ser cortado será suministrado manualmente por el operario de la máquina y es este mismo el que por medio del pedal decide el instante en el que realizará la operación de corte.

Para iniciar el proceso de troquelado se debe de tener la materia prima lista, en este caso una tira metálica con sus medidas correspondientes, tal como se presenta en la Fig. 3.20.

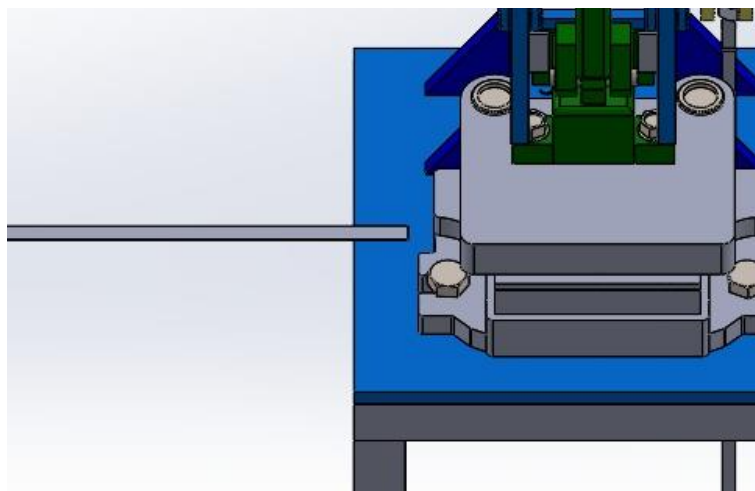


Fig. 3.20. Ingreso de tira metálica.

Esta tira metálica deberá pasar por la abertura existente entre el pisador y la matriz, esto se hace sin que la troqueladora se encuentre embragada, tal como se presenta en la Fig. 3.21.

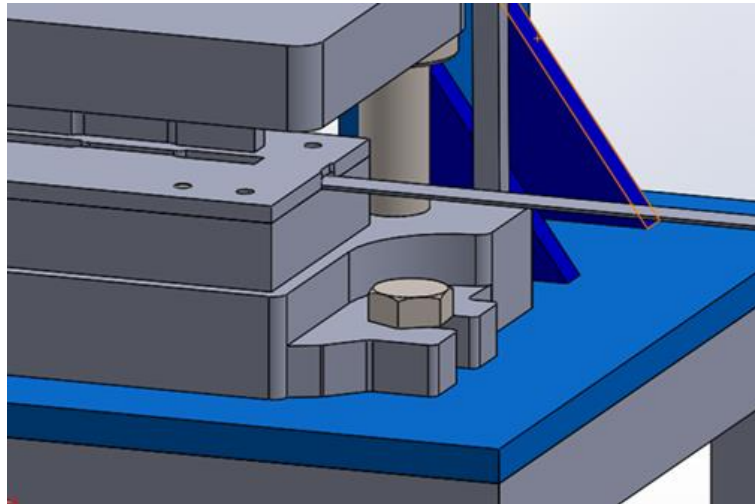


Fig. 3.21. Vista de la tira ingresando por la abertura del pisador.

Cuando el extremo de la tira se encuentra en el otro extremo de la matriz, es el momento en el que se activa un impacto de la troqueladora, dado el caso el punzón realiza su movimiento vertical, por lo tanto, hace contacto con la tira metálica, proporcionando así la potencia necesaria para cortar el material, tal como se presenta en la Fig. 3.22.

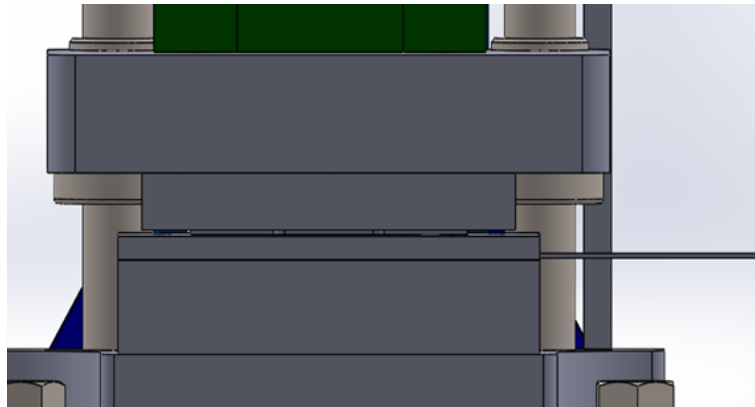


Fig. 3.22. Vista frontal del punzón al momento de descender.

Luego de que la prensa ha efectuado su impacto, habrá troquelado la figura establecida, en este caso una probeta plana, por lo tanto la tira metálica sale por el extremo derecho, como se puede apreciar en la Fig. 3.23.

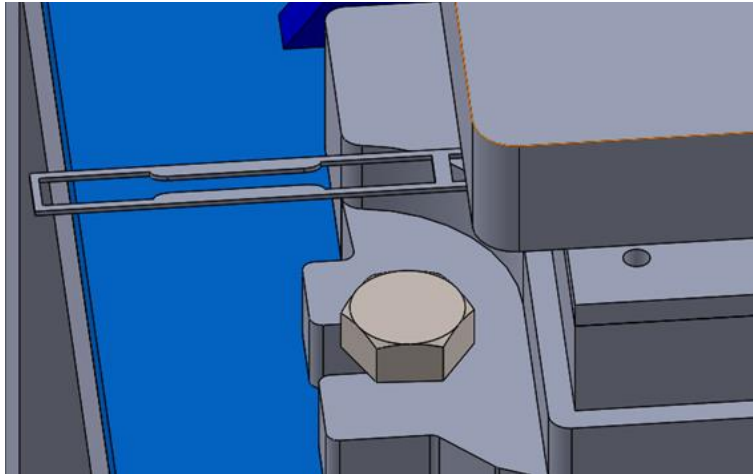


Fig. 3.23. Salida de la tira metálica por el extremo derecho.

El proceso se repite las veces que sea necesario, siempre y cuando se tenga la materia prima a disposición y se necesite troquelar cantidades exactas de probetas, el movimiento de la tira metálica debe de ser en concordancia con el impacto de la troqueladora, tal como se presenta en la Fig. 3.24.

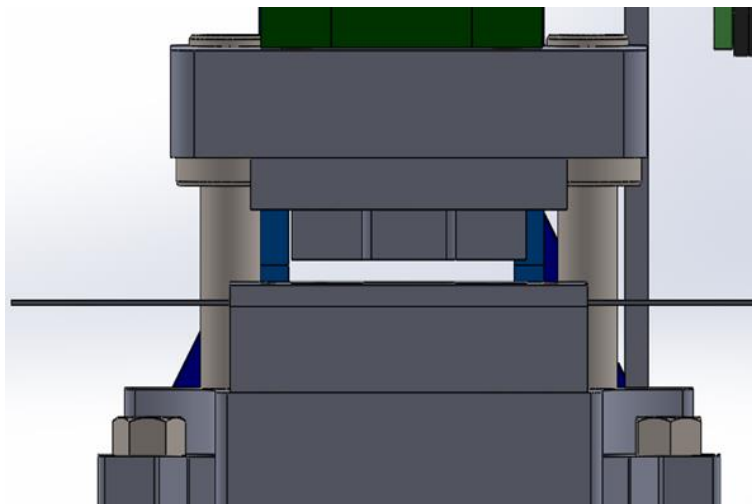


Fig. 3.24. Vista frontal del conjunto troquel.

Por último, se obtendrán las probetas expulsadas por la matriz, saliendo por debajo del soporte de la máquina, tal como se presenta en la Fig. 3.25.

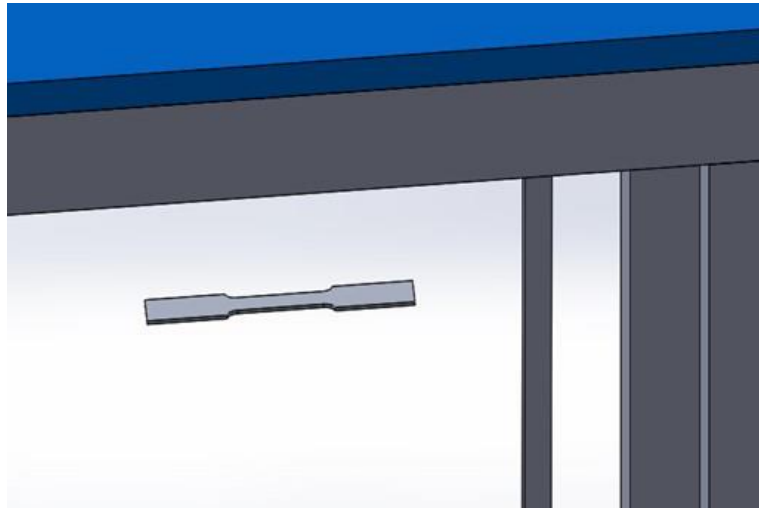


Fig. 3.25. Expulsión de la probeta por la parte inferior de la máquina.

3.2. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta la determinación de los costos para la construcción de la máquina troqueladora propuesta en este trabajo. Para realizar esta determinación de costos se obtuvieron las cotizaciones de los materiales y servicios a utilizar en la construcción, esto con el fin de determinar si es factible su construcción.

Así, es de suma importancia considerar hasta la más mínima pieza o elemento mecánico de que esté compuesta la máquina, ya que así se podrá establecer un valor más exacto del costo real de la construcción completa de la misma. Se realizó por separado el análisis de costos de materiales de fabricación y los costos de mano de obra.

3.2.1. COSTOS DE MATERIALES DE FABRICACIÓN

A continuación, en las Tablas 3.1 - 3.4 se presentan los costos de las piezas a conformar la máquina troqueladora, con su correspondiente valor monetario de su fabricación.

Es imperante que se consideren todas y cada una de las partes que componen la máquina, ya que así se puede establecer un valor total más exacto del costo que pueda tener la construcción completa del equipo, desde sus elementos de transmisión, pasando por aquellos puramente mecánicas, hasta llegar a lo más básico, es decir, soportes, estructuras, entre otros elementos.

Se dividirán en tablas los costos de materiales de fabricación y los costos de mano de obra, estas clasificadas de acuerdo a elementos y dependiendo a su naturaleza de acción, para esta máquina, se tendrán los elementos mecánicos y de corte, de transmisión y estructurales.

3.2.2. COSTOS DE MANO DE OBRA

En este apartado, en la Tabla 3.2 se presenta detalladamente una estimación de los costos de mano de obra para la fabricación de los elementos principales de la máquina troqueladora, estos costos unitarios se calculan al obtener el tiempo del ciclo de trabajo para obtener la pieza multiplicado por el salario/hora del operario. Sin embargo, también se tiene que recurrir a la experiencia propia, ya que se considera que el operario no mantiene un ritmo constante de producción, sino que se cansa hacia el final de cada turno, también se tiene que incluir el tiempo en el que el operador atiende periódicamente sus necesidades naturales, y además deberá tenerse en consideración la tolerancia para que la máquina se ajuste de vez en cuando, por razón de desgaste de las herramientas, o por el daño al herramental que sea preciso sustituir.

Tabla 3.1. Costo de materiales de fabricación, elementos, dispositivos de soporte y de ensamble.

Elemento	Costo unitario, \$	Unidad de medida	Cantidad	Costo total, \$
Motor eléctrico 2 HP, siemens trifásico	603.54	Pieza	1	603.54
Tubo estructural galvanizado cuadrado de 1 pulg, chapa 16	19.50	m	1	19.50
Pletina SAE 1020 1.70 m x 1.70 1/4 pulg de espesor	456.96	Pieza	11	456.96
Barra cilíndrica SAE 1045 1 3/4 pulg, 9.75 pulg de longitud	71.25	m	1	20.21
Broca de cobalto para metal 1/4 pulg	4.35	Pieza	1	4.35
Broca de cobalto, para metal de 3/8 pulg	8.60	Pieza	1	8.60
Varilla cuadrada 1/2 pulg, 6 m de longitud	5.45	m	1	5.45
Polea doble 3 pulg	20.95	Pieza	1	20.95
Polea doble 15 pulg	85.15	Pieza	1	85.15
Bandas en V tipo A	15.95	Pieza	2	31.9
Cojinetes radiales 6310	35.60	Pieza	2	71.20
Barra de acero SAE 1020, 1 pulg, 13.6 cm de longitud	19.80	Pieza		19.80
Tornillo hexagonal #10 x 1/2 pulg	0.65	Pieza	4	2.60
Tornillo de cabeza hueca 1/4 x 2 pulg	0.75	Pieza	8	6.00
Tornillo rascador con cabeza de arandela 1/2 x 2 pulg, rosca ordinaria	0.55	Pieza	2	1.10
Tuercas hexagonales pesadas 3/8 pulg, rosca ordinaria	0.15	Pieza	6	0.90
Perno de cabeza hexagonal 3/8 x 1.5 pulg, rosca ordinaria	0.75	Pieza	6	4.5
Pasadores de espiga 1/4 x 2 1/2 pulg	2.25	Pieza	8	18
Electrodos E 6013	9.80	lb	1	9.80
Bujes 1/4 x 2 1/2 pulg.	7.58		4	57.45
Anillos de retención externos 14 mm.	0.35	Pieza	2	0.70
Anillos de retención externo de 51 mm.	0.85	Pieza	2	1.70
Pintura anticorrosiva verde, 1/4 de galón.	4.25	Gal	1/4	4.25
			Total	1,454.51

Se considera un salario de \$ 500.00 mensuales para el operario a cargo de la fabricación de los elementos, considerando que trabaja de lunes a viernes y en una jornada de 8 horas, el salario por hora correspondiente es de \$ 2.08.

Tabla 3.2. Costos de mano de obra del proyecto.

Elemento		Tiempo de operación, h	Costo unitario, \$	Cantidad	Costo total, \$
Eje de transmisión	Maquinado	4	12.00	2	24.00
Estructura	Corte, soldadura y perforación.	16	53.28	2	106.56
Conexión eléctrica del motor	Cableado, y conexión	4	13.32	1	13.32
Ensamble de elementos	Unión de todos los componentes, ajustes y pruebas.	8	26.64	1	26.64
Pintura	Pintar componentes de la máquina	4	10.00	1	10.00
				Total	180.52

3.2.3. COSTOS INDIRECTOS

Se presenta los costos indirectos en la Tabla 3.3, estos incluyen el costo por el consumo mensual de electricidad (electricidad de las máquinas, de las lámparas, ventilador/extractor del taller, entre otras), también incluye la depreciación de las máquinas, depreciación de las herramientas y otros gastos como papelería, herramientas menores, artículos de limpieza y seguridad.

Tabla 3.3. Costos indirectos del proyecto.

Elemento	Costo, \$
Electricidad	25.00
Agua	2.50
Depreciación de máquinas	50.00
Depreciación de herramientas	25.00
Otros gastos e imprevistos	100.00
Total	202.50

En la Tabla 3.4 se presenta la inversión económica total del proyecto, resumiendo los totales de los costos por materiales, mano de obra e indirectos.

Tabla 3.4. Costos totales del proyecto.

Descripción	Costo, \$
Costos de materiales	1454.51
Costos por mano de obra	180.52
Costos indirectos	202.50
Costo total de la máquina	1,837.53

4. DISEÑO DE MANUALES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTOS

En los capítulos anteriores se realizó el diseño de los elementos esenciales de la máquina y se determinaron los costos de fabricación. A continuación, se realizará el diseño de los manuales de operación y mantenimiento del molino triturador.

Este apartado conlleva un desafío ya que se busca diseñar un manual de mantenimiento y uno de operaciones de la manera más sencilla, visual y amigable posible para despertar el interés y sustentar el conocimiento de los estudiantes.

4.1. DISEÑO DEL MANUAL DE OPERACIÓN

Al diseñar la troqueladora y ser entonces un equipo que al ser construido estará a la disposición de estudiantes, se pretende diseñar un manual de procedimientos para la operación adecuada del mismo. El manual de operaciones es una guía de referencia que contiene toda la información sobre el funcionamiento de la máquina troqueladora.

4.1.1. OBJETIVO

Proveer un procedimiento que establezca el conjunto de actividades que permitan a los operadores de la máquina, trabajar de una manera sistemática y eficiente.

4.1.2. RESPONSABILIDADES

Las responsabilidades de un manual de operaciones para una máquina que estará a disposición de los estudiantes conllevan el objetivo de establecer el

conjunto de actividades que reduzca el riesgo de operarla, así a continuación se presentan las principales responsabilidades que se deben de tomar en cuenta al momento de elaborarlo:

- ✓ Identificar los procedimientos de operación. Con base en ellos se deberán separar las actividades que se realizan y se les dará una secuencia.
- ✓ Redactar de la forma más sencilla y clara.
- ✓ Integrar toda información que directamente está ligada a la operación de la máquina, por ejemplo, equipo de seguridad necesario, entre otra.
- ✓ El manual puede ser tan detallado como se requiera. Se tiene que tener en consideración que, si es lo más específico posible, no se dará pauta alguna a una duda.
- ✓ Actualizar constantemente la información, ya que al ser considerado un documento vivo, éste deberá estar sujeto a modificaciones.

4.1.3. CONTENIDO

El contenido propuesto del manual de operaciones es el siguiente:

- ✓ Introducción: Una breve sección que indica el propósito principal del manual.
- ✓ Normas de seguridad: Este apartado incluye el análisis de los peligros que se tienen al operar la máquina, estos pueden ser del tipo mecánicos, eléctricos, térmicos, radiaciones, vibraciones, higiénico, biológicos o defectos ergonómicos. Posteriormente la valoración del riesgo, y la selección de medidas de seguridad.
- ✓ Pictogramas: La función principal de los pictogramas es llamar la atención sobre el daño que una desatención, puede provocar a la salud de los operadores.
- ✓ Descripción técnica de los elementos principales: Se sugiere utilizar una tabla y desarrollarla de forma en que se describan los elementos esenciales de la máquina a medida se cumple el ciclo de trabajo de la misma. Se debe de

hacer de forma concisa y clara, ya que su objetivo es que el operador conozca los elementos principales del proceso.

- ✓ Procedimientos y lista de verificación previos a la puesta en servicio: Comprende un protocolo cuya finalidad es que se asegure lo máximo posible el correcto funcionamiento de la máquina.
- ✓ Accionamiento de la máquina: Descripción de pasos para iniciar el funcionamiento de la máquina posteriormente de la verificación de su estado.
- ✓ Parada de la máquina: Pasos para detener el funcionamiento de la máquina de manera correcta.
- ✓ Limpieza e Inspección final: Consta de los pasos que se deben seguir cuando la máquina se encuentra en paro total y lista para terminar su jornada de uso.
- ✓ Disposiciones finales: Por lo general este apartado se usa para poner recomendaciones sobre el uso de la máquina que no estén contempladas en las indicaciones anteriores.

4.2. DISEÑO DEL MANUAL DE MANTENIMIENTO

Un manual de mantenimiento es aquel que describe las normas y procedimientos que se utilizan para efectuar la función de mantenimiento. Estos manuales tienen procesos básicos como la planeación, la organización, la ejecución y el control de actividades.

4.2.1. OBJETIVO

Proporcionar un protocolo que brinde la oportunidad de centrar nuestra atención en la periodicidad de actividades que se deben ejecutar, para garantizar la mantenibilidad del equipo.

4.2.2. RESPONSABILIDADES

Las responsabilidades de un manual de mantenimiento contienen la magnitud de dichas acciones con el objetivo de proveer al encargado de desarrollar las tareas de mantenimiento un protocolo conforme a la máquina, a continuación, se presentan dichas responsabilidades a tomar en consideración:

- ✓ Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre la máquina;
- ✓ Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar;
- ✓ Evitar accidentes;
- ✓ Evitar incidentes y aumentar la seguridad para los operadores;
- ✓ Conservar la máquina en condiciones seguras y en óptimo funcionamiento; y
- ✓ Alcanzar o prolongar la vida útil de la máquina.

Llevar a cabo una inspección sistemática, con intervalos de control para detectar oportunamente cualquier desgaste en los elementos de la máquina.

4.2.3. CONTENIDO

El contenido propuesto del manual de mantenimiento es el siguiente:

- ✓ Introducción: Una breve sección que indique el propósito principal del manual.
- ✓ Beneficio del mantenimiento: Presenta los resultados positivos de realizar un mantenimiento efectivo.
- ✓ Rutinas de mantenimiento: Consiste en la inspección periódica y armónicamente coordinada, de los elementos propensos a fallas y a la corrección antes de que esto ocurra.
- ✓ Programa de mantenimiento: Es uno de los puntos más importantes ya que se reduce a ser el elemento en un modelo de gestión, es el responsable de que se lleve un control de una serie de tareas que de manera planeada y programada se realicen en una frecuencia determinada.
- ✓ Estrategias de mantenimiento: Constituyen instructivos y formatos que ayudan a llevar un control administrativo del programa de mantenimiento.

CONCLUSIONES

Finalizado el desarrollo del trabajo de graduación sobre troqueladora de probetas planas para ensayos de tracción, se puede concluir que:

- ✓ Se ha diseñado una máquina troqueladora de probetas planas para ensayos de tracción, accionada por una transmisión mecánica por bandas a partir de una alimentación mediante un motor eléctrico.
- ✓ Se garantiza la obtención de probetas planas subescalas, ya que se utilizó la norma ASTM designación E-8M-04, que define las medidas estandarizadas de probetas planas que para ensayos de tracción.
- ✓ Se diseñó un sistema de embrague mecánico simple, accionado por un pedal, que permitirá al usuario tener control el total de los impactos de la troqueladora, además de presentar un proceso más visible en el instante que los estudiantes realicen sus respectivas prácticas.
- ✓ El costo estimado de construcción de una máquina troqueladora es de \$ 1,837.53, y aunque se han considerado en su mayoría los costos directos e indirectos, este valor se debe de actualizar cuando se vaya a construir dicha máquina ya que el costo de los materiales de construcción, componentes de máquina y mano de obra podrían ser diferentes.
- ✓ El aporte en la elaboración de los manuales de operación y de mantenimiento de la máquina troqueladora, podrían ser un fuerte insumo para considerar la construcción de dicha máquina, ya que se demuestra un uso eficiente y seguro, como también un fácil mantenimiento lo cual se traduce una larga vida útil de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Groover, M.P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. México: McGraw Hill.
- [2] Contín, A. (1968). *Tecnología mecánica 2*. México: Reverté
- [3] Heinrich, G. (2006). *Alrededor de las máquinas-herramientas*. Loreto: Reverté, S.A.
- [4] Johnson, O.A. (1973). *Diseño de máquinas herramienta*. México: Roble.
- [5] Marin Villar, C. (2009). Troqueles y troquelado para la producción de grandes series de piezas. Metal actual.
- [6] Falk, Gockel, Lernet y Schlossorsch (1986). *Metalotecnía fundamental*. Bogotá: Reverté, S.A.
- [7] Timoshenko, J. (2002). *Resistencia de materiales*. Madrid: Thomson.
- [8] Shigley, J. (2002). *Diseño en Ingeniería mecánica*. México DF: McGraw-Hill/Interamericana.
- [9] Beer, J. (2007). *Mecánica de materiales*. México DF: McGraw-Hill/Interamericana.
- [10] Marín, J. (2008). *Apuntes de diseño de máquinas*. Alicante: Club universitario.
- [11] Kalpakjian, S. y Schmid S. (2002). *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México DF: Prentice-Hall.
- [12] Klocke, F. (2013). *Manufacturing processes 4, Forming*. Berlin: Springer.
- [13] Boljanovic, V., & Paquin, J. (2006). *Die desing fundamentals* (3 ed). New York: Industrial Press Inc.
- [14] Oarlan (21 de 02 de 2009). *OARLAN*. Obtenido de OARLAN: <http://oarlan.com>

ANEXOS

ANEXO A: MANUALES DE OPERACIÓN

MANUAL DE OPERACIÓN DE MÁQUINA TROQUELADORA DE PROBETAS PLANAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN



Todas las advertencias están marcadas con este símbolo y deben ser estrictamente respetadas.

Introducción

Antes de trabajar con este equipo, este manual debe ser leído cuidadosamente y claramente entendido. La operación de este equipo debe realizarse bajo ciertas precauciones para evitar ocasionar problemas en el mismo equipo, u ocasionar accidentes en las personas que lo manipulan. Con el adecuado cuidado y su respectivo mantenimiento se garantiza el correcto funcionamiento de dicho equipo. Este es una máquina troqueladora de probetas planas para ensayo de tracción, por lo tanto, para mantener el correcto funcionamiento no olvide seguir las indicaciones estipuladas en el Manual de Mantenimiento.



Normas de seguridad

La máquina sólo deberá ser utilizada según lo establecido en este manual de operaciones.

El mantenimiento, limpieza y ajuste sólo se deberá llevar a cabo una vez que el equipo operativo se encuentre parado.

Antes de poner en marcha el equipo siempre se debe realizar una inspección previa para corroborar que los elementos se encuentren ubicados en donde corresponden y se encuentren en buen estado.

Antes de realizar el corte retirar cualquier elemento extraño que puede interferir en la realización de este.

El o los usuarios de la máquina deben de portar equipo de protección personal, como lo son guantes, gafas y calzado de protección.

Después de un trabajo de reparación o de mantenimiento, asegúrese de que todos los elementos están en su sitio.

El usuario de la máquina es responsable de que no haya terceras personas o animales en las áreas de operación o de riesgo.

La máquina sólo puede ser usada por personas autorizadas previamente.

Antes de empezar a usar la máquina troqueladora, asegúrese de que la estructura está firme y estable.

No introduzca las manos en la zona de corte hasta que el eje que el eje que transmite el movimiento al troquel este totalmente detenido.

PICTOGRAMAS

¡Use gafas protectoras!	
¡Use guantes protectores!	
¡Use calzado de protección!	
Lea el manual de instrucciones antes de empezar a usar la máquina	
No manipule ninguna de las partes de la máquina hasta que esté completamente parada.	
No se acerque a las partes de la máquina que estén en movimiento.	

DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS ELEMENTOS PRINCIPALES

Elemento	Descripción
Alimentación	La alimentación del material a ser cortado se realizará de forma manual
Sistema de accionamiento mecánico	La máquina troqueladora está prevista de un motor que es el elemento encargado de proporcionar la potencia necesaria para la operación de corte.
Sistema de transmisión de potencia	La potencia mecánica se transmite por un sistema de dos poleas, las cuales transmiten la potencia del motor hacia el eje de la máquina.
Eje	La máquina consta de un eje donde se encuentra un elemento excéntrico que convierte el movimiento rotacional en lineal.
Sistema de corte	El elemento de corte está compuesto por el punzón y la matriz de corte.

OPERACIÓN

A. PROCEDIMIENTOS Y LISTA DE VERIFICACIÓN PREVIOS A LA PUESTA EN SERVICIO	
<p>Antes de poner en marcha la troqueladora, conviene que se asegure de haber completado los pasos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Utilizar equipo de protección 2) Inspeccionar el sistema de corte. 4) Despejar el área alejando personas y objetos 5) Trabajar con iluminación adecuada. 	
Use ropa de protección aprobada y equipos de protección personal cuando la máquina esté en funcionamiento:	<p>Use siempre gafas de seguridad aprobadas por la ANSI, que cuenten con defensas laterales.</p> <p>Use pantalones largos para protegerse las piernas contra algún escombros despedido bruscamente.</p> <p>No use nunca joyas ni ropa holgada cuando ponga en marcha la máquina troqueladora. La ropa holgada o colgante, las joyas y el cabello se puedan enredar en las piezas móviles.</p>
Inspeccionar el sistema de corte	Inspeccione el sistema de corte a fin de verificar que no se encuentre ningún objeto extraño que pueda dañar el troquel y la matriz de corte o que interfiera para realizar el corte de manera adecuada.
Despejar el área alejando personas y cosas	Despeje el área operativa e informe a las personas de su entorno a fin de evitar accidentes.
Trabajar con iluminación adecuada	Use la máquina solamente en horas de luz del día o en condiciones de iluminación adecuada.

B. ACCIONE LA MÁQUINA TROQUELADORA

Una vez completados los procedimientos y la lista de verificación previos al arranque, usted está listo para operar la máquina y troqueladora.



Advertencia:

No trate nunca de usar la máquina troqueladora sin el equipo de protección adecuado, especialmente elementos de protección para los ojos.

Para accionar la máquina troqueladora:

- 1) El operador de la máquina debe de accionar el botón de encendido del motor.
- 2) El operador realizara la alimentación de manera manual del material a ser troquelado.
- 3) Para realizar el troquelado el operador debe presionar el pedal que acciona el embrague para que se transmita el movimiento al punzón.
- 3) El operador debe de inspeccionar visualmente el funcionamiento de la máquina para garantizar el buen funcionamiento.



Advertencia:

Manténgase en la posición del operador. No se aleje de la máquina mientras está en funcionamiento.

C. PARADA DE LA MAQUINA TROQUELADORA

Siga estos pasos para parar la máquina troqueladora

Parar de presionar el pedal para que se desacople el embrague y ya no se transmita movimiento al punzón.



Advertencia:

Hasta desacoplar el embrague mantener las manos alejadas de la zona de corte, ya que el troquel podría causarle un corte
Presionar el botón de apagado del motor.

D. LIMPIEZA E INSPECCIÓN FINAL

Al terminar el proceso de troquelado siga los siguientes pasos:

Inspeccionar el producto final, ya que de éste dependerá si es necesario realizar algún tipo de mantenimiento a la máquina o modificar los pasos de operación a fin de corregir los problemas

Limpie toda la suciedad o materias extrañas que se encuentren en la máquina.

Inspeccione la máquina para detectar piezas desgastadas o dañadas y apriete las tuercas o los tornillos que se hayan aflojado.



Advertencia:

Poner atención especial al troquel

E. DISPOSICIONES FINALES

Si la máquina no se usara de forma cotidiana, es necesario accionar la máquina troqueladora a intervalos regulares cada cierto tiempo, como mínimo cada cuatro semanas, y por lo menos 10 minutos. Se tiene que tener en consideración que intervalos de uso mensuales ayuda a secar la humedad acumulada y lubrica las partes esenciales de la máquina, recordar que las piezas mecánicas secas pueden deteriorar la máquina y uno de los objetivos primordiales es mantener el equipo en condiciones adecuadas para su funcionamiento.

Recuerde almacenar la máquina en un lugar:

- Limpio y seco.
- Alejado de fuentes de calor, llamas abiertas, chispas.
- Cubierto para ofrecer mayor resguardo de la suciedad u objetos extraños.



Advertencia:

Antes de ejecutar labores de mantenimiento lea detenidamente el "Manual de Mantenimiento" y siga sus instrucciones.

ANEXO B: MANUAL DE MANTENIMIENTO

INTRODUCCIÓN

En la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador se encuentran laboratorios específicos que ayudan a comprender conceptos y a dinamizar el aprendizaje por medio de equipos especiales, al ser una entidad de educación será de consecuencias graves tener accidentes que pongan en riesgo la salud de los estudiantes y también se evita degradar los equipos para que su nivel de alcance sea mayor. Por lo tanto, las causas pueden ser múltiples y diversas, entre las principales están los malos usos de los equipos, las condiciones de trabajo a las que están sometidas, fallas técnicas o bien la finalización de la vida útil del equipo. Antes de que la seguridad de las personas y de los equipos se vean comprometidas es necesario llevar a cabo mantenimiento de los mismo. Es en este punto donde cabe mencionar la importancia de realizar un programa de mantenimiento efectivo y confiable para los equipos de los laboratorios. Entonces será necesario llevar un control periódico y ordenado de los trabajos de mantenimiento para reducir al máximo los posibles problemas que puedan surgir en los equipos de laboratorio.

El objetivo de este manual de mantenimiento es proporcionar un protocolo que brinde la oportunidad de centrar nuestra atención en la periodicidad de actividades que se deben ejecutar, para garantizar la mantenibilidad del equipo. De esta manera se darán pautas necesarias sobre las formas de realización, medición y distribución de los tiempos de mantenimiento, seguridad de los trabajos y aspectos a tener en consideración para facilitar el mantenimiento.

BENEFICIO DEL MANTENIMIENTOS

Es importante conocer el ensamble de la máquina (ver, Fig. A.C.1), esto es útil cuando se realiza el mantenimiento requerido. Entre los beneficios alcanzados al desarrollar un programa de mantenimiento efectivo se encuentran:

- a) Reducción de fallas inesperadas de los equipos.
- b) Aumento de tiempo medio de funcionamiento de la maquinaria sin paradas.

- c) Reducción de la cantidad de repuestos de reserva.
- d) El buen estado de los equipos durante su vida útil.

RUTINAS DE MANTENIMIENTO		
Realice las tareas de mantenimiento regular	Realice las tareas de mantenimiento periódico según se indica en el manual para mantener la troqueladora en condiciones seguras de trabajo.	
Respete las reglas de seguridad	<p>Lea y respete estas reglas de seguridad cuando realiza tareas de servicio al molino triturador:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ocupe todas las medidas de seguridad ocupacional vertidas en el manual de operaciones. • Piezas de repuesto. Si se tiene que cambiar una pieza, use solamente piezas de reparación acordes al diseño de la máquina. Las piezas de repuesto que no responden a las especificaciones pueden resultar peligrosas para la seguridad o provocar el funcionamiento deficiente del molino triturador. 	
Lubricación	Se tiene que engrasar los rodamientos del eje de la máquina troqueladora. Aplique un film lubricante, también llamado película de aceite, entre los cuerpos rodantes y la pista de rodadura.	
	Especificaciones del lubricante	
	Tipo de lubricante	Grasa VIB: grasa para piezas sometidas a choques o vibraciones importantes.
	Usos	Recomendada para su uso en papeleras, molinos, cribas vibrantes, ventiladores.
	Rango de temperaturas	-20 °C y +120°C
	Consistencia	2
	Viscosidad a 100 °C	25 cSt
	Viscosidad a 40 °C	360 cSt
	Aceite de base	Semisintético
Bandas	Se tiene que realizar una inspección frecuente del estado de las bandas ya que estas pueden agrietarse y romperse durante el funcionamiento de la máquina.	
Polea	Se tiene que realizar una inspección frecuente del estado de las poleas, a fin de controlar su correcto funcionamiento.	
Troquel	Realizar inspección después de cada uso, ya que del buen estado de este elemento depende la calidad de la pieza.	

Programa de mantenimiento



Advertencia:

Antes de intentar realizar tareas de mantenimiento, asegúrese de que tiene todo el equipo de seguridad adecuado y que la máquina está totalmente detenida.

Elemento a verificar	Cada uso	Cada 24 horas	Mensualmente	Cada seis meses
Rodamientos, eje-grasa			X	
Pernos-apriete			X	
Sticker de advertencia-legitimidad	X			
Troquel	X			
Matriz de corte	X			
Motor				X
Poleas y bandas				X
Limpieza externa	X			
Revisión del aspecto físico general del equipo y sus componentes			X	
Inspección interna del equipo				X

NOTA:

Si es necesario cambiar una pieza, use solamente piezas que responden a las especificaciones por la cual fueron diseñadas. Las piezas de repuesto que no responden a las especificaciones pueden resultar peligrosas para la seguridad o provocar el funcionamiento deficiente de la máquina troqueladora.

INSTRUCTIVO DE USO DEL FORMATO DE CALENDARIZACIÓN DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS.

Con este formato se pretende programar los mantenimientos de acuerdo a su uso y necesidades de la máquina, considerando también las actividades del laboratorio y días festivos, Por lo tanto, su llenado es de la siguiente manera:

- 1) Período: Anotar el periodo actual en base a la clase.
- 2) Mes: Se anota el mes a efectuar el mantenimiento.
- 3) Área: Especificar el área que recibirá el mantenimiento.
- 4) Responsable: Nombre de la persona responsable del área.
- 5) Cantidad: Especificar el número de equipos.
- 6) Descripción del equipo: Indicar una breve descripción del equipo.
- 7) Fecha: Anotar el período en que se realizará el mantenimiento.

Período (1)					
Mes (2)	Área (3)	Responsable (4)	Cantidad (5)	Descripción del equipo (6)	Fecha (7)

Con el programa ya establecido se pretende hacer el mantenimiento a los equipos en tiempo y forma.

FORMATO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO O CORRECTIVO

Llene el presente formulario cada vez que se realicen tareas de mantenimiento en la máquina. Sea claro y breve. Garantizar que todos los campos estén llenos al final de cada mantenimiento. Llene con una X los campos que así lo requieran.

- 1) N° de mantenimiento. Indicar el número de servicio
- 2) Tipo de mantenimiento. Especificar el tipo de mantenimiento correctivo o preventivo.

- 3) Fecha de inicio. Especificar la fecha de inicio del mantenimiento.
- 4) Fecha de finalización. Especificar la fecha de finalización del mantenimiento.
- 5) Nombre del encargo. Escribir el nombre del encargado de realizar el mantenimiento.
- 6) Traslado: Indicar si el bien será reparado fuera de la escuela de Ingeniería mecánica.
- 7) Lugar de traslado: Indicar si es el caso, el lugar de traslado de la máquina.
- 8) Descripción del servicio o falla. Describir la falla o el servicio a realizar.
- 9) Diagnóstico de la falla. Describir el diagnóstico de la falla. Elementos a realizar mantenimiento: Elementos que se verán afectados por el mantenimiento.
- 10) Descripción del mantenimiento: Descripción del proceso desarrollado en el mantenimiento.
- 11) Firma responsable. El responsable de dar el mantenimiento firmara el documento.
- 12) Observaciones. Cualquier imprevisto que surgiera durante la realización del mantenimiento.
- 13) A continuación, se presenta el formato que se usa para el mantenimiento preventivo o correctivo según sea el caso.

No. De mantenimiento (1):

Tipo de mantenimiento (2): Preventivo Correctivo

Fecha de inicio (3): Fecha de finalización (4):

Traslado (6): Lugar de traslado (7):

Descripción del servicio o falla (8):

Diagnóstico de la falla (9):

Elementos a realizar mantenimiento (10):

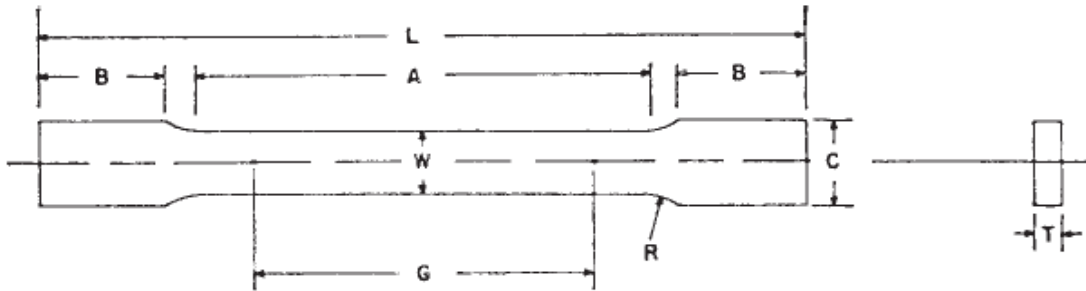
Descripción del mantenimiento (11):

Firma del responsable (12): _____

Observaciones (13):

ANEXO C: NORMA E-8M-04

Métodos de prueba estándar para pruebas de tracción de materiales metálicos [métrica].



Dimensiones, mm			
Ancho nominal	Probetas estándar		Probetas subescaladas
	Plate-type 40 mm	Sheet-type 12.5 mm	6 mm
G-Longitud del calibre (Nota 1 y 3)	200.0 ± 0.2	50.0 ± 0.1	25.0 ± 0.1
W-Ancho (Nota 3 y 4)	40.0 ± 2.0	12.5 ± 0.2	6.0 ± 0.1
T- Espesor (Nota 5)			
R- Radio del filete (nota 6)	25	12.5	6
L-Longitud total (Nota 2, 7 y 8)	450	200	100
A-Longitud de la sección reducida	225	57	32
B-Longitud de la sección de agarre	75	50	30
C-Ancho de la sección de agarre	50	20	10

NOTA 1.- Para la probeta de 40 mm de ancho, las marcas de perforación para medir el alargamiento después de la fractura se deben hacer en el plano o en el borde de la probeta y dentro de la sección reducida. Se puede utilizar un conjunto de nueve o más marcas de perforación con una separación de 25 mm, o uno o más pares de marcas de perforación con una separación de 200 mm.

NOTA 2.- Cuando no se requieren medidas de alargamiento de probetas de 40 mm de ancho, se puede usar una longitud mínima de sección reducida (A) de 75 mm con todas las otras dimensiones similares a las de la probeta tipo placa.

NOTA 3.- Para los tres tamaños de probetas, los extremos de la sección reducida no deben diferir en ancho en más de 0.10, 0.05 o 0.02 mm, respectivamente.

Además, puede haber una disminución gradual en el ancho desde los extremos hasta el centro, pero el ancho en cada extremo no debe ser más del 1% más grande que el ancho en el centro.

NOTA 4.- Para cada uno de los tres tamaños de probetas, se pueden usar anchos más estrechos (W y C) cuando sea necesario. En tales casos, el ancho de la sección reducida debe ser tan grande como lo permita el ancho del material que se está probando; sin embargo, a menos que se indique específicamente, los requisitos de alargamiento en una especificación de producto no se aplicarán cuando se utilicen estas probetas más estrechas.

NOTA 5.- La dimensión T es el espesor de la probeta de ensayo según lo dispuesto en las especificaciones de material aplicables. El espesor mínimo de las probetas de 40 mm de ancho será de 5 mm. El espesor máximo de las probetas de 12.5 mm y 6 mm de ancho debe ser de 19 mm y 6 mm, respectivamente.

NOTA 6.- Para la probeta de 40 mm de ancho, se permite un radio mínimo de 13 mm en los extremos de la sección reducida para probetas de acero de menos de 690 MPa en resistencia a la tracción cuando se usa un cortador de perfiles para mecanizar la sección reducida.

NOTA 7.- La dimensión que se probeta se sugiere como mínimo. Para determinar la longitud mínima, las mordazas no deben extenderse hasta la sección de transición entre las Dimensiones A y B, consulte la Nota 9.

NOTA 8.- Para ayudar a obtener la aplicación de fuerza axial durante la prueba de probetas de 6 mm de ancho, la longitud total debe ser tan grande como lo permita el material, hasta 200 mm.

NOTA 9.- Es deseable, si es posible, hacer que la longitud de la sección de agarre sea lo suficientemente grande para permitir que la probeta se extienda hacia los agarres una distancia igual a dos tercios o más de la longitud de los agarres. Si el grosor de las probetas de 12.5 mm de ancho es superior a 10 mm, pueden ser necesarios agarres más largos y secciones de agarre correspondientemente más largas de la probeta para evitar fallas en la sección de agarre.

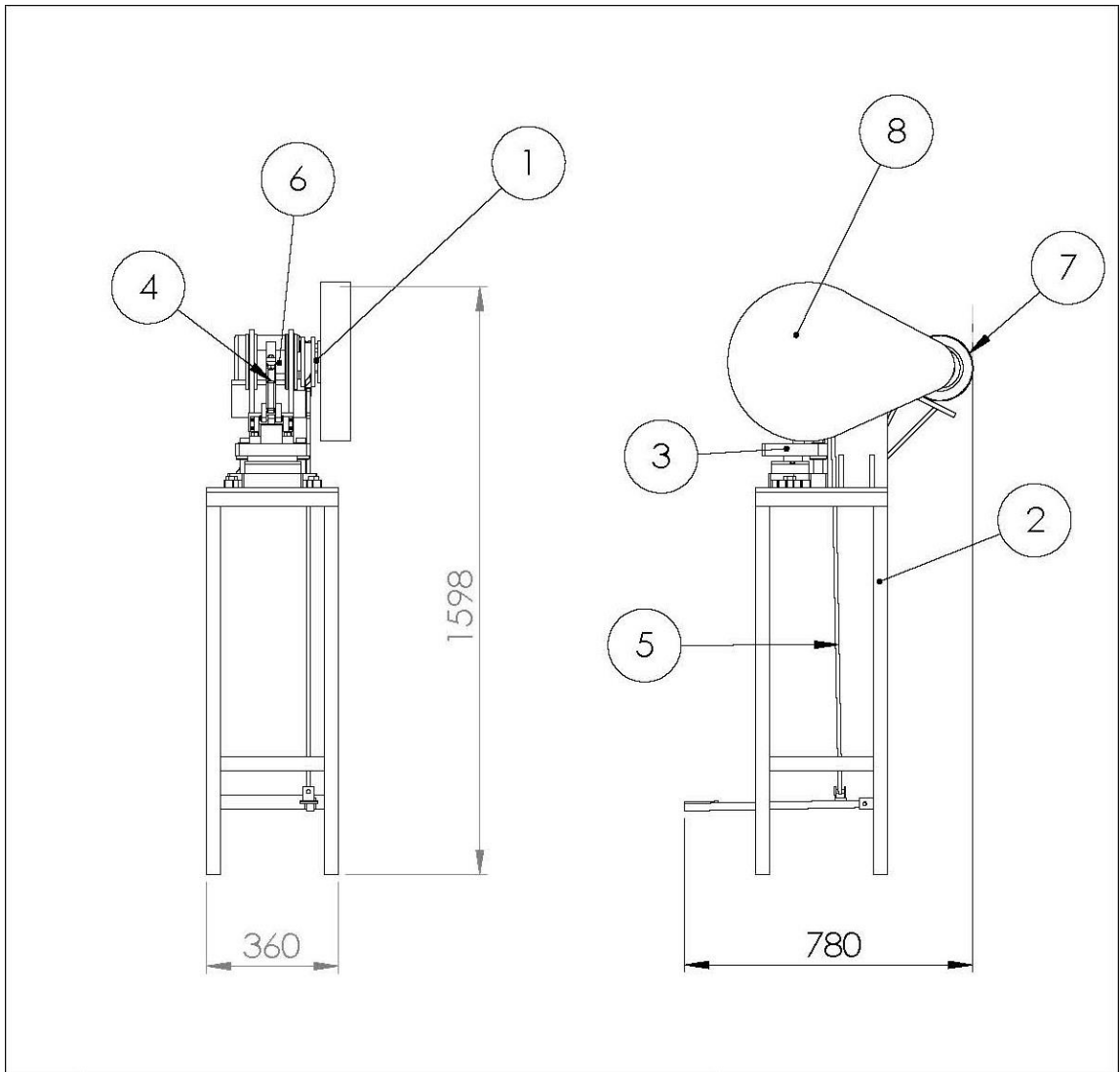
NOTA 10.- Para los tres tamaños de probetas, los extremos de la probeta deben ser simétricos en ancho con la línea central de la sección reducida dentro de 2.5, 0.25 y 0.13 mm, respectivamente. Sin embargo, para las pruebas de árbitros

y cuando así lo requieran las especificaciones del producto, los extremos de la probeta de 12.5 mm de ancho deben ser simétricos dentro de 0.2 mm.

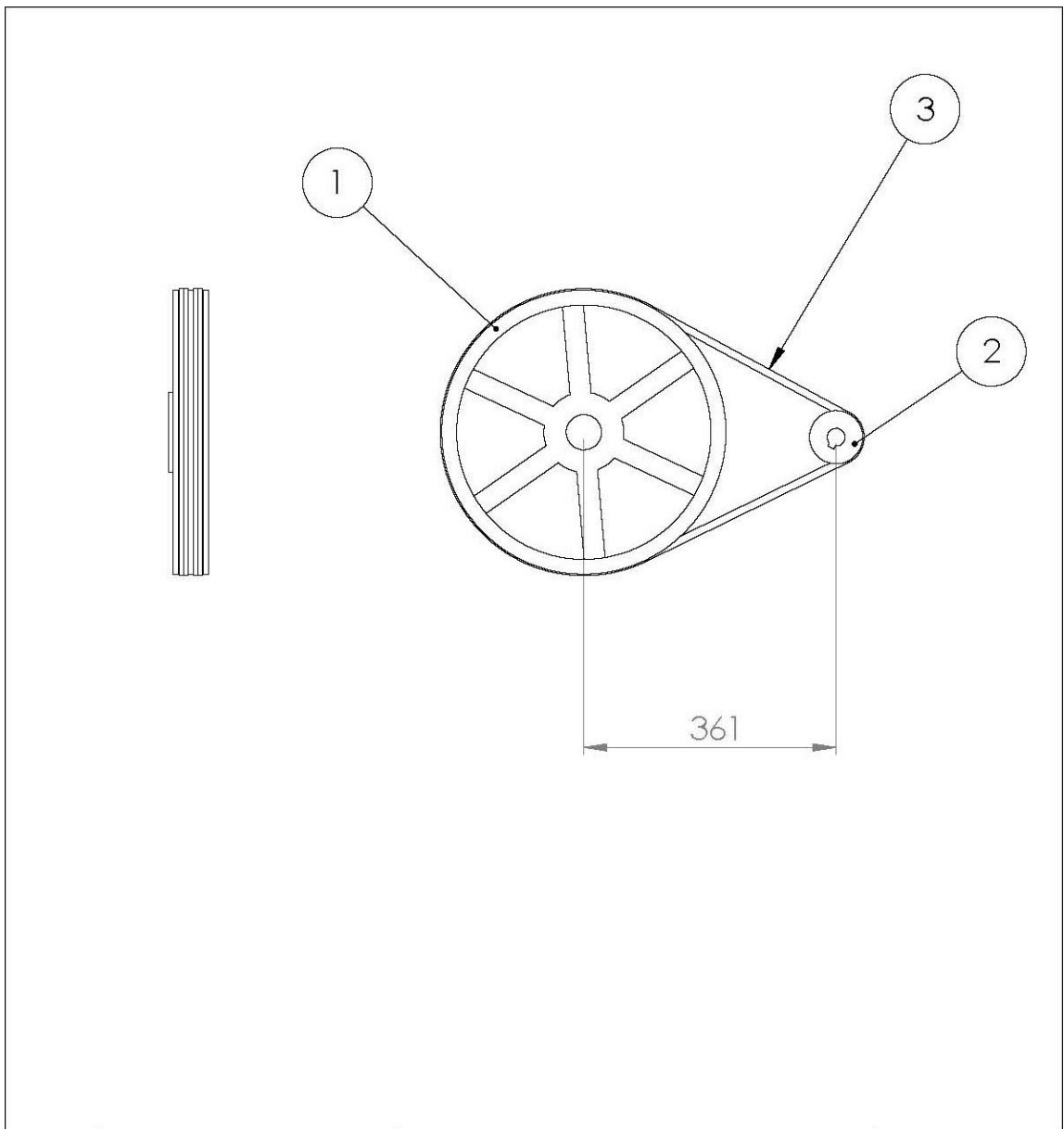
NOTA 11.- Para cada tipo de probeta, los radios de todos los filetes deben ser iguales entre sí dentro de una tolerancia de 1.25 mm, y los centros de curvatura de los dos filetes en un extremo particular deben ubicarse uno frente al otro (en una línea perpendicular a la línea central) con una tolerancia de 2.5 mm.

NOTA 12.- Se permiten probetas con lados paralelos en toda su longitud, excepto para pruebas de árbitros, siempre que: (a) se utilicen las tolerancias anteriores; b) se proporcione un número suficiente de marcas para determinar el alargamiento; y (c) cuando se determina el límite elástico, se usa un extensómetro adecuado. Si la fractura se produce a una distancia de menos de 2 W del borde del dispositivo de agarre, las propiedades de tracción determinadas pueden no ser representativas del material. En las pruebas de aceptación, si las propiedades cumplen con los requisitos mínimos especificados, no se requieren más pruebas, pero si son inferiores a los requisitos mínimos, deseche la prueba y vuelva a probar.

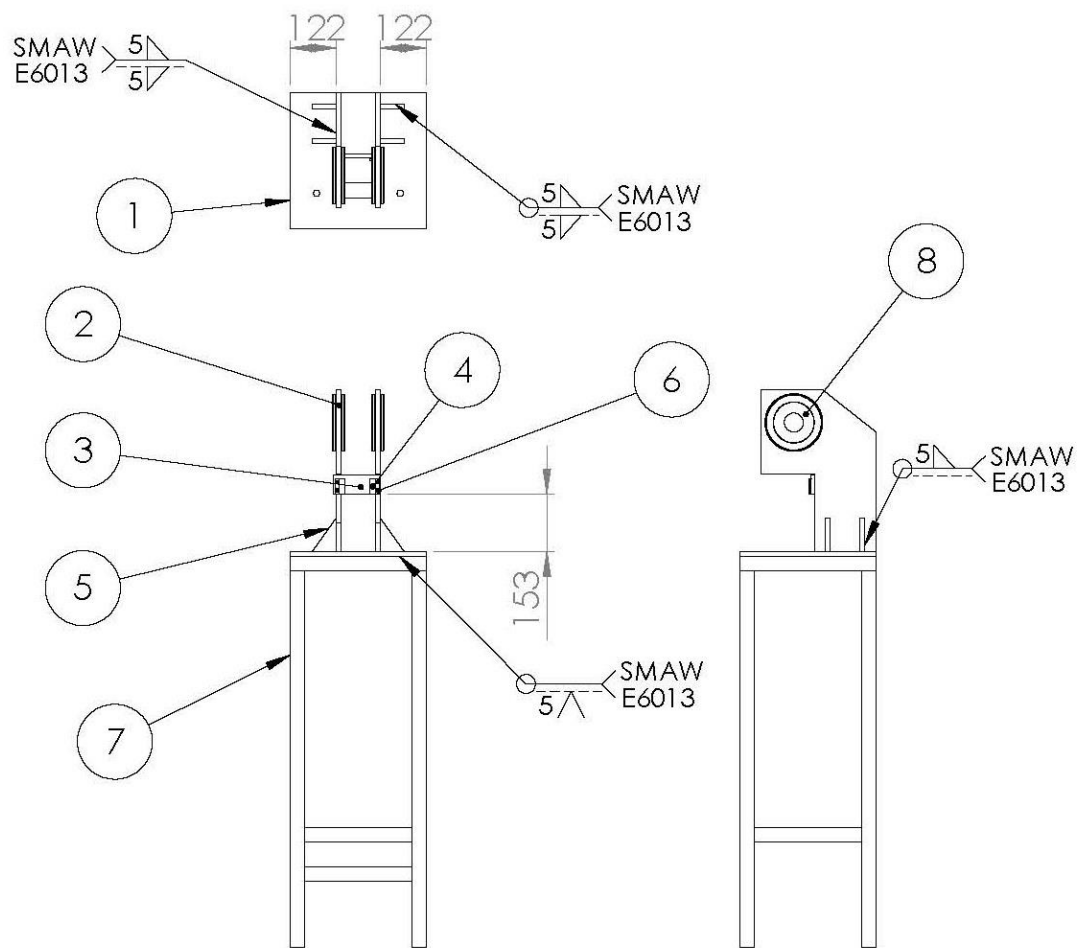
ANEXO D: PLANOS

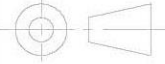


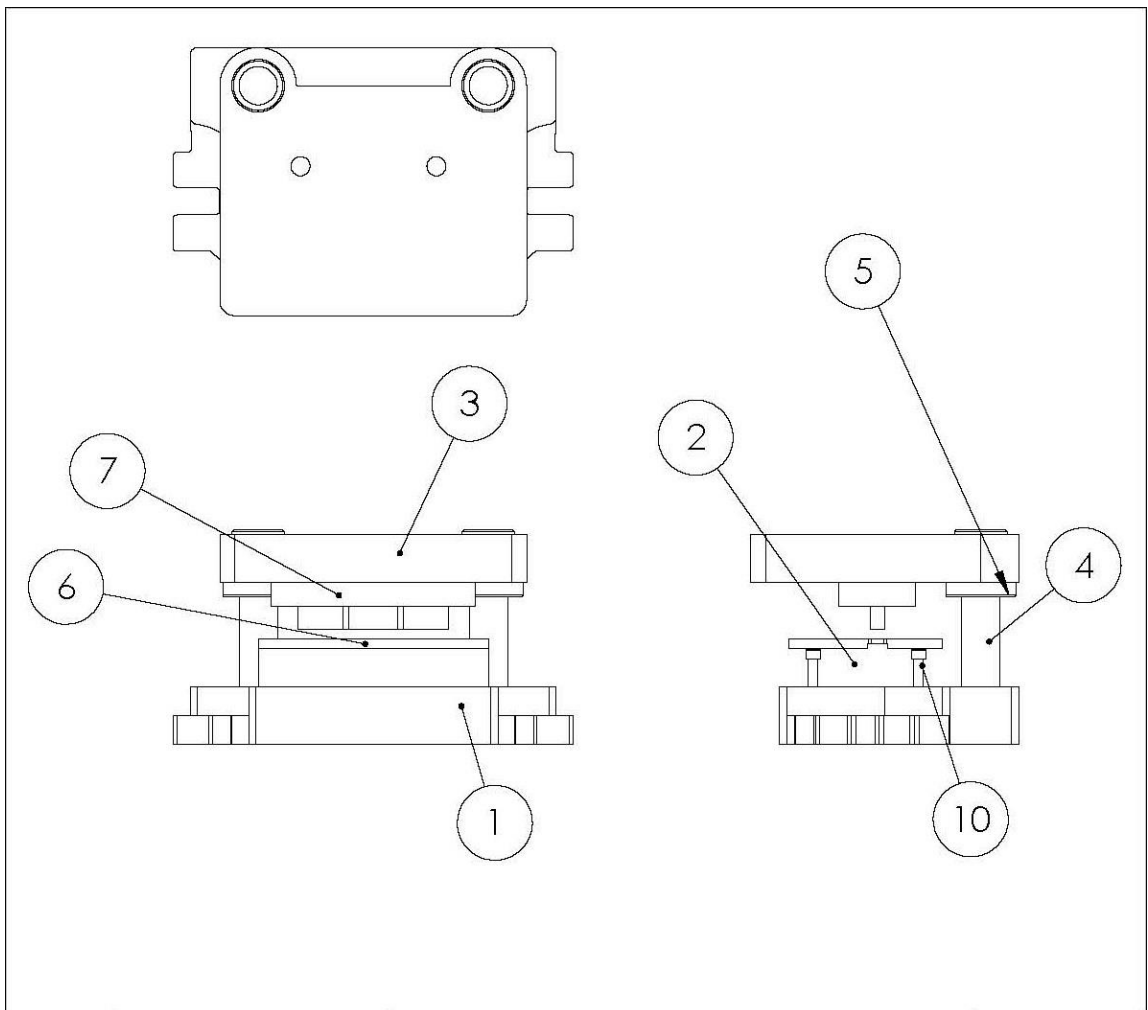
8	Guarda de protección	Detalle 3
7	Motor eléctrico	Detalle 2
6	Eje de Transmisión	Detalle 1
5	Embrague Mecánico	Sub conjunto 5
4	Dispositivo excéntrico	Sub conjunto 4
3	Matriz-Troquel	Sub conjunto 3
2	Banco	Sub conjunto 2
1	Transmisión mecánica	Sub conjunto 1
ITEM	DESCRIPCIÓN	ESPECIFICACIONES
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel
Nº PLANO: A1	Fecha: Octubre de 2021	Conjunto 1: Troqueladora
		ESCALA 1:20
		UNIDADES: milímetros



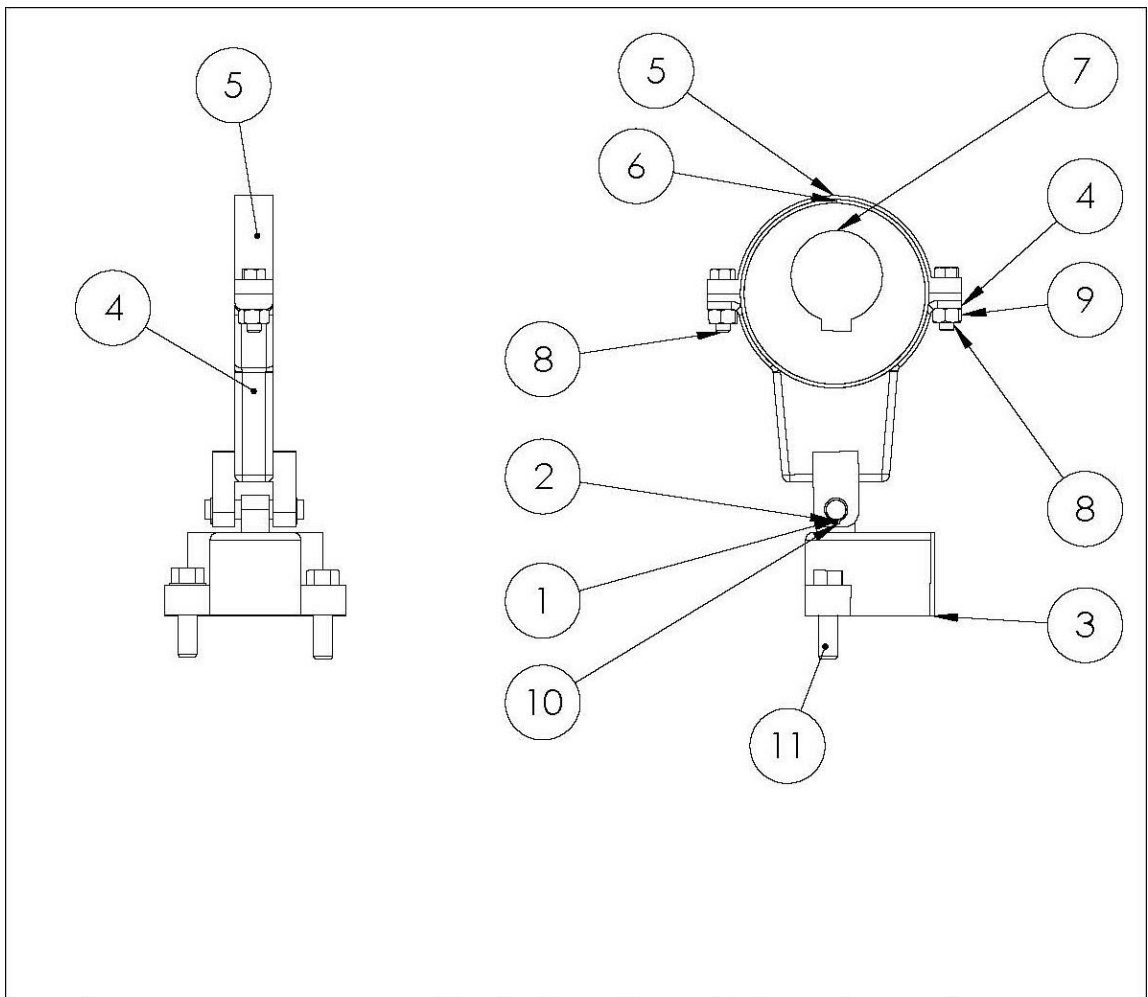
3	Banda	Banda A Tipo V, A75	2
2	Polea 1	Polea doble, tipo A, 3 pulg	1
1	Polea 2	Polea doble, tipo A, 15 pulg	1
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: B1	Fecha: Octubre de 2021	Sub Conjunto 1: Transmisión mecánica	



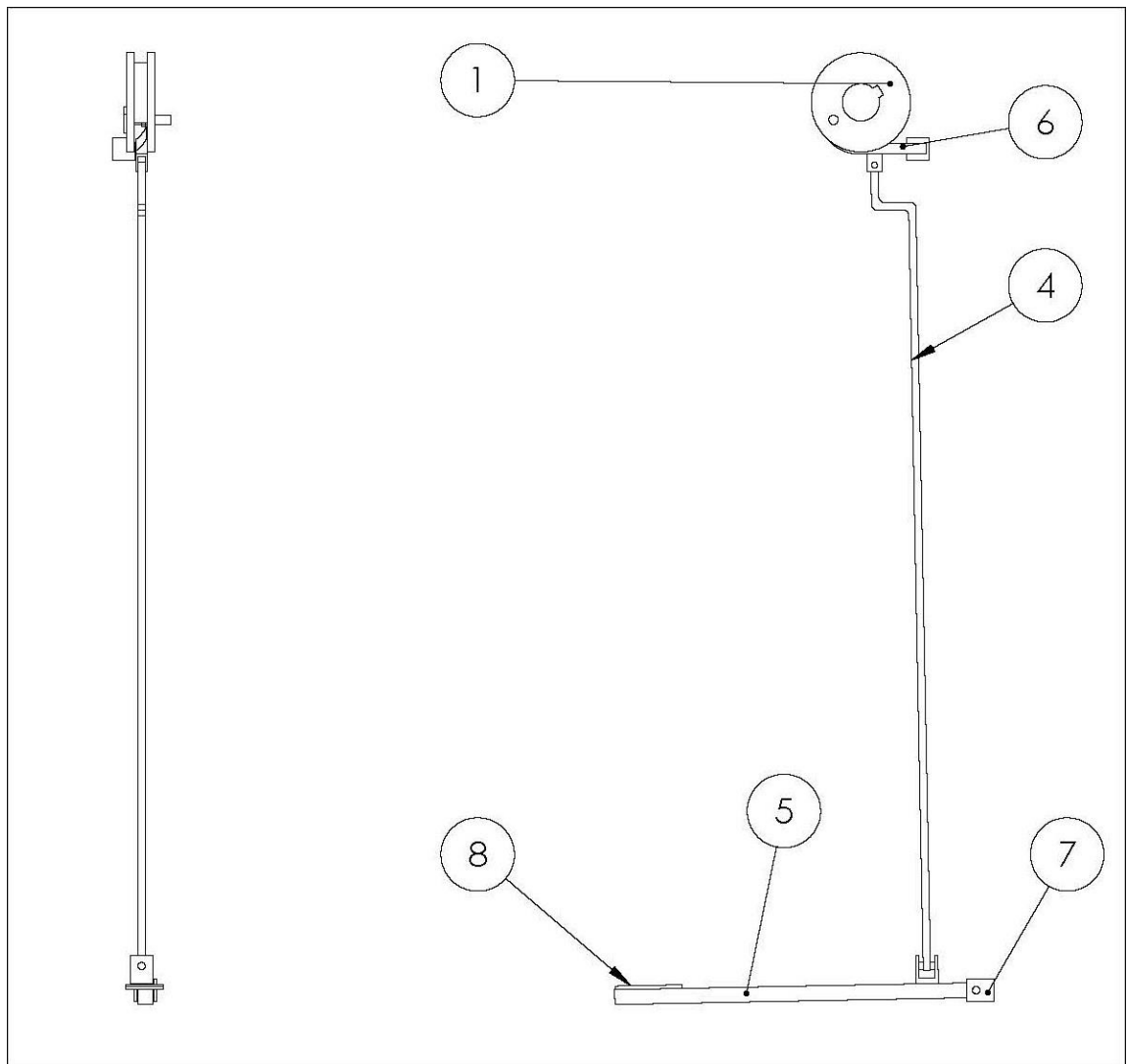
8	Rodamientos	Cojinete Radial 6310 1.9865 pulg	2
7	Estructura	Detalle 2.6	1
6	Tornillos	Tornillos 1/4 pulg x 0.25 pulg	4
5	Nervio	Detalle 2.5	4
4	Soporte Deslizante	Detalle 2.4	2
3	Tope Deslizante	Detalle 2.3	1
2	Soporte Lateral	Detalle 2.2	2
1	Soporte Inferior	Detalle 2.1	1
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: B2	Fecha: Octubre de 2021	Sub conjunto 2: Banco	



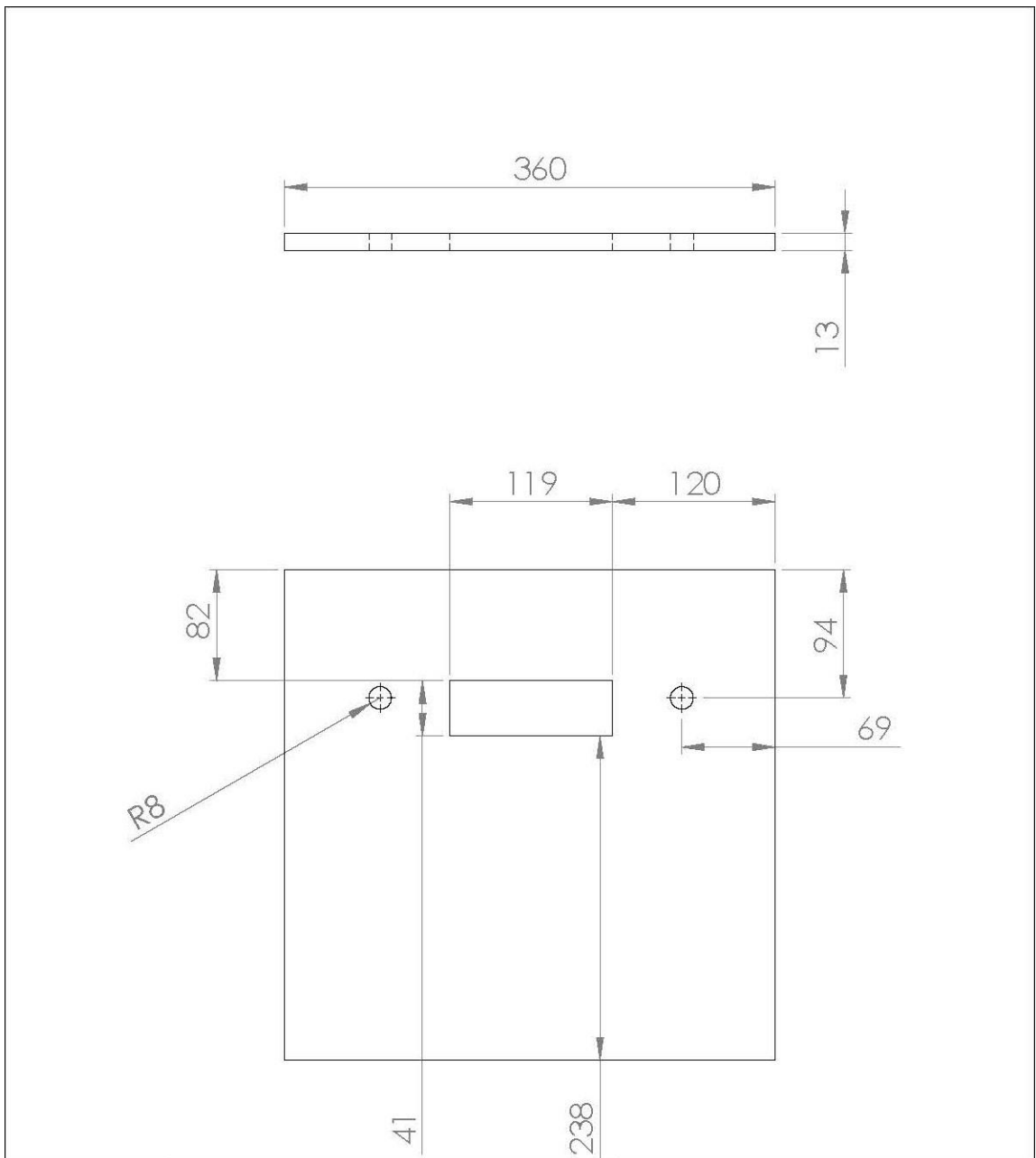
11	Tornillos	Tornillo de cabeza hueca 0.25x2 pulg	4
10	Tornillos	Tornillo de cabeza hueca 0.25x2 pulg	4
9	Pasador	Pasador 0.25x2.5 pulg	1
8	Pasador	Pasador 0.25x2.5 pulg	1
7	Punzón	Detalle 3.6	1
6	Pisador	Detalle 3.5	1
5	Buje		2
4	Postes Guías	Detalle 3.4	2
3	Porta Troquel	Detalle 3.3	1
2	Matriz	Detalle 3.2	1
1	Porta Matriz	Detalle 3.1	1
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: B3	Fecha: Octubre de 2021	Sub conjunto 3: Matriz Troquel	



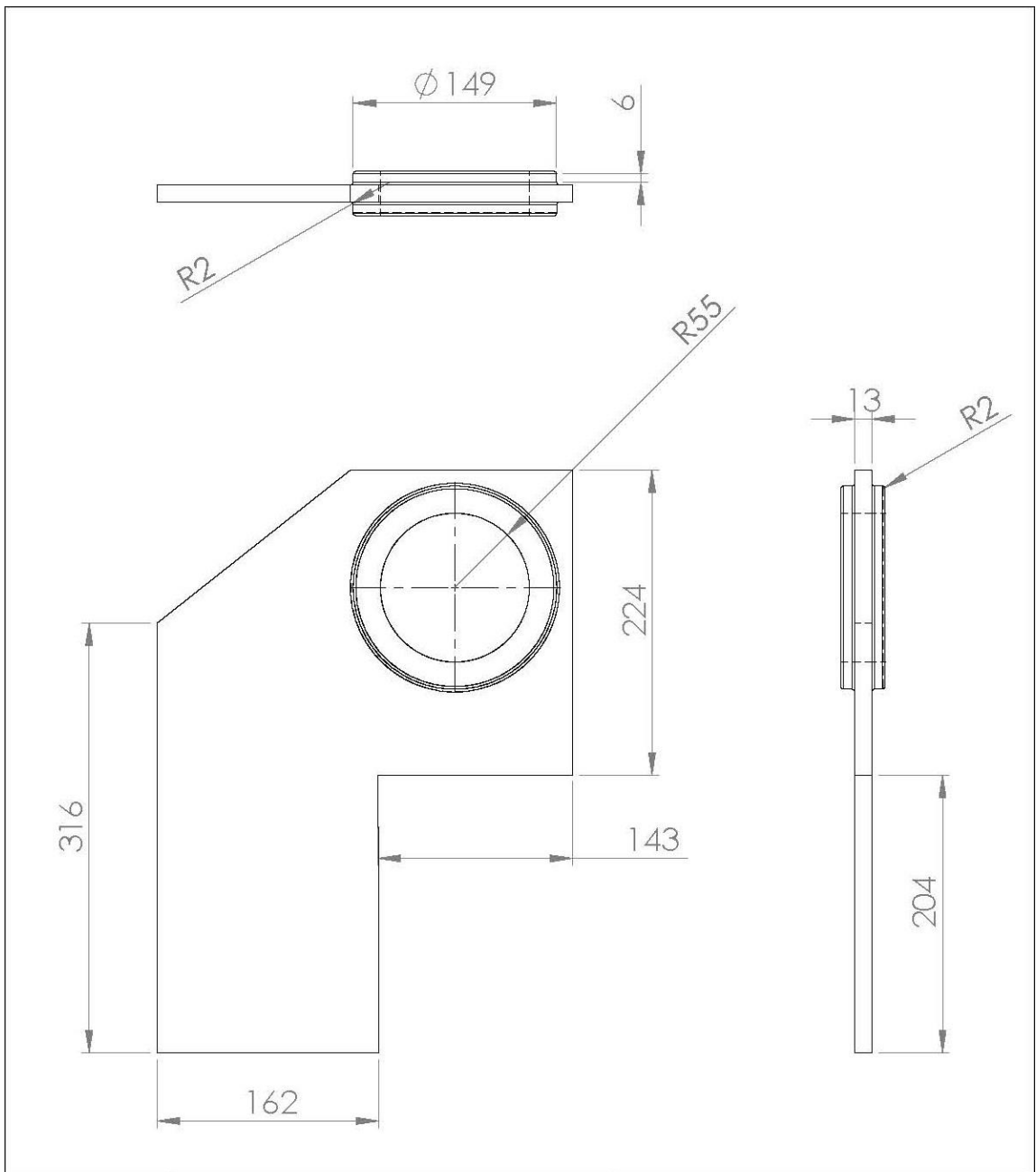
11	Tornillo para sujetar la matriz	Tornillo Roscado con Cabeza de Arandela 0.5 x 1.875 pulg	2
10	B27.1 - NA1-55	Anillo de Retención externo básica, 14 mm	2
9	Tuerca	Tuerca Hexagonal 0.375	2
8	HBOLT 0.3750-16x1.375x1-N	Perno cabeza hexagonal 0.375 x 1.375 pulg	2
7	Pieza Excéntrica	Detalle 5.4	1
6	Cojinete Deslizante	Cojinete cilindrico estandar 125 x 25.4 mm	1
5	Carcasa 1	Detalle 5.3	1
4	Carcasa 2	Detalle 5.2	1
3	Carcasa 3	Detalle 5.1	1
2	Cojinete deslizante	Cojinete cilindrico estandar 13 x 15 mm	2
1	Pasador	Pasador de espiga 13 x 65 mm	1
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCION	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: B4	Fecha: Octubre de 2021	Sub conjunto4: Dispositivo excéntrico	



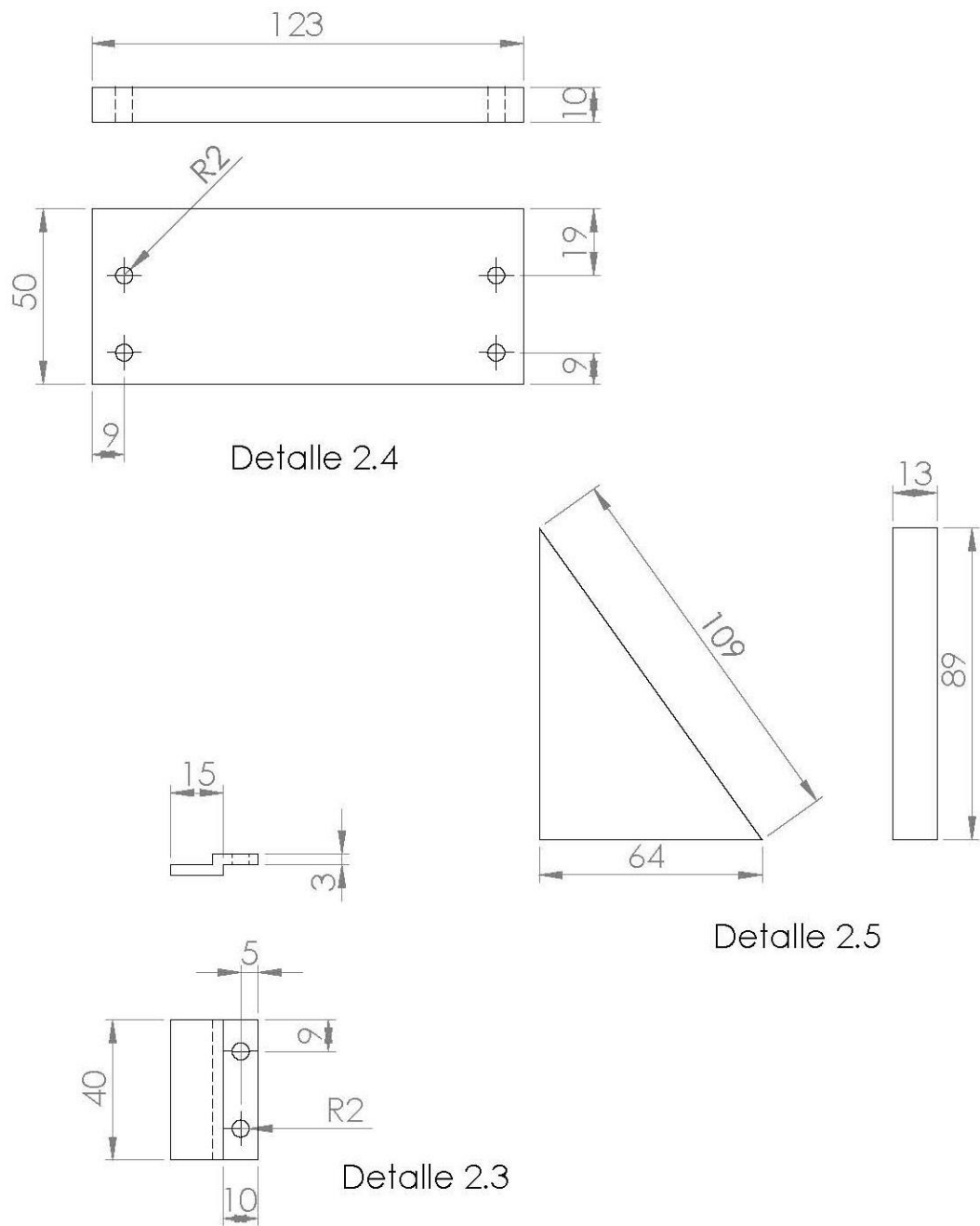
6	Pieza de fricción	Detalle 5.6	1
5	Pedal	Detalle 5.5	1
4	Soporte	Detalle 5.4	1
3	Varilla de soporte del pedal		1
2	Varilla de movimiento	Detalle 5.2	1
1	Embrague	Detalle 5.1	1
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: B5	Fecha: Octubre de 2021	Sub Conjunto 5: Embrague	



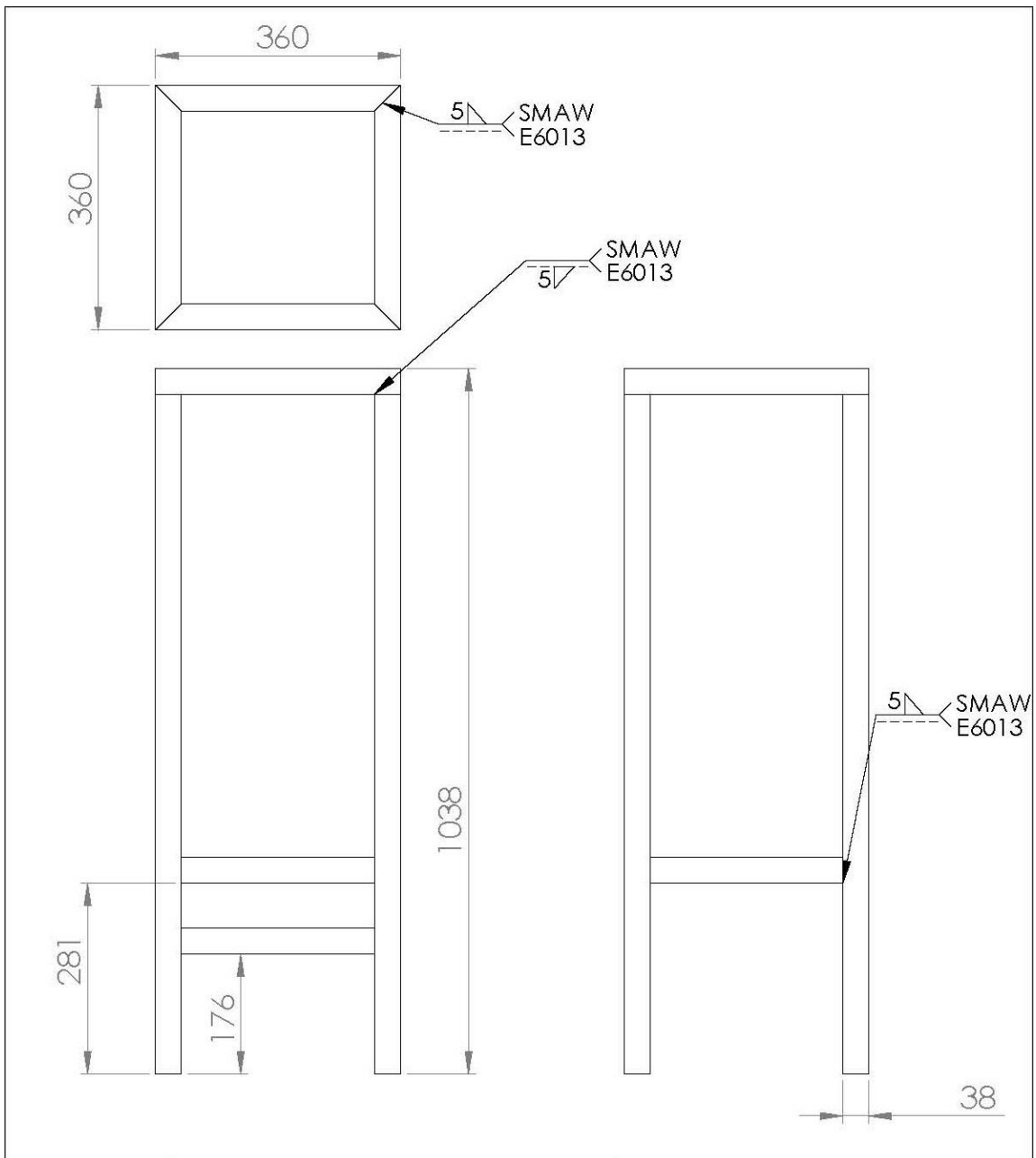
1	Hierro Dulce	Material en Bruto: Pletina 360 x 360 x 12.7 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C1	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 2.1: Soporte inferior	



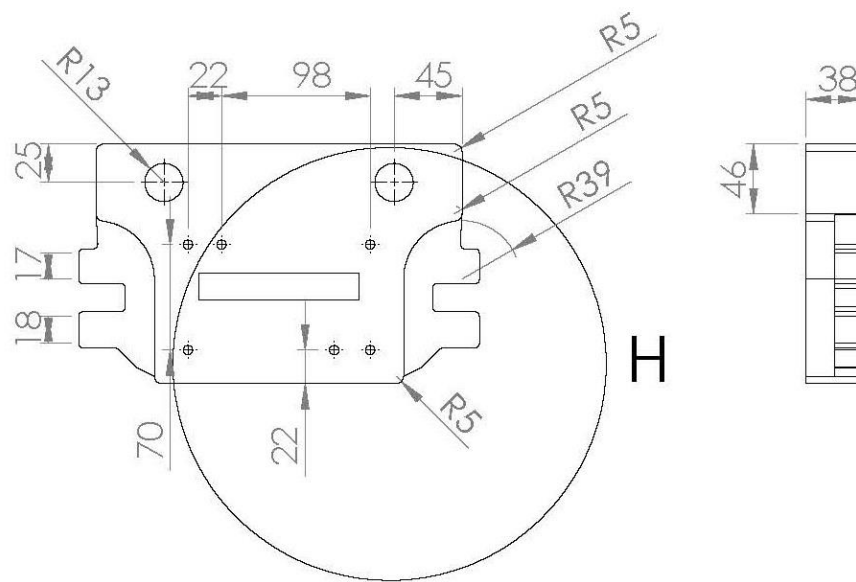
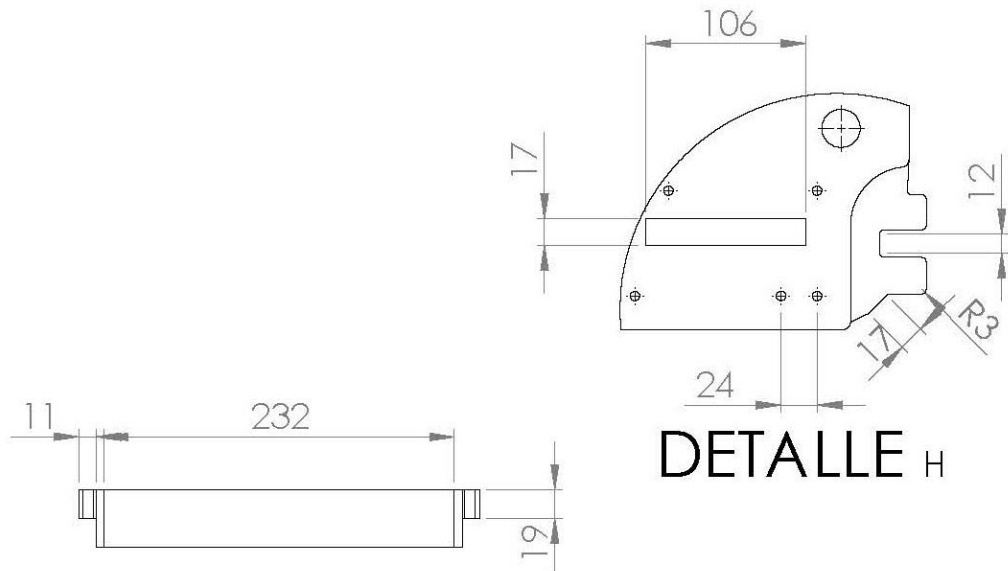
2	Hierro dulce	Material en bruto : Pletina 325 x 350 x 30 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C2	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 2.2: Soporte lateral	



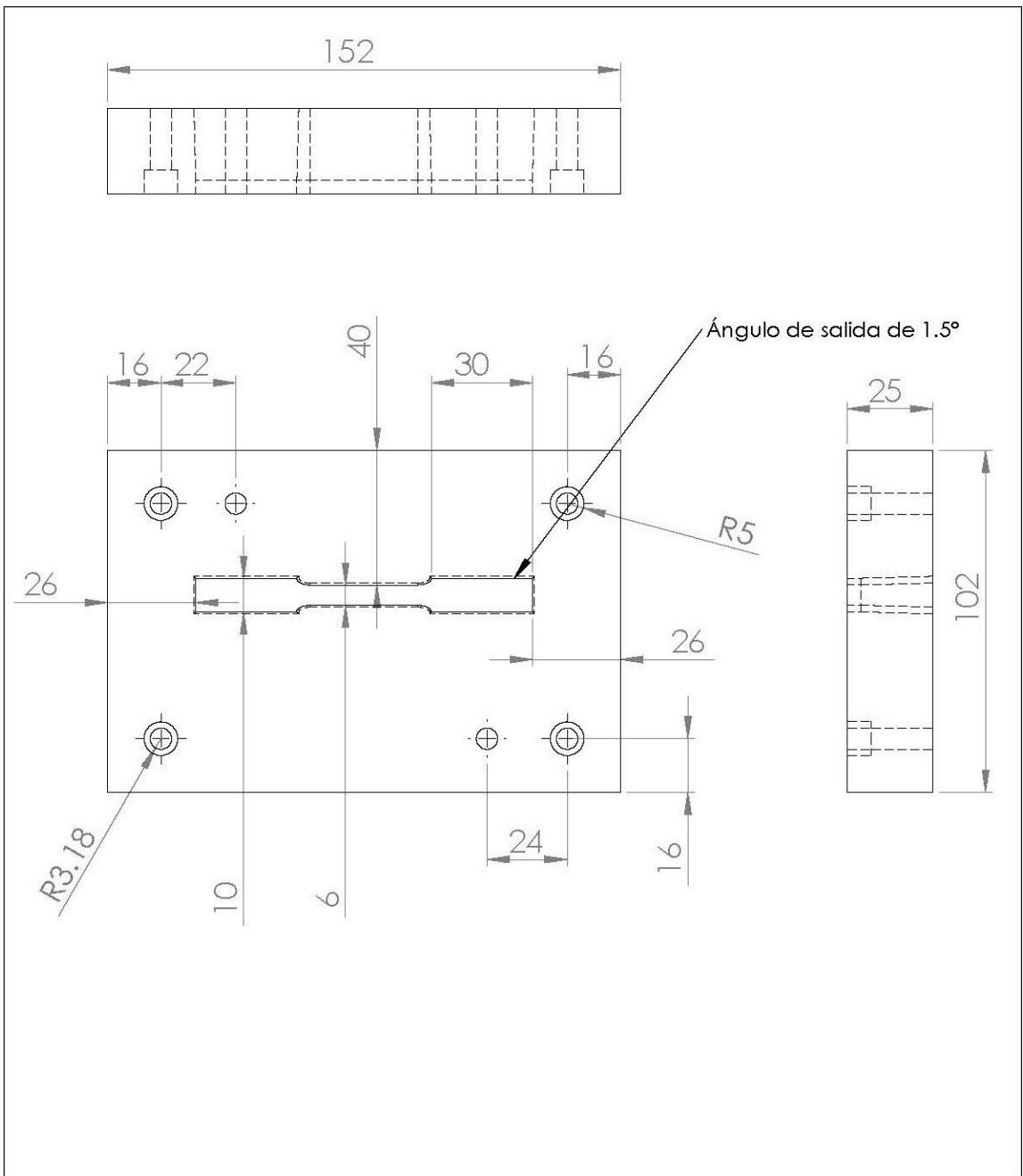
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C3	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 2.3: Tope deslizante Detalle 2.4: Soporte deslizante Detalle 2.5: Nervio	



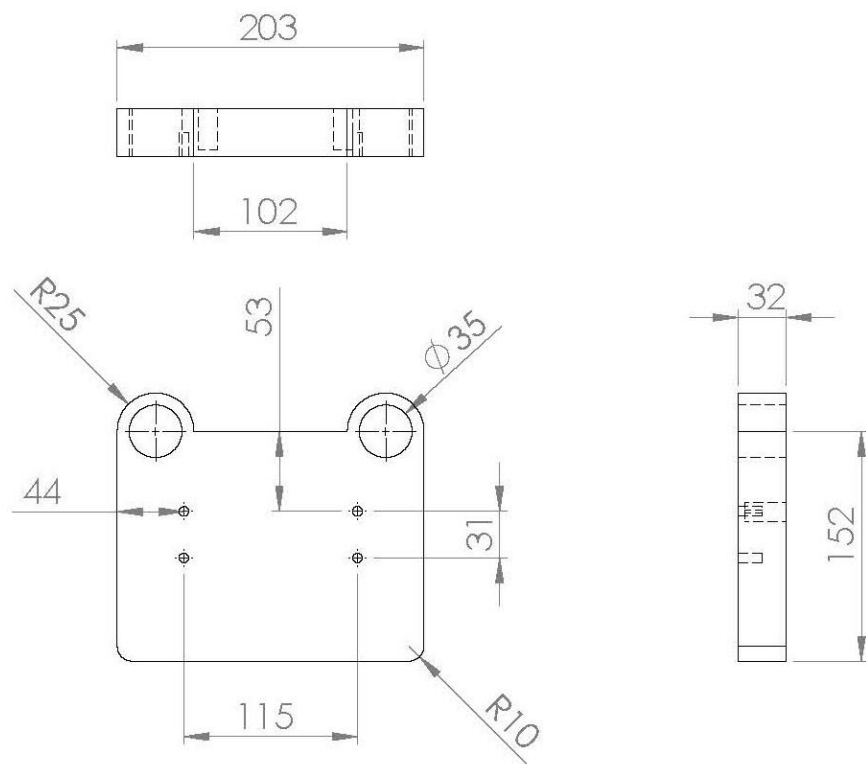
1	Hierro	Tubo Cuadrado 1.5 x 1.5 pulg chapa 14
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel
Nº PLANO: C4	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 2.6: Estructura
		ESCALA 1:5 UNIDADES: milímetros



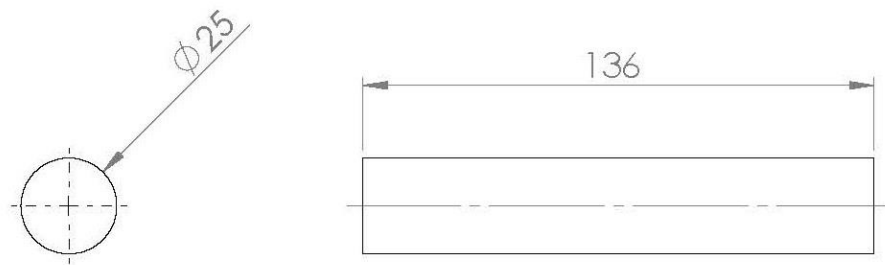
Cantidad	Material	Especificaciones
1	AlSi SAE 1045	Pletina 1.5 pulg
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel
Nº PLANO: C5	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.1: Porta matriz
		ESCALA 1:5
		UNIDADES: milímetros



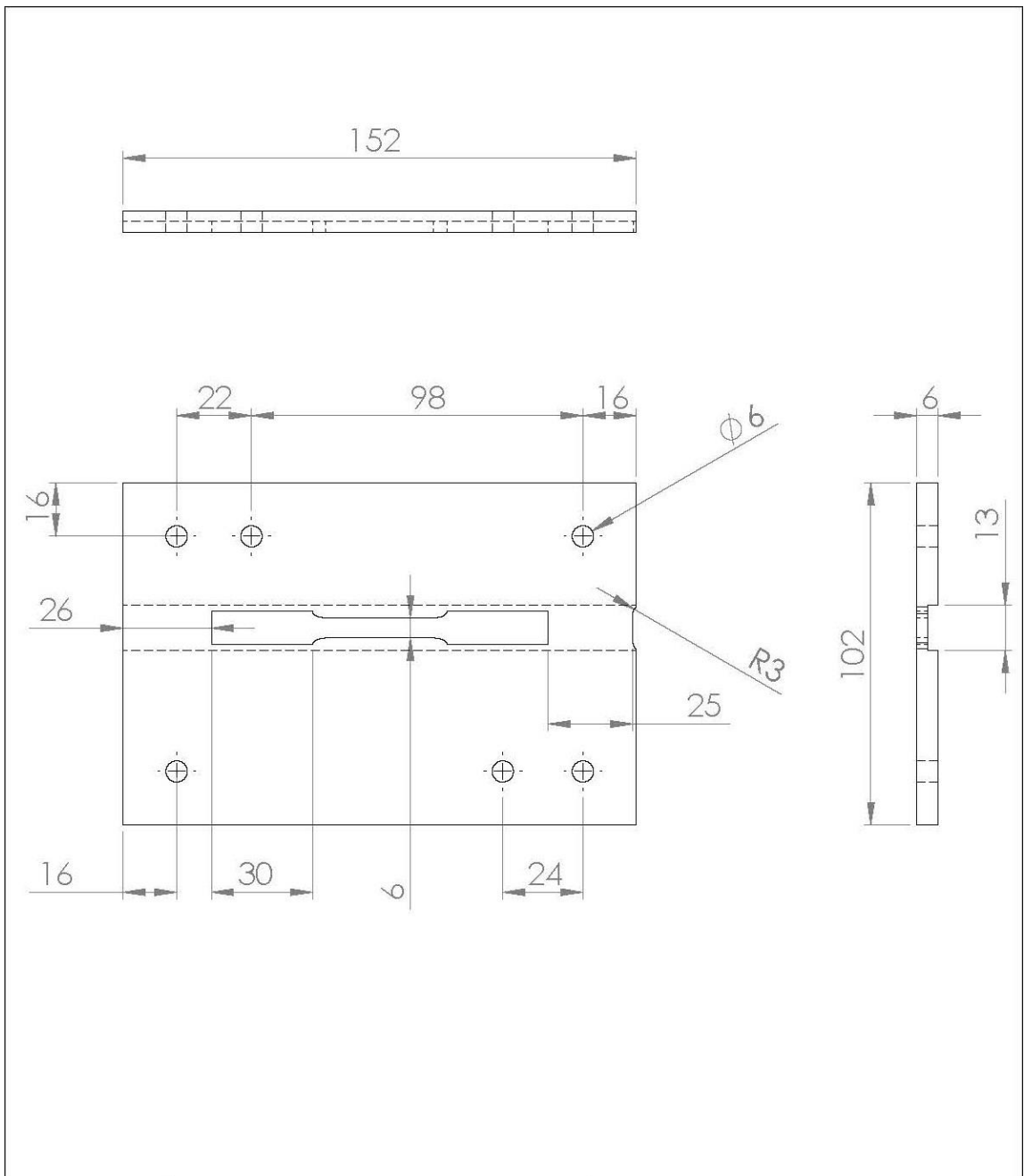
1	AISI SAE 1045	Pletina 4 x 6 x 1pulg
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel
Nº PLANO: C6	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.2: Matriz
		ESCALA 1:5
		UNIDADES: milímetros



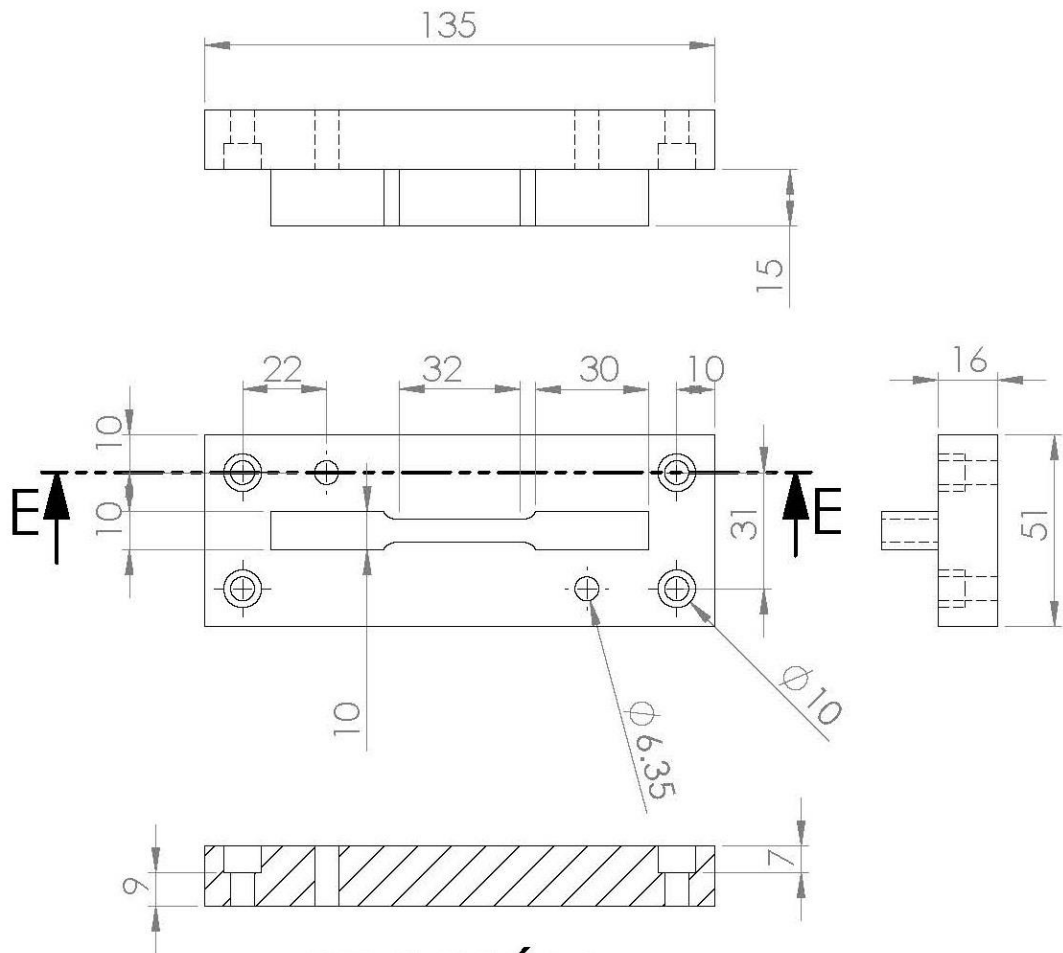
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C7	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.3: Porta troquel	



2	Hierro dulce	Material en bruto: Barra circular de 1 pulg	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C8	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.4: Postes guías	

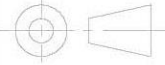


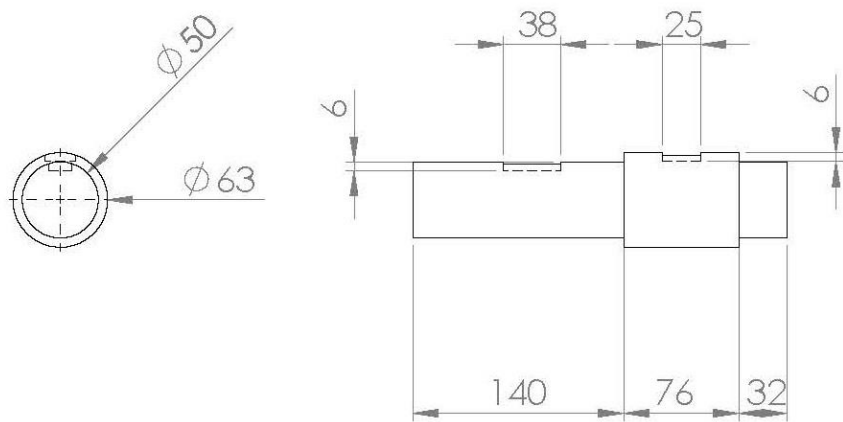
1	Acero SAE 1045	Pletina 105 x 155 x 6.35 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C9	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.5: Pisador	



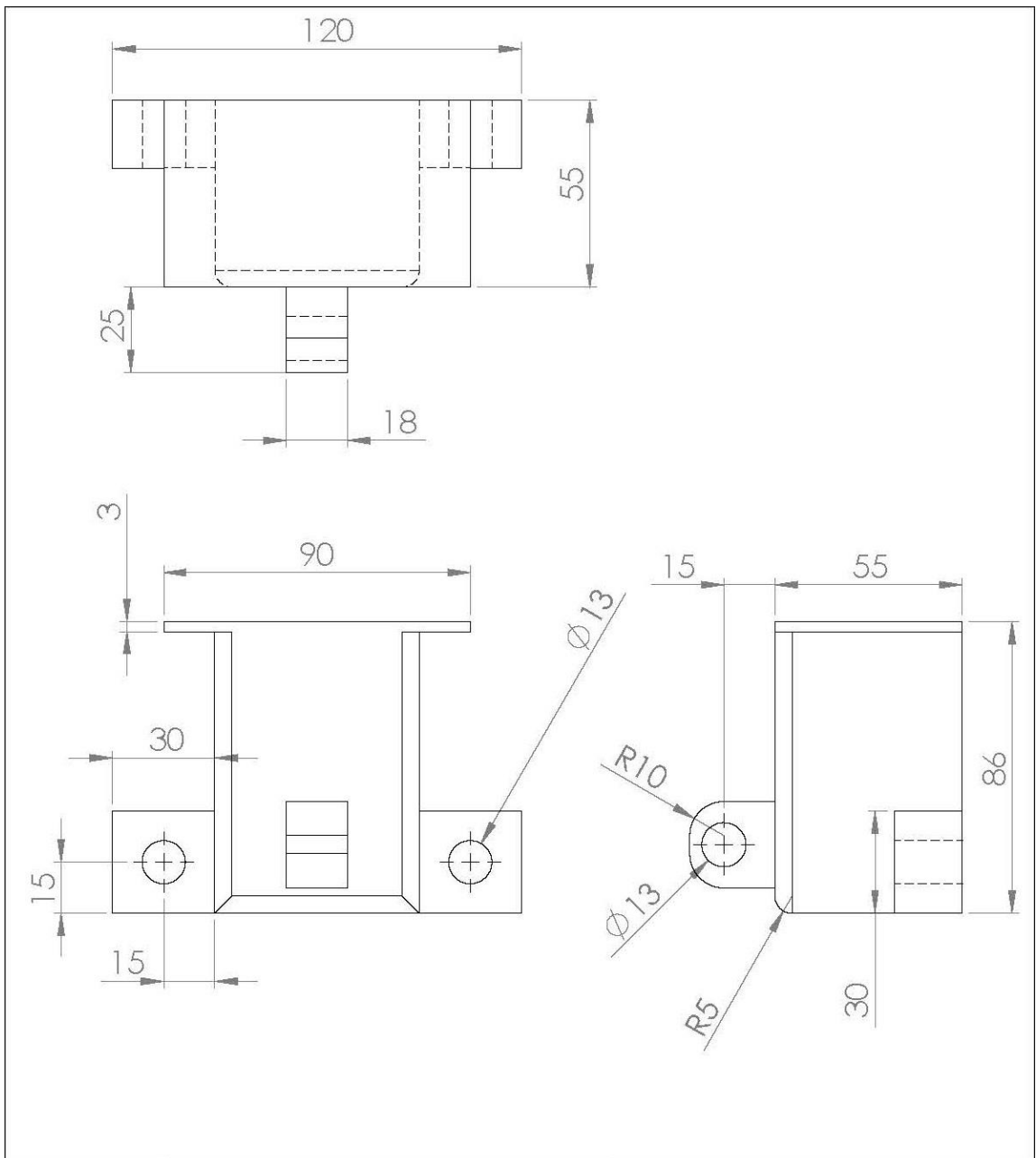
SECCIÓN E-E

ESCALA 1 : 2

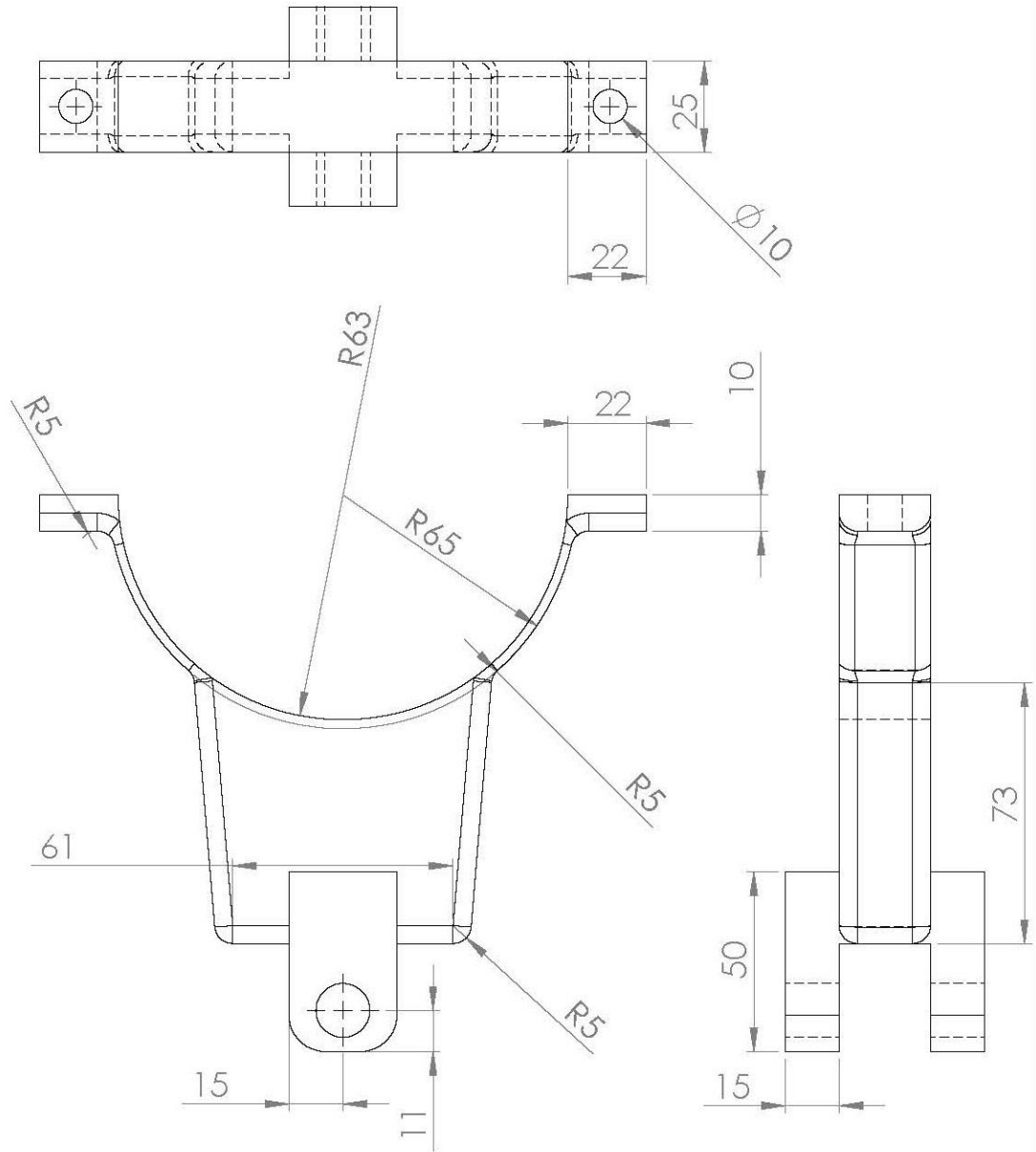
1	Acero SAE 1045	Pletina 51 x 135 x 35 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C10	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.6: Punzón	



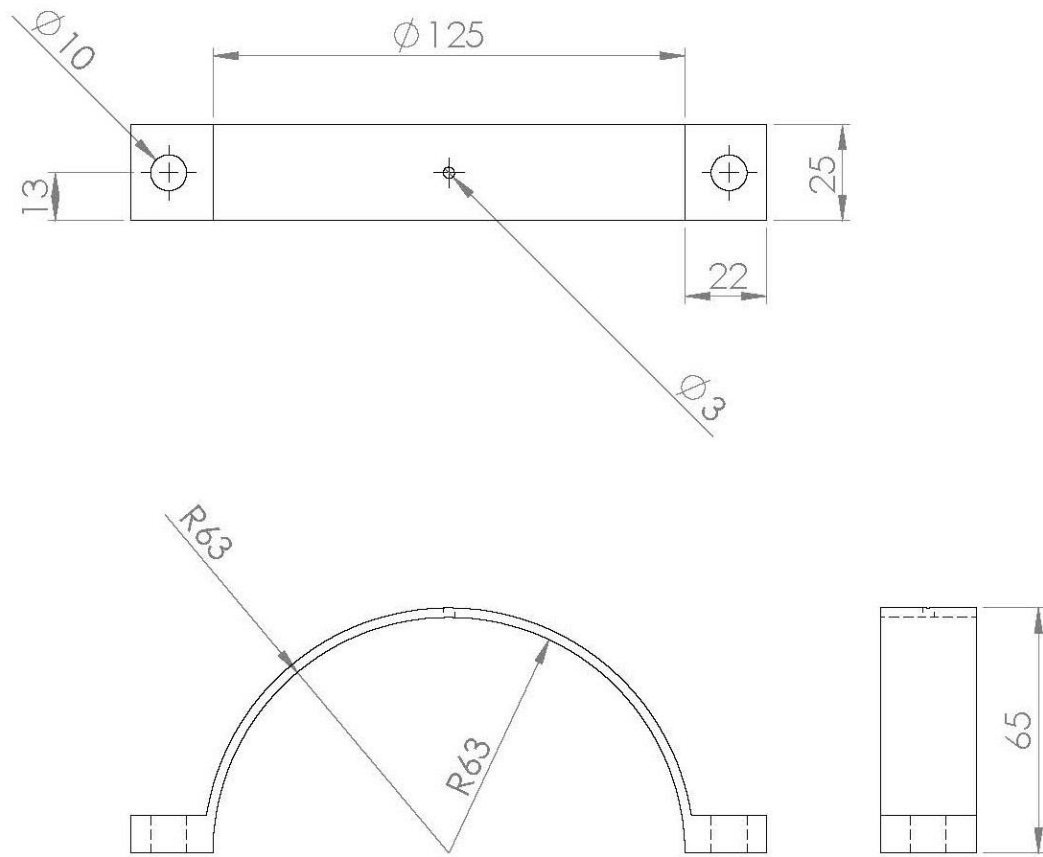
1	Acero SAE 1045	Material en bruto: Barra circular 65 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C11	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 1: Eje de transmisión	

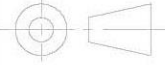


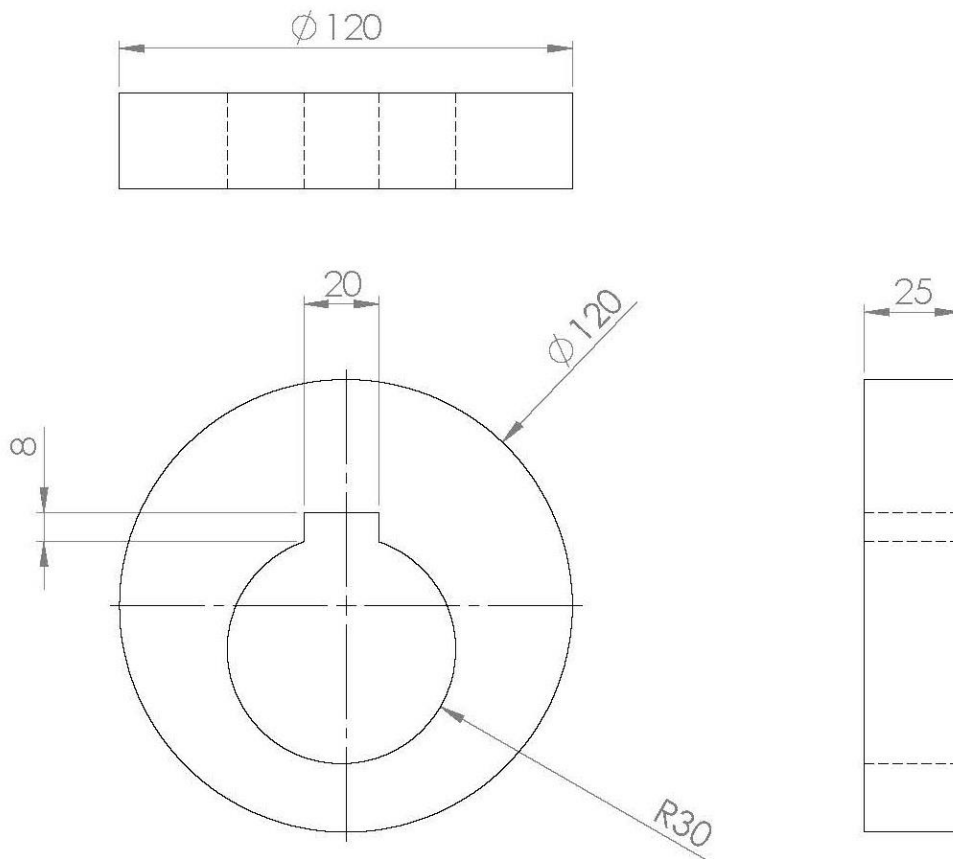
1	Hierra dulce	Material en Bruto: Bloque de hierro dulce	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C12	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 5.1: Carcasa 3	



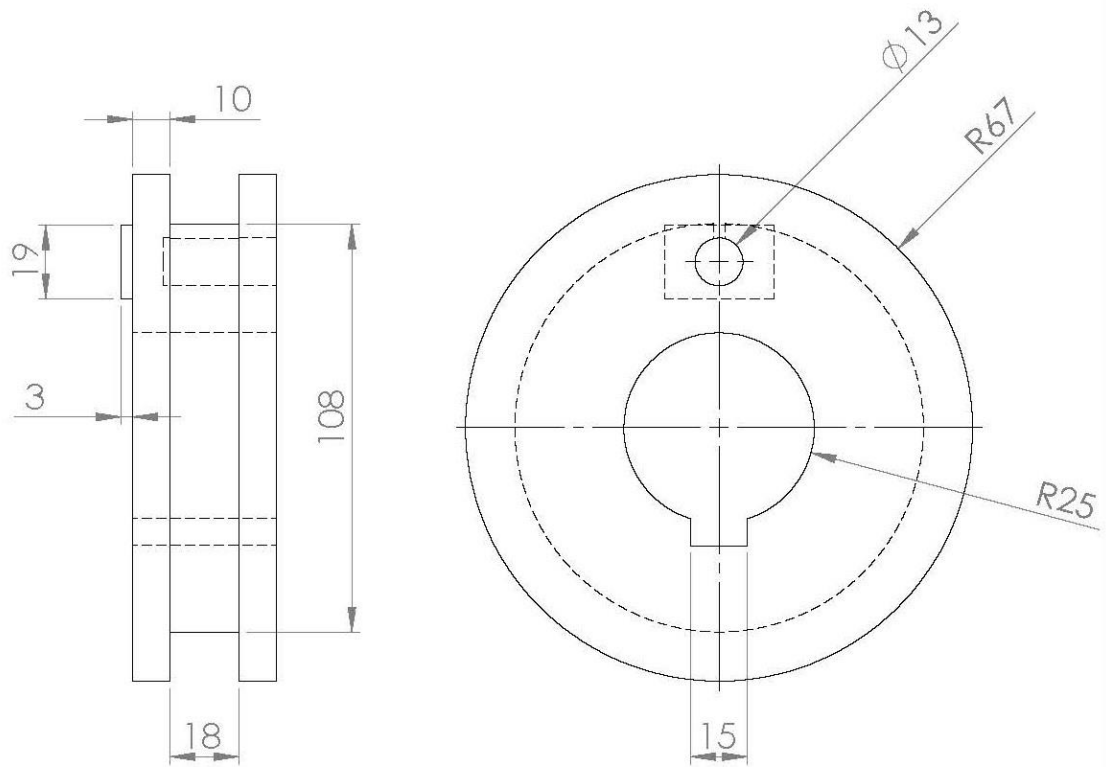
1	Hierro dulce	Pletina 160 x 170 x 56 mm
Cantidad	Material	Especificaciones
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel
Nº PLANO: C13	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 5.2: Carcasa 2



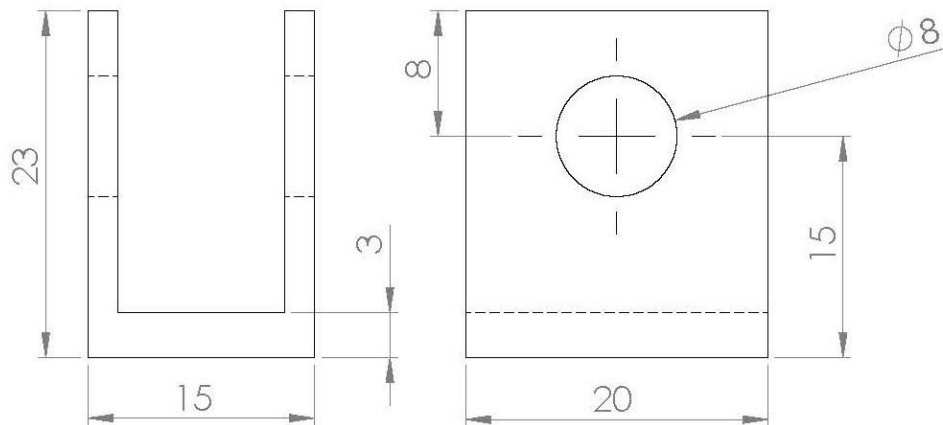
1	Hierro dulce		
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C14	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 5.3: Carcasa 1	



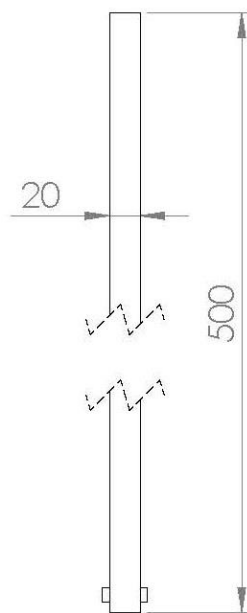
1	SAE 1020	Disco de 25 mm de espesor	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C15	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 5.4: Pieza Excéntrica	



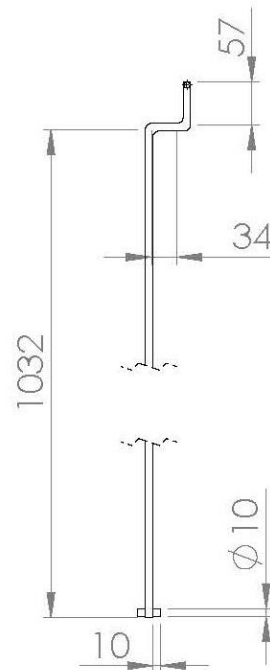
1	SAE 1020	Disco de 48 mm de espesor	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C16	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 5.1: Embrague	



Detalle 5.4



Detalle 5.2



Detalle 5.3

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de
máquina troqueladora de probetas
planas para el ensayo de tracción

ESCALA
1:5

DOCENTE ASESOR:
Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz

ESTUDIANTES:
Pineda Saravia, Jorge Luis
Dubon Herrera, Cristian Adiel

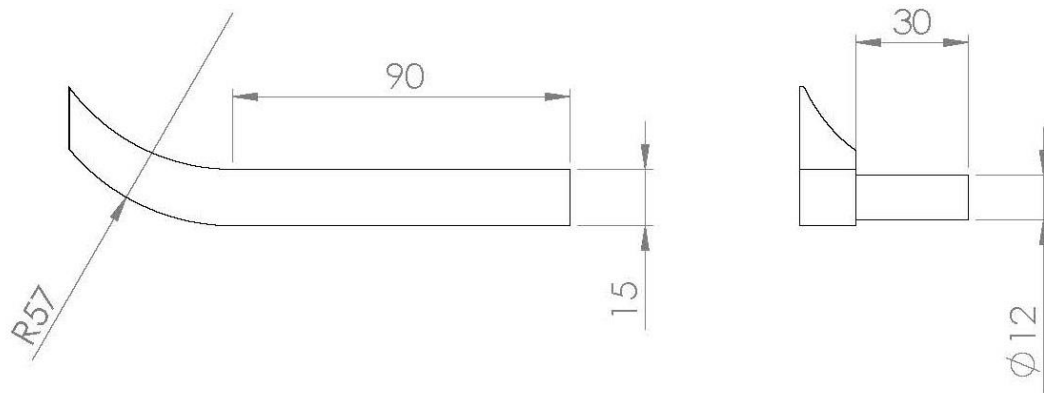
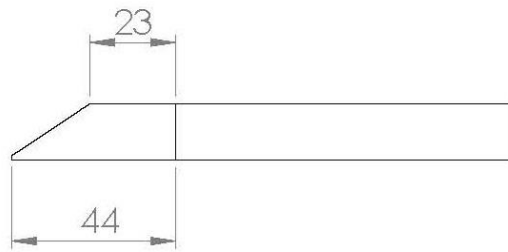
UNIDADES:
milímetros

Nº PLANO: C17

Fecha:
Octubre de 2021

Detalle 5.2: Varilla de movimiento
Detalle 5.3: Varilla de soorte de pedal
Detalle 5.4: Soporte





1	Hierro	Varilla cuadrada 15 x 15 mm	
Cantidad	Material	Especificaciones	
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño de máquina troqueladora de probetas planas para el ensayo de tracción	ESCALA 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Pineda Saravia, Jorge Luis Dubon Herrera, Cristian Adiel	UNIDADES: milímetros
Nº PLANO: C18	Fecha: Octubre de 2021	Detalle 3.5: Pieza de fricción	