

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**DISEÑO DE TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE
FICHAS DE ALUMINIO DE 1 mm DE ESPESOR PARA LOS LABORATORIOS DE
INGENIERIA INDUSTRIAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Industrial

AUTOR: EDUARDO MARCELO JÁCOME CENTENO

TUTOR: AUGUSTO VINICIO COQUE PAUCARIMA

Quito- Ecuador

2025

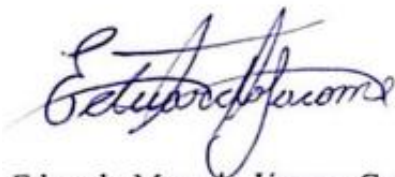
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIA DEL TRABAJO DE TUTULACIÓN

Yo, Eduardo Marcelo Jácome Centeno con documento de identificación N° 1724042500, manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 10 de febrero de 2025

Atentamente,



Eduardo Marcelo Jácome Centeno

1724042500

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESINA

Yo, Eduardo Marcelo Jácome Centeno con documento de identificación N.º 1724042500, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy el autor del Proyecto Técnico: “DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE FICHAS DE ALUMINIO DE 1 mm DE ESPESOR PARA LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA INDUSTRIAL”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que realice la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 10 de febrero de 2025

Atentamente,



Eduardo Marcelo Jácome Centeno

1724042500

CERTIFICADO DE DIRECION DEL TRABAJO DE TITULACION

Yo, Augusto Vinicio Coque con documento de identificación N° 1718688516, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: “DISEÑO Y AUTOMATIZACIÓN DE UNA MÁQUINA TROQUELADORA DE FICHAS DE ALUMINIO DE 1 mm DE ESPESOR PARA LOS LABORATORIOS DE INGENIERIA INDUSTRIAL” realizado por Eduardo Marcelo Jácome Centeno con documento de identificación N.º 1724042500, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, de febrero de 2025

Atentamente,



Ing. Augusto Vinicio Coque, M.Sc

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su amor y su apoyo en cada paso de mi vida, ya que el esfuerzo y la dedicación que tienen me enseñaron que con trabajo y perseverancia todo es posible. A mis abuelos, quienes con su sabiduría y cariño me han guiado desde siempre, sus consejos y enseñanzas han dejado una huella imborrable en mi corazón y me han acompañado en cada desafío y metas planteadas, recordándome la importancia de la familia y los valores que me han formado. A mi novia Yadira, que con su amor, paciencia y apoyo constante ha sido un pilar fundamental en mi vida, por sus palabras de aliento y su presencia incondicional han sido la motivación que necesitaba para seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles. A toda mi familia, quienes han sido más que una compañía, han sido un refugio en tiempos de incertidumbre y una fuente de alegría en los momentos de celebración.

Y a todos ustedes, mi más profundo agradecimiento, ya que cada logro alcanzado es también de ustedes.

AGRADECIMIENTO

Con inmensa gratitud, deseo expresar mi agradecimiento, en primer lugar, a Dios, quien ha sido mi luz y fortaleza a lo largo de este recorrido. A mi familia, por su apoyo inagotable, su respaldo incondicional y su constante motivación en cada desafío que he enfrentado. A mi tutor de tesis, cuyo compromiso, paciencia y dedicación han sido fundamentales en la culminación de este trabajo. Su guía y conocimientos han sido un pilar esencial en mi proceso de aprendizaje. A mis compañeros Jonathan y Gabriel, que con sus apoyos y consejos han sido fundamentales en cada etapa de este camino. Expreso también mi más profundo agradecimiento a todos los docentes de la Universidad, cuyo esfuerzo y entrega han sido clave en mi formación académica y profesional. Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la orientación de todas las personas que han sido parte de este proceso, a quienes les estaré eternamente agradecido.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
Introducción	xvi
Problema de estudio	xvi
Justificación.....	xvi
Grupo objetivo.....	xvii
Objetivos	xvii
Objetivo general	xvii
Objetivo específico.....	xvii
Metodología	xviii
CAPÍTULO I.....	19
1. MARCO TEÓRICO	19
1.1. El troquelado.....	19
1.2. Materiales utilizados para el troquelado.....	20
1.3. Automatización de un troquel	21
1.3.1. Análisis de Necesidades y Diseño del Troquel	22
1.3.2. Selección e Implementación de Controladores Lógicos Programables (PLC) ..	22
1.3.3. Integración de Sensores y Sistemas de Monitoreo	22
1.3.4. Implementación de Sistemas de Seguridad.....	23
1.3.5. Pruebas y Ajustes Iniciales	23
1.4. Tipos de automatización	23
1.4.2. Automatización eléctrica	23
1.4.3. Automatización sofisticada.....	24
1.5. Componentes de un troquel.....	24

1.6.	Aplicaciones de un troquel	28
1.7.	Descripción del proceso de corte por troquel.....	29
1.8.	Mecanismos de prensado y alimentadores	30
1.9.	Parámetros para mecanizar	32
1.10.	Velocidad de corte (V_c).....	33
1.11.	Revoluciones por minuto (RPM)	34
1.12.	Avance por revolución (f).....	34
1.13.	Velocidad de avance (V_f).....	35
1.14.	Profundidad de pasada (ap).....	37
1.15.	Tiempo de mecanizado (t)	37
1.16.	Fases de trabajo.....	37
1.17.	Formulación	38
1.17.1.	Fuerza efectiva para el trabajo de prensa.....	38
1.17.2.	Fuerza real de corte.....	39
1.17.3.	Fuerza de corte.....	39
1.17.4.	Fuerza de Extracción del Punzón	41
1.17.5.	Fuerza de Expulsión de la Matriz	42
1.17.6.	Tolerancia de corte entre el punzón y matriz.....	42
1.18.	Selección del cilindro hidráulico	43
1.18.1.	Fuerza del cilindro hidráulico.....	43
1.18.2.	Área de avance.....	44
1.18.3.	Fuerza de avance	44
1.18.4.	Área de retroceso	45
1.18.5.	Fuerza de retroceso	46
1.19.	Las bases del corte	46
1.19.1.	Deformación Plástica.....	46

1.19.2.	Cizallamiento.....	47
1.19.3.	Ruptura	47
1.20.	Optimización para la matriz	48
1.21.	Matriz con dimensiones	48
1.22.	Distancia de Separación entre Piezas	49
1.23.	Distancias de Separación entre Piezas y Borde.....	50
1.24.	Paso o Avance.....	51
1.25.	Esfuerzo.....	52
1.26.	Factor de Seguridad.....	54
1.27.	Costos de Producción	54
1.28.	Diferencia entre costos y gastos	55
1.29.	Elementos del Costo de Producción.....	55
1.30.	Tipos de costos	56
1.31.	La amortización	59
1.32.	Cálculo de retorno de inversión	60
CAPÍTULO II		61
2.	DISEÑO Y AUTOMATIZACION	61
2.1.	Selección de troqueladora	61
2.2.	Troqueladora Hidráulica.....	61
2.2.2.	Ventajas:	62
2.2.3.	Desventajas:	63
2.3.	Troqueladora Neumática	63
2.3.1.	Principio de rendimiento	64
2.3.2.	Ventajas:	64
2.3.3.	Desventajas:	64
2.4.	Troqueladora Mecánica	65

2.4.1.	Principio de rendimiento	65
2.4.2.	Ventajas:	65
2.4.3.	Desventajas:	66
2.5.	Selección final	66
2.5.1.	Análisis	67
2.6.	Fases de trabajo	68
2.7.	Fase de trabajo punzón	69
2.8.1.	Velocidad de corte (V_c)	71
2.8.2.	Revolución por minuto (RPM)	72
2.8.3.	Avance por diente (f_z)	72
2.8.4.	Velocidad de avance (V_f)	72
2.8.5.	Tiempo de mecanizado (t)	73
2.9.	Calculo de la fuerza de corte en el troquelado	73
2.9.1.	Fuerza efectiva para el trabajo de prensa	73
2.9.2.	Fuerza real de corte	74
2.9.3.	Fuerza de corte	75
2.9.4.	Fuerza de Extracción del Punzón	78
2.9.5.	Fuerza de Expulsión de la Matriz	79
2.9.6.	Tolerancia de corte entre el punzón y matriz	79
2.9.7.	Área de avance	80
2.9.8.	Fuerza de avance	80
2.9.9.	Distancia de Separación entre Piezas	81
2.9.10.	Distancias de Separación entre Piezas y Borde	81
2.9.11.	Paso o Avance	82
2.9.12.	Esfuerzo máximo para la selección del material del punzón y de la matriz ...	82
2.9.13.	Factor de Seguridad	83

2.10.	Automatización	84
2.11.	Activación del Fordward.....	86
2.12.	Activación del back.....	87
2.13.	Selección del cilindro hidráulico	87
2.14.	Cilindro Hidráulico	89
2.15.	Fuerza del cilindro hidráulico	89
2.17.	Diseño	92
2.17.1.	Acotación de piezas	92
CAPÍTULO III		101
3.	COSTOS.....	101
3.1.	Materiales	101
3.2.	Costo de tratamientos térmicos	102
3.3.	Mano de obra.....	103
3.4.	Costo de diseño e ingeniería.....	104
3.5.	Costo total del proyecto.....	105
3.6.	Viabilidad del proyecto	106
CONCLUSIONES		109
RECOMENDACIONES		110
Referencias		111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos de una matriz de troquelado [9]	25
Tabla 2. Parámetros de mecanizado	33
Tabla 3. Coeficiente de resistencia a la cizalladura de metales	40
Tabla 4. Tipos de costos [13]	57
Tabla 5. Ponderación de elección	67
Tabla 6. Elementos de una troqueladora Hidráulico.....	68
Tabla 7. Fases de trabajo del punzón.....	69
Tabla 8. Medidas del cilindro hidráulico	89
Tabla 9. Componentes de la Automatización	90
Tabla 10. Acotación de piezas	92
Tabla 11. Costos de materiales	102
Tabla 12. Costos de tratamiento térmico	103
Tabla 13. Costo de Horas-Hombre-Máquina.....	104
Tabla 14. Costo de diseño.....	105
Tabla 15. Costo total del Proyecto de Titulación.....	106
Tabla 16. Cuadro comparativo	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de las clasificaciones de matrices por su material	21
Figura 2. Vista en perspectiva de un troquel completo [4].....	26
Figura 3. Despiece de un troquel para corte y perforado [4]	27
Figura 4. Despiece de un troquel para corte y perforado [4]	27
Figura 5. Aplicaciones del troquelado	28
Figura 6. Diagrama del proceso de troquelado	30
Figura 7. Tipo de mecanismos de troquelado	31
Figura 8. Tipos de alimentaciones.....	32
Figura 9. Área de avance.....	44
Figura 10. Área de retroceso	45
Figura 11. Deformación Plástica	47
Figura 12. Cizallamiento	47
Figura 13. Ruptura	48
Figura 14. Dimensiones de la matriz.....	49
Figura 15. Matriz en 3D	49
Figura 16. Costo total de un producto	56
Figura 17. Troqueladora Hidráulica	62
Figura 18. Troqueladora Neumática.....	63
Figura 19. Troqueladora Mecánica	65
Figura 20. Diámetro interno de la Ficha de aluminio	75
Figura 21. Medidas de la ficha de aluminio	77
Figura 22. Simulación en fluid-sim.....	86
Figura 23. Activación de forward.....	87
Figura 24. Activación del back.....	87

Figura 25. Cilindro Hidráulico	88
Figura 26. Troqueladora en 3D	98
Figura 27. Renderizado de la troqueladora	99
Figura 28. Planos de conjunto de la troqueladora	100

RESUMEN

El proyecto se enfocó en el diseño y automatización de una troqueladora de fichas de aluminio, analizando las diferentes tecnologías disponibles: troqueladoras neumáticas, hidráulicas y mecánicas. Se discutieron las ventajas y desventajas de cada tipo, donde las neumáticas destacaron por su velocidad y bajo costo inicial, pero presentaron limitaciones en la fuerza de corte. Por otro lado, las troqueladoras mecánicas ofrecieron simplicidad y costos operativos reducidos, aunque también tenían restricciones en cuanto a la versatilidad y fuerza. Finalmente, se identificó que las troqueladoras hidráulicas eran las más adecuadas para el manejo del aluminio, gracias a su alta fuerza de corte y control del proceso, a pesar de su mayor costo de mantenimiento.

Tras seleccionar la troqueladora hidráulica, se procedió a calcular las fuerzas necesarias para su funcionamiento, asegurando que pudiera operar eficientemente. Este análisis incluyó determinar la fuerza de corte requerida y las presiones hidráulicas necesarias. Posteriormente, se realizó una comparación y cotización de los materiales necesarios para la construcción del equipo, considerando factores como costo, disponibilidad y propiedades mecánicas. Este enfoque metódico no solo garantizó que el diseño fuera viable desde el punto de vista técnico, sino que también se mantuvo dentro del presupuesto, asegurando así la efectividad del proceso de fabricación de fichas de aluminio.

ABSTRACT

The project focused on the design and automation of an aluminum die cutting machine, analyzing the different technologies available: pneumatic, hydraulic and mechanical die cutting machines. The advantages and disadvantages of each type were discussed, where pneumatic die cutters stood out for their speed and low initial cost, but presented limitations in cutting force. On the other hand, mechanical die cutters offered simplicity and reduced operating costs, although they also had restrictions in versatility and force. Finally, hydraulic die cutters were identified as the most suitable for aluminum handling, thanks to their high cutting force and process control, despite their higher maintenance cost.

After selecting the hydraulic die cutter, we proceeded to calculate the forces required for its operation, ensuring that it could operate efficiently. This analysis included determining the required cutting force and the necessary hydraulic pressures. Subsequently, a comparison and quotation of the materials needed for the construction of the equipment was made, considering factors such as cost, availability and mechanical properties. This methodical approach not only ensured that the design was technically feasible, but also kept within budget, thus ensuring the effectiveness of the aluminum chip manufacturing process.

Introducción

Problema de estudio

El rediseño y la automatización de una máquina troqueladora actualmente requiere de una alta inversión de software especializados, además de tener limitaciones en el diseño mecánico creando dificultades en su manipulación limitando la rentabilidad necesaria para cubrir sus costos de automatización.

Justificación

Una máquina de troquelado para aluminio es utilizada para la elaboración de diversas piezas que pueden ser vendidas y ser capaces de ganar una utilidad, lo que ayudaría con el cubrimiento del costo de construcción del troquel volviéndolo más rentable. Por lo que un diseño capaz de cumplir esta necesidad de rentabilidad ayudaría incentivando la construcción de esta máquina troqueladora.

Grupo objetivo

Este proyecto tiene como objetivo dar a conocer a las empresas manufactureras con la automatización pueden mejorar la eficiencia de la maquina troqueladora que se utiliza para cortar metal, aluminio en formas, patrones o en algún diseño en específico con esta automatización podremos reducir los tiempos de los procesos de producción.

Objetivos

Objetivo general

Rediseñar y automatizar una maquina troqueladora de fichas de aluminio de 1 mm de espesor para los laboratorios de ingeniería industrial.

Objetivo específico

- Definir los parámetros óptimos de procesamiento para una máquina troqueladora automatizada, con el propósito de mejorar la eficiencia y productividad en la fabricación de fichas de aluminio de 1 mm de espesor.
- Diseñar una máquina troqueladora mediante los cálculos necesarios para evaluar su funcionalidad mecánica e hidráulica.
- Analizar la factibilidad económica de la fabricación para la máquina de troquelado de aluminio de 1 mm de espesor para determinar los costos de producción

Metodología

Para identificar posibles mejoras, se realiza un diagnóstico y análisis inicial de la máquina actual. A continuación, se desarrolla un concepto que incluye un sistema de alimentación automática y piñones neumáticos. En la fase de desarrollo del sistema de control, se programa un PLC y se crea una HMI intuitiva. Se instalan sensores y barreras físicas, así como botones de parada de emergencia para integrar la seguridad. Una vez fabricados y montados los componentes, se realizan pruebas y validaciones en condiciones reales de funcionamiento. Por último, se instala la máquina en la planta de producción, se forma al personal y se proporciona un plan de mantenimiento preventivo y asistencia técnica continua para garantizar un funcionamiento óptimo.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se fundamentará la información del troquelado, tomando en consideración los parámetros técnicos, las fuerzas que intervienen en el proceso troquelado, así como también el principio de los troqueles principalmente en metales, además se hablara de la automatización para el diseño del troquel, se buscaran las aplicaciones de troquel en diferentes áreas orientadas a la parte de la manufactura sin el arranque de viruta. Sin embargo, este proceso no solo incluye el diseño del troquel, también incluye los sistemas de seguridad y la realización de pruebas iniciales. Por lo tanto, el proceso del troquelado se encuentra en varias industrias, ya que produce piezas exactas y de alta calidad, teniendo en cuenta los costos de producción y la amortización de los equipos.

1.1. El troquelado

El troquel es una pieza de ingeniería que ayuda a replicar una forma definida en un molde. Su uso se remonta a siglos pasados, cuando comenzó a emplearse en la elaboración de monedas, siendo esta una de las primeras actividades en dar una única forma homogénea y precisa en sus dimensiones y formas [1].

Hoy en día, el significado de la palabra troquel se utiliza para referirse a máquinas de filo cortante, ya que, a través de mecanismos de prensas neumáticas, mecánicas o hidráulicas, ejercen una presión sobre el objeto a troquelar y como resultado producen cortes, deformaciones o perforaciones que dan una forma definida.

En la actualidad, existen diferentes tipos de troqueles, cuya clasificación se basa en el tipo de operación que realizan [2]:

- Troquel simple: recibe este nombre porque con cada golpe, solo es capaz de ejecutar una sola operación.
- Troquel compuesto: se distingue por su capacidad de realizar dos operaciones simultáneas por cada golpe.
- Troqueles progresivos: permite llevar a cabo múltiples operaciones de forma secuencial, siendo capaces de entregar un producto final terminado.

1.2. Materiales utilizados para el troquelado

Existen múltiples materiales y aleaciones capaces de generar matrices de troqueles altamente complejas, las cuales pueden trabajar de forma efectiva durante muchos años. Entre los materiales más utilizados se encuentran los aceros, cuya elección dependerá tanto de la función del troquel como del tipo de material que se desea troquelar [3].

La Figura 1 indica la clasificación de los materiales utilizados, detallando tanto las ventajas como las desventajas.

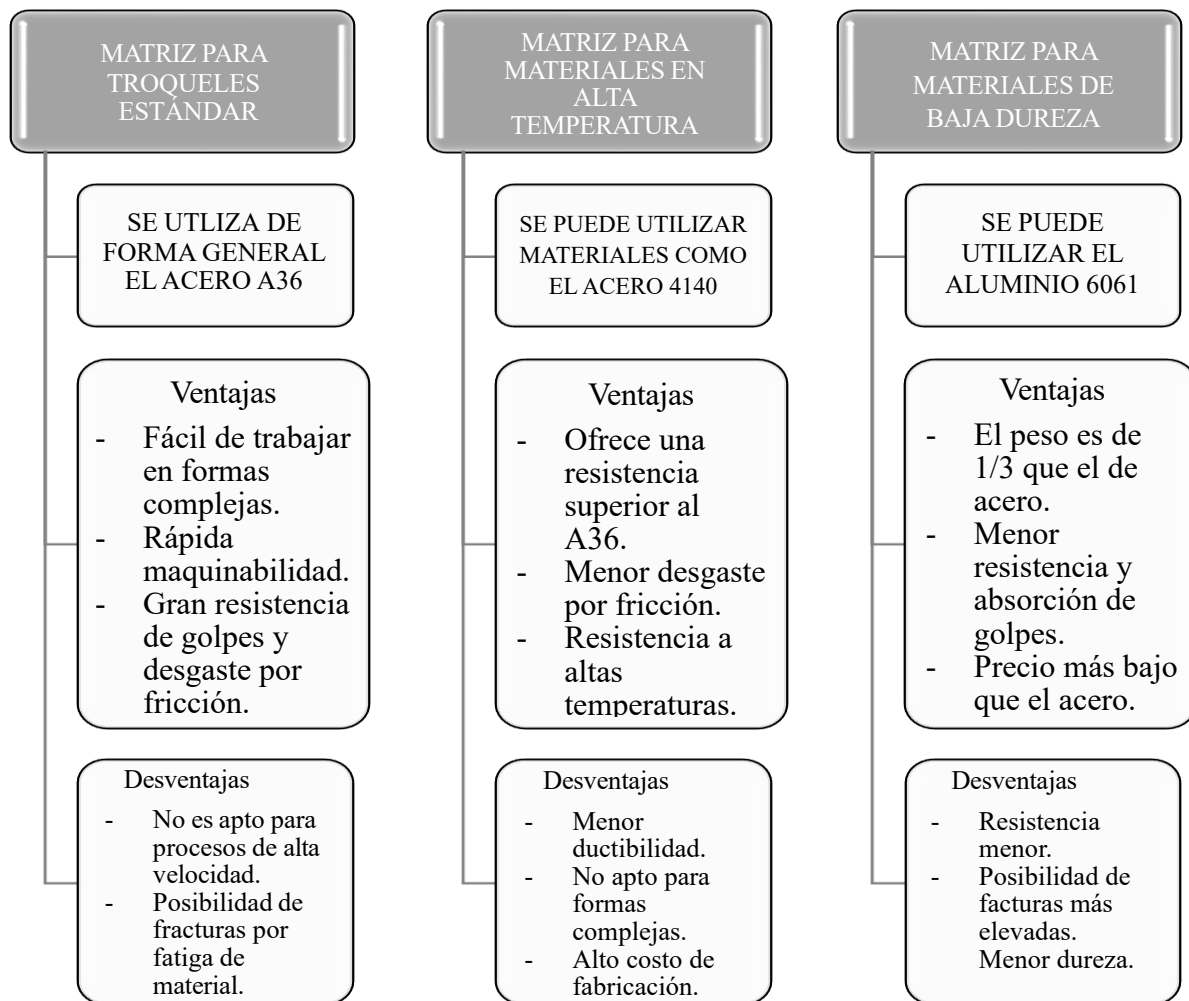


Figura 1. Mapa de las clasificaciones de matrices por su material

1.3. Automatización de un troquel

La automatización de un troquel se refiere a la utilización de medios artificiales para que el proceso de troquelado sea de manera autónoma. Por lo cual, en el contexto de una planta industrial esto implicaría dotar a la instalación de autómatas que permitan el funcionamiento sin intervención manual. Un autómatas es un sistema artificial que opera de forma automática mediante un programa predefinido, en el cual puede tomar decisiones basadas en las entradas recibidas y en su estado, lo que le permite realizar las tareas que se le han asignado de manera eficiente.

Continuando con la automatización, existen varios pasos que deben seguirse dependiendo de qué tipo de automatización se va a realizar.

1.3.1. Análisis de Necesidades y Diseño del Troquel

El primer paso consiste en realizar un análisis detallado de las necesidades de producción para diseñar el troquel adecuado. Por ende, este diseño debe considerar que el material a procesar es el aluminio de 2 mm de espesor, las tolerancias requeridas y la cantidad de piezas a producir [4]. Sin embargo, un troquel con diseño eficiente no solo aumenta la calidad del producto final, sino que optimiza el uso de materiales y disminuye los gastos de mantenimiento.

1.3.2. Selección e Implementación de Controladores Lógicos Programables (PLC)

Los PLCs son un papel fundamental en la automatización de las troqueladoras, ya que permiten un control preciso y automático de la máquina. Pues, estos dispositivos permiten gestionar tareas importantes, como la velocidad de operación, la presión de troquelado y la secuencia de movimientos. Por lo tanto, la programación de los PLCs debe ser realizada por expertos en el área para garantizar que todas las operaciones se ejecuten de manera sincronizada y segura.

1.3.3. Integración de Sensores y Sistemas de Monitoreo

El tercer paso, es integrar sensores y sistemas de monitoreo en la troqueladora para garantizar la precisión y seguridad en el proceso. Por ende, estos sensores tienen la capacidad de detectar cualquier anomalía y realizar ajustes automáticos en tiempo real. Además, los sistemas de monitoreo no solo ayudan a prevenir fallos, sino que también facilitan la planificación del mantenimiento preventivo de la máquina.

1.3.4. *Implementación de Sistemas de Seguridad*

La implementación de sistemas de seguridad en el diseño de la troqueladora es una prioridad en la automatización, ya que permite instalar barreras de seguridad, interruptores de emergencia y sistemas de monitoreo continuo para proteger a los trabajadores. Por eso, estos sistemas aseguran que la máquina se detenga inmediatamente en caso de detectar cualquier situación de riesgo, minimizando así los accidentes laborales.

1.3.5. *Pruebas y Ajustes Iniciales*

Por último, antes de iniciar la producción en serie, se debe realizar pruebas exhaustivas del sistema automatizado. En donde las pruebas incluyen la verificación de la precisión del troquelado, la velocidad de operación y la respuesta de los sistemas de seguridad. Por ende, cualquier ajuste necesario se realiza en esta etapa para asegurar que la máquina funcione de manera óptima.

1.4. Tipos de automatización

1.4.1. *Automatización Mecánica*

Este tipo de automatización se encarga de utilizar componentes que realizan tareas de forma automática, incorporando sistemas de alimentación automáticos, como rodillos y pinzas hidráulicas, que transportan el material a la troqueladora. Pues, gracias a este sistema, se logran cortes precisos y continuos que aumentan la eficiencia del proceso y eliminan la necesidad de intervención manual.

1.4.2. *Automatización eléctrica*

La base de la automatización eléctrica es el uso de componentes eléctricos para manejar y controlar la máquina. Esto incluye:

- PLC (controladores lógicos programables): estos dispositivos permiten la gestión automática de las funciones de la máquina, controlando aspectos como la velocidad de rotación y la secuencia de movimientos.
- Sensores: están adoptados en la máquina y son los que permiten realizar ajustes automáticos para mantener la calidad del producto, supervisando su funcionamiento y detectando anomalías en tiempo real.

1.4.3. *Automatización sofisticada*

Utiliza las tecnologías más avanzadas, como:

- Robótica: se emplea robots para realizar tareas complejas dentro del proceso de montaje, como la manipulación de materiales o el ensamblaje de componentes.
- Supervisión en tiempo real: se incorpora sistemas avanzados que permiten supervisar continuamente el rendimiento de la máquina y la calidad del producto final, facilitando un mantenimiento predecible.

1.5. Componentes de un troquel

Un troquel está formado por una serie de elementos que cumplen una función específica y que gracias a su función se puede realizar un trabajo óptimo [3]. Sin embargo, debido a sus propiedades físicas, estos elementos deben ser diseñados con precisión para lograr el objetivo de un troquel, el cual es producir piezas homogéneas sin defectos, ni fallas [8]. Por lo cual, estos elementos están presentes en casi todos los troqueles, sin importar su tamaño.

En la Tabla 1 se indican las partes más importantes de una matriz de troquelado, detallando su función en el proceso.

Tabla 1. Elementos de una matriz de troquelado [9]

Elemento	Función
Base superior	Su función principal es contener en su superficie todas las placas y elementos que sostienen los punzones del troquel. En esta zona, dichos elementos se anclan a esta base y de igual modo se unirá al cilindro de la prensa, el cual ejercerá la fuerza [6].
Base inferior	Es la placa en la cual se montarán las partes de la matriz o molde. A su vez, estará unida a la base de la prensa y actuará como soporte para la fuerza ejercida. Además, cuenta con columnas guía que poyan el descenso del molde. Esta placa, por lo general, se fábrica en acero A-36 debido a las altas presiones que deberá soportar [10].
Sufrideras	Las sufrideras o placas de choque cuentan con la función principal de absorber los impactos generados por la prensa [2]. Esto hace que el punzón choque contra la lámina del material a troquelar. Debido a ese proceso se recomienda el uso de materiales como el acero SAE/AISI 1045 [11].
Reglas guía	Son una serie de elementos que posee la matriz y facilitan el paso de la lámina a troquelar por las diferentes fases del troquelado, en caso de tratarse de un troquel progresivo.
Porta punzones	Consta de una placa capaz de albergar y asegurar en su interior todos los punzones. Sin embargo, su diseño dependerá de las capacidades del troquel. Estos estarán firmemente sujetos y guiados durante el descenso para evitar el desprendimiento o fracturas del punzón [11]. Además, estos elementos se construyen bajo especificaciones del dueño del troquel y en general usan el acero SAE/AISI 1045.
Porta matrices	La función de esta placa es albergar todo el conjunto de la matriz y disponer de sujetadores para su fijación.

Placa de prensado	Su función es la de ejercer presión sobre la lámina a troquelar generando una inmovilización de la misma. Desde el ingreso del punzón hasta el retiro del punzón. Esto con el fin de evitar desgarros de materiales y fracturas en la lámina por el arrastre del punzón [12].
Punzones	Conocidos en inglés como “Taps” [2], son la parte esencial del troquel, ya que son los elementos encargados de transformar la lámina y estos pueden ser de diversos tipos y para un gran número de propósitos. Por esta razón, muchos de estos elementos son diseñados bajo especificaciones para un propósito definido y debe estar formados por aceros que faciliten su trabajo donde se usa el acero SAE/AISI D6 por su alta resistencia [1].
Sistema de guiado	Son ejes ubicados en la base inferior, cuya misión es coordinar el movimiento entre la base superior y la inferior para garantizar una unión precisa En general, consta de 4 ejes que pueden estar lubricados y trabajar bajo fricción o usar un sistema de rodamientos.

Como se indica en la Tabla 1 un troquel está formado por partes móviles, entre ellas la base superior e inferior que están graficadas en la Figura 2 como un modelo en 3D.

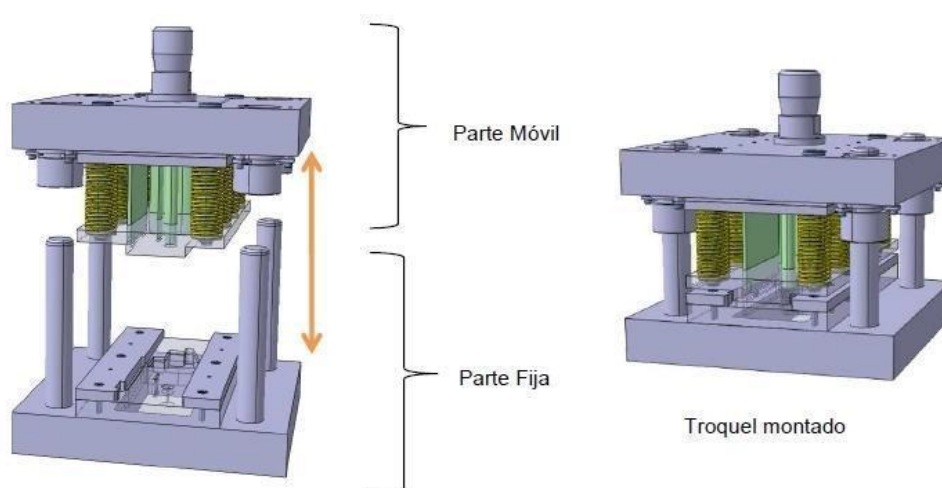


Figura 2. Vista en perspectiva de un troquel completo [4]

Todas las partes internas que conforman en una matriz de troquelado pueden ser apreciadas en la Figura 3 con un despiece mediante un modelo 3D.

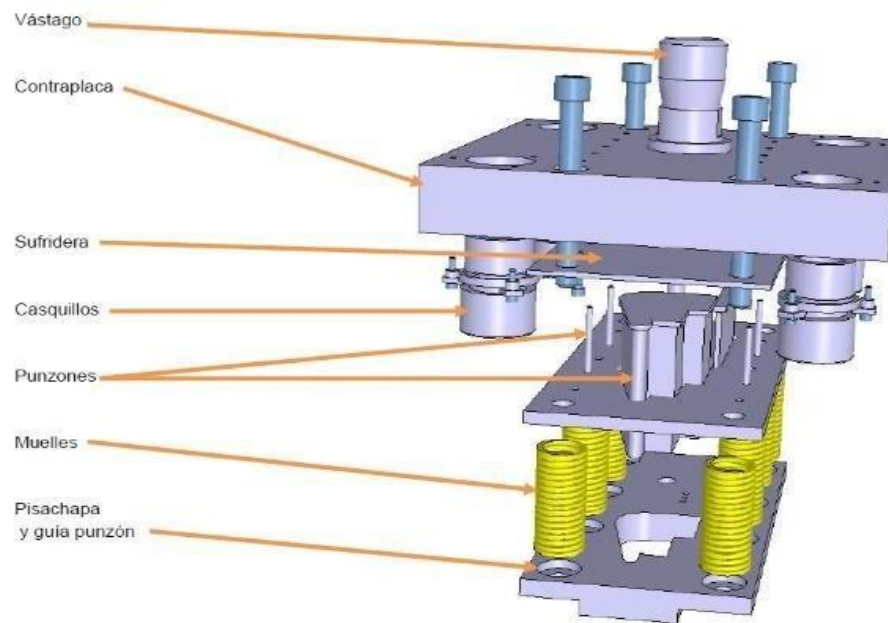


Figura 3. Despiece de un troquel para corte y perforado [4]

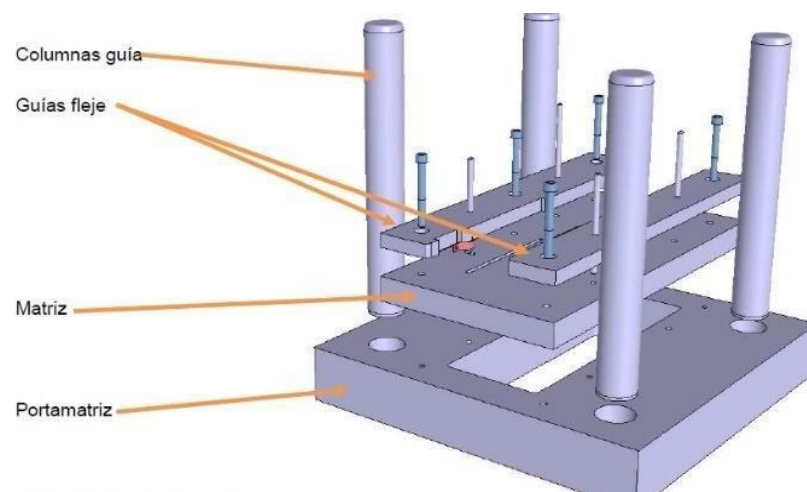


Figura 4. Despiece de un troquel para corte y perforado [4]

Las partes destinadas a guías y ejes son apreciables en la Figura 4 donde se indica la base inferior descubierta.

1.6. Aplicaciones de un troquel

Debido a la gran variedad de tipos de moldes y formas de troquelado, se han creado varios procesos en los que se puede utilizar un troquel, entre ellos se encuentran el cizallado, doblado, corte, estampado y embutido [10].

La Figura 5 detalla todos los procesos en los cuales se usa un troquel, indicando además el resultado obtenido en cada uno de ellos.

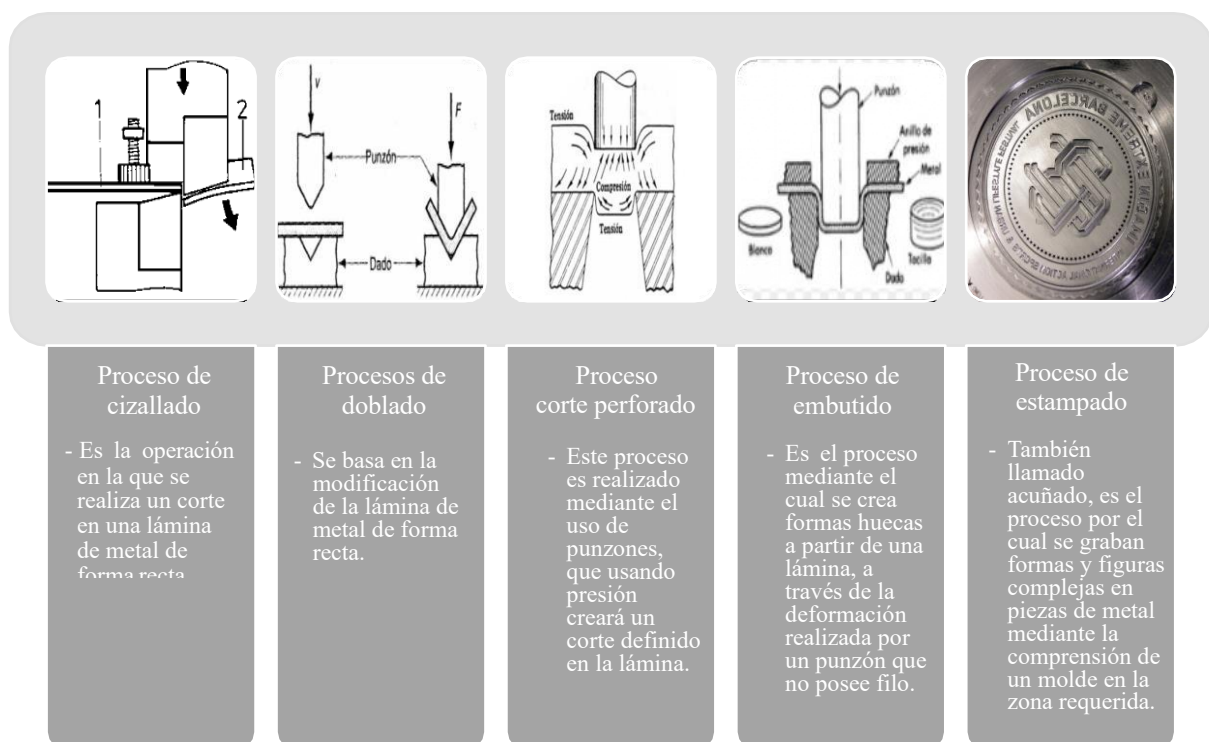


Figura 5. Aplicaciones del troquelado

1.7. Descripción del proceso de corte por troquel

El corte del metal mediante el uso del troquel es un proceso de cizallado en su forma más simple; sin embargo, este puede variar, ya que el metal se somete tanto a fuerzas de tracción como de compresión [6], generando una elongación más allá del límite elástico del material hasta alcanzar la fractura completa, a través de planos de desprendimiento en la zona.

Todo este proceso comienza con el movimiento descendente de la parte superior del troquel y los bordes del punzón comienzan a ejercer presión sobre la lámina, penetrándola a una distancia mínima [10]. En este punto, el material se encuentra entre la parte superior de la lámina y el borde de corte del punzón, lo que provoca que el material sufra un estiramiento, mientras que el área entre los bordes del punzón y el troquel permanezca comprimida.

La presión aplicada genera una elongación continua que lleva al material más allá del límite elástico [3], generando cambios que resultan en deformación plástica [12]. Esta penetración ocurre antes de que comience la fractura del metal que se está cortando. Posteriormente, el punzón, al encontrar su camino libre en la matriz, continúa su acción provocando el origen de grietas y eventualmente la fractura del material [5].

El proceso se describe con mayor claridad en el diagrama de proceso de la Figura 6, donde se evidencian los pasos y acciones a realizar.

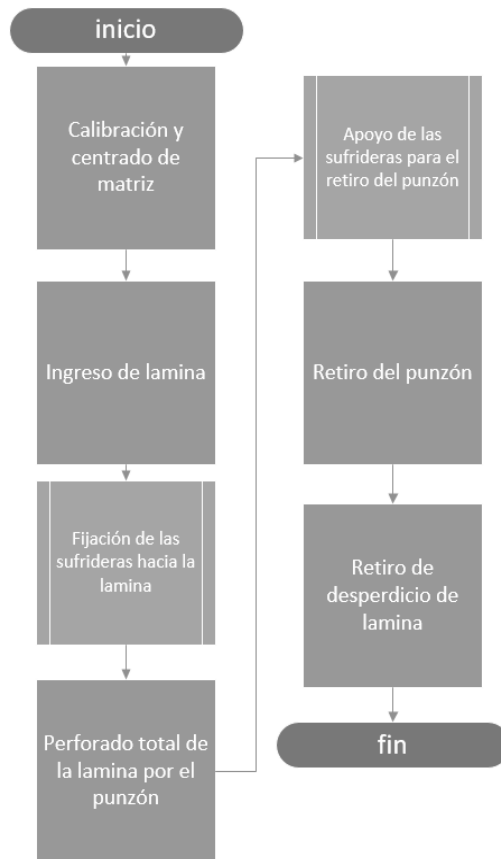


Figura 6. Diagrama del proceso de troquelado

1.8. Mecanismos de prensado y alimentadores

El accionamiento se refiere al tipo de mecanismo utilizado para crear la presión requerida en el proceso de troquelado. A continuación, en la Figura 7, se detallan los mecanismos más utilizados.

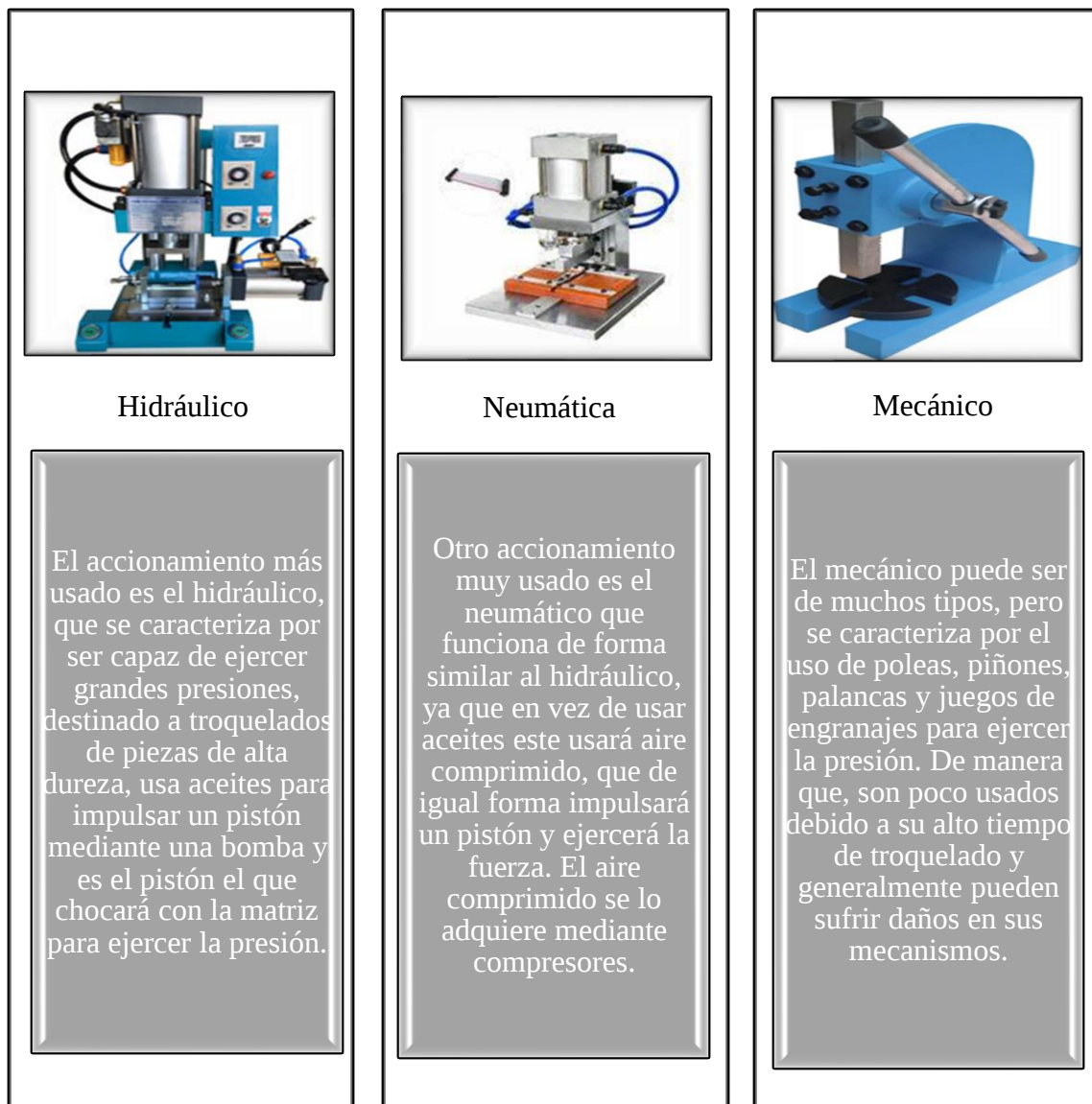


Figura 7. Tipo de mecanismos de troquelado

La alimentación se refiere al tipo de fuente de energía que usan para activar cualquier mecanismo. Existen dos grandes grupos de alimentación, los cuales se detallan en la Figura 8.



Figura 8. Tipos de alimentaciones

1.9. Parámetros para mecanizar

En la Tabla 2 se presentan las variables consideradas en el proceso de manufactura de una pieza, ya sea de forma manual o de forma programada con el uso de sistemas CNC.

Tabla 2. Parámetros de mecanizado

Parámetro	Definición	Unidades
n	Número de revoluciones (RPM)	<i>RPM</i>
D	Diámetro de corte	<i>mm</i>
V_c	Velocidad de corte	<i>m/mm</i>
f_z	Avance por diente	<i>mm</i>
V_f	Velocidad de avance	$\frac{mm}{mn}$ ó $\frac{m}{mn}$
Z	número de dientes	
a_p	Profundidad de pasada	<i>mm</i>
a_e	Ancho de corte	<i>mm</i>

1.10. Velocidad de corte (V_c)

La velocidad de corte se refiere a la velocidad que la herramienta gira sobre la superficie de la pieza de trabajo, expresada en metros por segundo (m/s). De esta forma, es posible determinar la distancia recorrida por un punto concreto del diente de la herramienta en un segundo, tal y como se hace con una fresadora. Sin embargo, este concepto también es aplicable a otras herramientas de corte, como taladros o tornos.

Por lo general, estas velocidades son indicadas por los fabricantes de las piezas de corte y suelen estar normadas en tablas de referencias. Sin embargo, esta se la puede calcular como se indica en la ecuación 1 que es la fórmula de velocidad de corte.

$$V_c = \frac{\pi * D * n}{1000} \quad \text{Ec 1.}$$

Donde:

- V_c es la velocidad de corte.
- π es el numero pi con un valor de 3.141516.
- D es el diámetro de corte.
- n es el número de revoluciones por minuto.

1.11. Revoluciones por minuto (RPM)

La velocidad del cabezal se mide en revoluciones por minuto (RPM), que se refiere a la cantidad de giros completos (vueltas) que se realiza en una punta de fresadora en un minuto. Se la puede calcular mediante la ecuación 2, que determina las revoluciones por minuto.

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D} \quad \text{Ec 2.}$$

Donde:

- V_c es la velocidad de corte.
- π es el numero pi con un valor de 3.141516.
- D es el diámetro de corte.
- n es el número de revoluciones por minuto.

1.12. Avance por revolución (f)

Para comprender este concepto, es importante aclarar que se refiere a la cantidad o espesor que cada diente arranca de la superficie que trabaja en un giro completo. Se la puede calcular mediante la ecuación 3, que determina el avance por diente.

$$f = \frac{V_f}{n} \quad \text{Ec 3.}$$

Donde:

- f_z es el avance por diente.
- V_f es la velocidad de avance.
- n es el número de revoluciones por minuto.

Y en el caso de brocas se usa la ecuación 4 avance por revolución.

$$f = f_z * z \quad \text{Ec 4.}$$

Donde:

- f_z es el avance por diente.
- z es el número de dientes.
- f es el avance por revolución.

1.13. Velocidad de avance (V_f)

También se la conoce como avance de mesa o avance de mecanizado. Este parámetro se la define como la distancia recorrida por la herramienta a lo largo de la superficie de la pieza

trabajada en un tiempo establecido y esta se expresa en milímetros por minuto (mm/min). Se la puede calcular con la ecuación 5 que determina la velocidad de avance.

$$V_f = f * n \quad \text{Ec 5.}$$

Donde:

- f es el avance por diente.
- V_f es la velocidad de avance.
- n es el número de revoluciones por minuto.

En el caso de brocas se llama velocidad de penetración y se usa la ecuación 6 para calcular la velocidad de penetración.

$$V_f = f * n \quad \text{Ec 6.}$$

Donde:

- V_f es la velocidad de penetración.
- f es el avance por revolución.
- n es el número de revoluciones por minuto.

1.14. Profundidad de pasada (a_p)

Se refiere a la profundidad que tiene la fresadora con respecto a la superficie de la pieza trabajada. En muchos casos, se usa la regla de no sobrepasar la distancia que obtenemos al multiplicar el diámetro de la fresadora por 2 y para evitar fracturas durante el corte.

1.15. Tiempo de mecanizado (t)

Es el tiempo que se necesita para consumir el mecanizado de una pieza de forma óptima. Este tiempo se la calcula con la ecuación 7, que corresponde al tiempo de mecanizado.

$$t = \frac{l}{v_c} \quad \text{Ec 7.}$$

Donde:

- V_c es la velocidad de penetración o de corte.
- l es la longitud que tiene la pieza a ser trabajada.
- t es el tiempo de mecanizado.

1.16. Fases de trabajo

Las fases de trabajo son los pasos que se deben seguir para que la pieza a trabajar sea manipulada de forma correcta y se puedan obtener las especificaciones necesarias por el diseño. El proceso comienza con la selección del material a trabajar. Se realiza el estudio del diseño y se planifican las operaciones requeridas. Luego, se realiza la fijación de la pieza y empieza el proceso de mecanizado que puede ser de la siguiente manera [1]:

- **Planeado:** para la elaboración de piezas que requieran superficies planas se usa el planeado, que busca eliminar toda superficie irregular de una cara de la pieza mediante el devastado continuo de una fresadora de corte recto.
- **Fresado en escuadra:** se parece de forma similar al planeado pero su mecanismo es dejar escalones rectos entre cada pasada que realiza la fresadora.
- **Ranurado recto:** es el devaste de una sección por el paso de una fresa de un ancho determinado.
- **Ranurado de chaveteros:** este mecanizado consiste en hacer ranuras sobre ejes en los cuales se colocará una chaveta.
- **Roscas:** es un proceso muy utilizado, puede ser de múltiples tipos y formas, dependiendo del tipo de sujeción que se quiera realizar.
- **Taladrado:** escariado y mandrinado: son operaciones de penetrado con brocas o fresadoras para obtener perforaciones dentro de una pieza de tamaños determinados.
- **Templado:** es un proceso térmico que aumentará la resistencia y dureza de una pieza con el fin de evitar su desgaste.

1.17. Formulación

1.17.1. *Fuerza efectiva para el trabajo de prensa*

La fórmula que se indica a continuación, se utiliza para obtener la fuerza efectiva para el trabajo de prensa.

$$F_{ef} = F_c + F_{ext} + F_{exp} \quad \text{Ec 8.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- F_{ef} es la fuerza necesaria para el trabajo de la prensa.

- F_c es la fuerza de corte.
- F_{ext} es la fuerza de extracción del punzón, cortada la chapa.
- F_{exp} es la fuerza de expulsión de la pieza que queda despegada en la matriz.

1.17.2. Fuerza real de corte

Esta fuerza es la que se utiliza para dimensionar el diseño de la troqueladora. Por lo tanto, para encontrarla, es necesario tener en cuenta el rendimiento que se obtiene de la máquina. Para ello, se requiere el uso de la siguiente fórmula.

$$F_{real} = \frac{F_{ef}}{\eta} \quad \text{Ec 9.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- F_{real} es la fuerza real de la troqueladora.
- F_{ef} es la fuerza necesaria para el trabajo de la prensa.
- η es el rendimiento de la troqueladora.

1.17.3. Fuerza de corte

La fuerza de corte es la energía mecánica necesaria para separar un material mediante un proceso de corte, en el cual la cuchilla o herramienta ejerce una presión hasta provocar su ruptura o separación del material. Además, se sabe que existe una relación proporcional directa entre la resistencia de la cizalladura, el perímetro y el espesor del material. Por ende, este tipo de fuerza siempre se mide generalmente en Newtons (N) o kilonewtons (kN), lo cual para su cálculo utilizaremos la siguiente fórmula.

$$F_C = K_c * p * e \quad \text{Ec 10.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- F_C es la fuerza de corte.
- K_c es el constante del material a cortar.
- p es el perímetro de corte.
- e es el espesor de la chapa a cortar.

La constante de resistencia a la cizalladura de algunos metales es importante a tomar en cuenta, ya que es el resultado de la suma de los esfuerzos de corte de cada uno de sus punzones.

Tabla 3. Coeficiente de resistencia a la cizalladura de metales

Coeficiente de resistencia a la cizalladura de algunos metales en (N/mm²)		
Material	Estado	
	Blando o Recocido	Crudo o Duro
Acero con 0.1% de C	245	313
Acero con 0.2% de C	313	392
Acero con 0.3% de C	353	470
Acero con 0.4% de C	441	549
Acero con 0.6% de C	549	706
Acero con 0.8% de C	706	882
Acero con 1% de C	784	1030
Acero inoxidable	510	588
Acero al silicio	441	549
Alpaca o planta Alemana	274-353	441-451
Aluminio	68-88	127-156

Bronce	313-392	392-588
Cobre	176-215	245-294
Plata	225	245
Plomo	19-29	-
Cinc	117	196

1.17.4. Fuerza de Extracción del Punzón

Es la fuerza necesaria para retirar el punzón después de realizar un corte o perforación. Sin embargo, esta fuerza varía según el tipo de material utilizado. En este caso, utilizaremos el aluminio de 1 mm de espesor y para calcular de manera porcentual oscila entre 2 y 7 % sobre la fuerza de corte.

$$F_{ext} = F_c * x\% \quad \text{Ec 11.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- F_{ext} es la fuerza de extracción.
- F_c es la fuerza de corte.
- $x\%$ es el valor porcentual, depende del tipo de material.

Los porcentajes mencionados anteriormente se obtiene dependiendo de las circunstancias de corte como se indica a continuación:

- Si el coeficiente es 2% significa que el material circundante a la figura es mínimo, pudiendo éste abrirse o expandirse.

- Si el coeficiente es 4% es porque la pieza presenta formas irregulares o tiene algún entrante en su perímetro de corte.
- Si el coeficiente es 7% es cuando el corte se corta en plena matriz con el punzón y la fuerza necesaria.

1.17.5. Fuerza de Expulsión de la Matriz

Representa la fuerza requerida para expulsar la pieza terminada de la matriz después del proceso de conformado. La forma de calcularlo es el 1.5% de la fuerza de corte.

$$F_{exp} = F_c * 1.5\% \quad \text{Ec 12.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- F_{exp} es la fuerza de expulsión.
- F_c es la fuerza de corte.

1.17.6. Tolerancia de corte entre el punzón y matriz

En la tolerancia de corte, el espacio que queda entre el punzón y la matriz se observa de un solo lado para obtener la matriz sin bordes. Por tanto, es importante tener en cuenta el valor de la tolerancia y por ende para el aluminio ($K_c = 88 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$) los valores de la tolerancia se obtiene entre 8 y 12 % de su espesor.

$$T = e * 12\% \quad \text{Ec 13.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- T es la tolerancia.
- e es el espesor de la matriz.

Una vez calculada la tolerancia, se usará dependiendo si el corte es interior o exterior. Cuando el corte es exterior, se escoge la matriz con la medida nominal y el punzón con la reducción de la tolerancia.

$$M_{matriz} = M_{nominal} \quad \text{Ec 14.}$$

$$M_{punzón} = M_{nominal} - Tolerancia \quad \text{Ec 15.}$$

Mientras que, en un corte interior el punzón pertenecerá a la medida nominal y se sumará a la matriz el valor de tolerancia.

$$M_{punzón} = M_{nominal} \quad \text{Ec 16.}$$

$$M_{matriz} = M_{nominal} + Tolerancia \quad \text{Ec 17.}$$

1.18. Selección del cilindro hidráulico

1.18.1. Fuerza del cilindro hidráulico

Es importante, una vez conocidas las fuerzas utilizadas para el corte de la matriz, saber qué cilindro escoger. En el caso de que no exista rozamiento, el cálculo del cilindro se realiza a partir de su área efectiva, la cual se calcula con el área que retrocede.

1.18.2. Área de avance

Para calcular el área de avance del pistón trabajaremos en unidades de mm^2 , lo que nos representará el área completa del avance D, como se muestra a continuación.

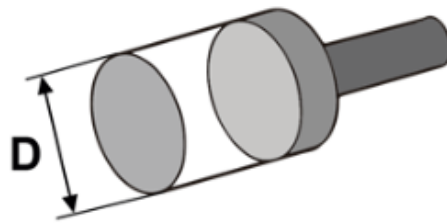


Figura 9. Área de avance

$$A_a = \pi * \frac{D^2}{4} \quad \text{Ec 18.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- A_a es el área de avance del cilindro.
- D es el diámetro del cilindro.

1.18.3. Fuerza de avance

Una vez obtenido el área de avance, procedemos a calcular la fuerza de avance que nos ayudará a saber que fuerza se necesita, siempre teniendo en cuenta la variable P. Sabiendo esto, la fórmula a calcular es:

$$F_a = A_a * \frac{P}{10} \quad \text{Ec 19.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- F_a es la fuerza de avance.
- A_a es el área de avance.
- P es la presión.

1.18.4. Área de retroceso

Para calcular el área del pistón cuando retrocede, debemos tener en cuenta que su área será menor que la del diámetro del pistón de avance, ya que su motivo de reducción es por la entrada del vástago. Por ende, para poder calcular esta área, usaremos la ecuación 20.

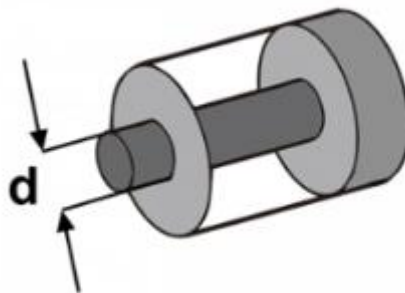


Figura 10. Área de retroceso

$$A_r = \pi * \frac{D^2 - d^2}{4} \quad \text{Ec 20.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- A_r es el área de retroceso del vástago.
- D^2 es el diámetro del cilindro.
- d^2 es el diámetro del vástago.

1.18.5. *Fuerza de retroceso*

Una vez obtenido el área del retroceso procedemos a calcular la fuerza de retroceso que nos ayuda a saber que fuerza se necesita, siempre teniendo en cuenta la variable P. Por ello, para calcular esta fuerza es la misma fórmula que la fuerza de avance, pero con el único cambio de que en vez de ir con el área de avance ahora va con el área de retroceso.

1.19. Las bases del corte

Al momento de obtener una pieza en concreto se procede a realizar el proceso de corte, el cual se lleva a cabo sobre una lámina de metal. Este proceso involucra varias etapas, que se describen a continuación:

1.19.1. *Deformación Plástica*

La deformación ocurre cuando se aplica una presión continua entre una cuchilla fija y otra móvil sobre el material que se va a cortar. Esta presión provoca un cambio irreversible en la forma del material. Como se puede ver en la figura 11, el movimiento de la cuchilla móvil respecto al material a cortar provoca esta deformación.

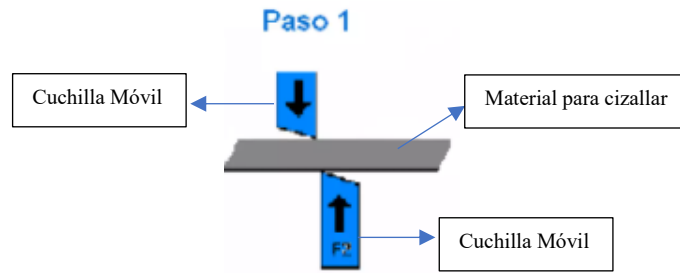


Figura 11. Deformación Plástica

1.19.2. Cizallamiento

Cuando se produce la deformación plástica, las cuchillas comienzan a penetrar en el material, por ende, el material empieza a endurecerse en la zona donde se aplica el corte. En la figura 12, se puede observar cómo el material responde al cizallamiento y cómo se va endureciendo a medida que avanza el proceso.

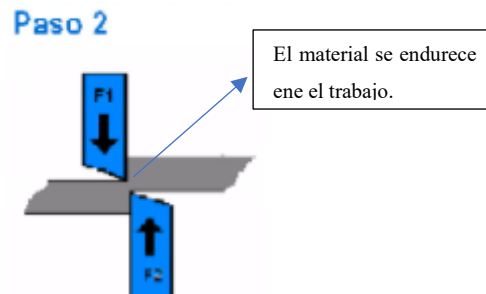


Figura 12. Cizallamiento

1.19.3. Ruptura

Una vez que la zona afectada se ha endurecido, en el material comienza a formarse pequeñas roturas o grietas en los puntos de contacto entre las cuchillas. Por lo tanto, cuando las roturas coinciden provoca que el material se divida en dos partes. En la figura 13, se muestra cómo el material se comporta al momento de la ruptura.

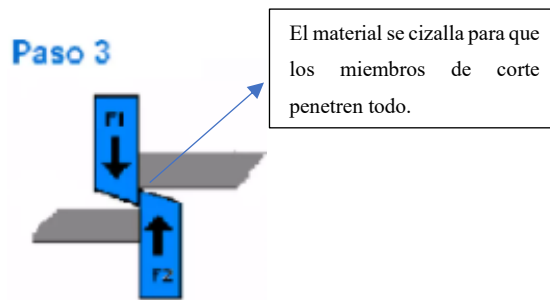


Figura 13. Ruptura

1.20. Optimización para la matriz

Es relevante tener un estudio exhaustivo sobre las dimensiones, los materiales y el tipo de acabado que se utilizarán en el diseño y fabricación de los componentes. Este enfoque permitirá maximizar el rendimiento y aumentar la durabilidad de la matriz.

1.21. Matriz con dimensiones

La matriz muestra las dimensiones clave que se deben tener en cuenta para su diseño en la troqueladora. Específicamente, se indica una medida de 33.50 mm de ancho, 17 mm de alto, un radio de 8.50 mm y un diámetro de 6 mm, estas medidas serán un parámetro importante a considerar durante el proceso del diseño y optimización de la máquina. Además, se incluye la etiqueta "UPS M".

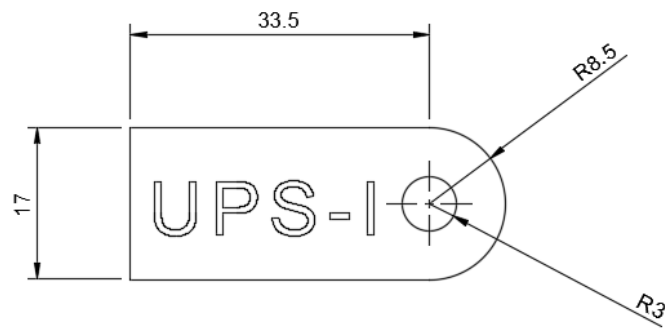


Figura 14. Dimensiones de la matriz

A continuación, en la Figura 15 se muestra un ejemplo de la ficha de aluminio en 3d.



Figura 15. Matriz en 3D

1.22. Distancia de Separación entre Piezas

Es el espacio libre o intervalo que se deja entre piezas durante un proceso de fabricación. Esta separación debe asegurar que la tira de material se mantenga rígida para conseguir un buen corte, sin que la forma se pierda y obtener piezas adecuadas. La distancia entre las piezas es crucial para:

- Evitar interferencias.
- Permitir la manipulación.
- Garantizar tolerancias dimensionales.

$$a = 1,5 * e \quad \text{Ec 21.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- a es la separación entre piezas.
- e es el espesor de la matriz.

Sin embargo, para determinar la distancia de separación entre piezas se debe tener en cuenta que debe ser mayor o igual a 1mm.

1.23. Distancias de Separación entre Piezas y Borde

Hace referencia a la separación entre el perímetro de la pieza y el borde de la herramienta o matriz, asegurando la rigidez del material y el ancho del eje al momento de cortar una serie de piezas. Por ende, es importante para:

- Conseguir una precisión dimensional.
- Evitar deformaciones.
- Optimizar el aprovechamiento del material.

$$b = 1,5 * e \quad \text{Ec 22.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- b es la separación entre piezas y borde.
- e es el espesor de la matriz.

Para determinar la anchura del fleje, se utiliza la siguiente ecuación:

$$B = 2 * b + h_{pieza} \quad \text{Ec 23.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- B es la anchura del fleje.
- b es la separación entre piezas y borde.
- h_{pieza} es la altura de pieza.

1.24. Paso o Avance

Definido como la distancia que recorre una herramienta o elemento de corte en cada ciclo o movimiento. Esta distancia se mide principalmente en milímetros y representa el avance del fleje del material dentro de una matriz entre dos ciclos sucesivos de la prensa. Por tanto, el paso o avance es característico por:

- Determinar la velocidad de producción.
- Influir en la calidad superficial.
- Se mide generalmente en mm/revolución o mm/minuto.

$$P = a + a_{pieza} \quad \text{Ec 24.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- P es el paso.
- p es la separación entre piezas.
- a_{pieza} es la anchura de la pieza.

1.25. Esfuerzo

Es la distribución de las fuerzas a lo largo de toda el área o sobre un punto específico en la superficie. Este esfuerzo debe asegurar que el material se deforme sin generar daños en las piezas. No obstante, si hay un mal esfuerzo puede afectar la calidad de las piezas y la durabilidad de la máquina. El esfuerzo es característico por:

- Evitar deformaciones en el material.
- Influir en la calidad del corte.
- Minimizar el desgaste de la herramienta y maximizar su vida útil.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec 25.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- σ es el paso.
- F es la separación entre piezas.

- A es la anchura de la pieza.

El cálculo del área a cortar se realiza de la siguiente manera:

$$A_r = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad \text{Ec 26.}$$

El área de un rectángulo se determina mediante la siguiente fórmula:

$$A_1 = b + h \quad \text{Ec 27.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- A_1 es el área del rectángulo.
- b es la base.
- h es la altura del rectángulo.

El área de un círculo se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$A_2 = \pi + r^2 \quad \text{Ec 28.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- A_2 es el área del círculo.
- r es el radio.

1.26. Factor de Seguridad

Es un elemento clave en los cálculos, ya que permite evaluar la capacidad de material que se necesita para la matriz. Este factor va asegurar que la maquina funcione de manera correcta y eficiente, evitando daños en las piezas producidas. Por lo tanto, el factor de seguridad es esencial para:

- Prevenir la rotura o deformación de la matriz.
- Asegurar el proceso de corte.
- Garantizar un funcionamiento seguro a largo tiempo.

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_{calculado}}{f_s} \quad \text{Ec 29.}$$

Donde sus símbolos y descripciones son:

- $\sigma_{admisible}$ es el esfuerzo permitido, es decir el esfuerzo estándar del material.
- $\sigma_{calculado}$ es el esfuerzo calculado, es decir el esfuerzo obtenido con la fuerza máxima de corte permitida del material.
- f_s es el factor de seguridad que debe ser igual o inferior a 2,5, para garantizar que el material no esté en riesgo de fallar.

1.27. Costos de Producción

Dentro de la producción se debe considerar las variables económicas, que son fundamentales para la continuidad del proceso de fabricación por su relevancia en el ingreso de múltiples variables indispensables o no para una actividad o servicio [13].

El costo es un término que se usará con frecuencia y se lo definirá dentro del mundo industrial como: “El desembolso económico necesario, que se debe realizar para adquisición de algún bien o servicio que será fundamental para un proceso productivo” [14].

Por ende, este será la base para el estudio, ya que permitirá determinar compras, disponibilidad de equipo, personal y servicios con los que contará una empresa.

1.28. Diferencia entre costos y gastos

Si bien hoy en día ambas palabras se las usa con el fin de expresar una acción de compra, estas no son iguales en su significado.

- Un costo está directamente vinculado a la producción de un bien o servicio, mientras que un gasto está vinculado a conceptos administrativos y de funcionamiento [13].

Para la determinación de los costos directos se pueden usar matrices donde se cataloga los elementos que serán usados en el proceso de la fabricación, marcando tanto sus precios como sus cantidades.

1.29. Elementos del Costo de Producción

Dentro de los elementos del costo de producción, se deben considerar algunos componentes esenciales. A continuación, en la Figura 16 se muestra los componentes que influyen en el costo de un producto.



Figura 16. Costo total de un producto

1.30. Tipos de costos

Dentro del mundo de los costos, existe una gran variación dependiendo del tipo de trabajo y los materiales utilizados. De manera que, para calcular los costos se puede realizar de diferentes maneras, pero su principal objetivo será cubrir todas las necesidades que se requieran y que puedan ser fijos o variables [2]. No obstante, ambos tipos de costos deben ser cubiertos.

A continuación, en la Tabla 4 se presentan los distintos tipos de costos.

Tabla 4. Tipos de costos [3]

Costo de producción	Es un tipo de costo que está directamente relacionado con la actividad de la empresa y varía en el volumen de producción.
Costo variable progresivo	Se basa en las cantidades producidas, cuantas más horas un producto demore en estar listo más se le paga a los empleados por ese tiempo.
Costos fijos	Son los que no varían bajo ninguna actividad de la empresa y dependen de factores que la empresa no puede controlar, generalmente son planificados en intervalos definidos.

Las fórmulas que se usarán para la determinación de los costos son las siguientes:

El cálculo del costo primo, el cual se describe en la ecuación 30.

$$C_{pr} = Mp + Mo \quad \text{Ec 30.}$$

Denominado como:

- Costo primo (C_{pr}).
- Costo de materia prima (Mp).
- Costo de mano de obra (Mo).

El cálculo del costo de transformación, que se describe en la ecuación 31.

$$CTr = Mo + Ci \quad \text{Ec 31.}$$

Denominado como:

- Costo de transformación (CTr).
- Costos indirectos (Ci).
- Costo de mano de obra (Mo).

El cálculo del costo de producción, que se describe en la ecuación 32.

$$Cp = Cpr + Gi \quad \text{Ec 32.}$$

Denominado como:

- Costo de producción (Cp).
- Costo primo (Cpr).
- Gastos indirectos (Gi).

El cálculo del gasto de operación, que se describe en la ecuación 33.

$$Go = Gd + Ga + Gf \quad \text{Ec 33.}$$

Denominado como:

- Gastos de operación (Go).

- Gastos de distribución (Gd).
- Gastos de administración (Ga).
- Gastos financieros (Gf).

El cálculo del costo total, el cual se describe en la ecuación 34.

$$CT = Cp + Go \quad \text{Ec 34.}$$

Denominado como:

- Costo de producción (Cp).
- Gastos de operación (Go).
- Costo total (CT).

1.31. La amortización

La amortización es un concepto que se aplica dentro de las inversiones de equipos y bienes de alto valor, ya que se basa en la remisa de la pérdida de valor de un bien en el transcurso del tiempo de su vida útil [4]. Por lo tanto, se define como tiempo de vida útil el periodo durante el cual se espera que el bien pueda ser utilizado con normalidad antes de quedar obsoleto para el cálculo de la amortización [3]. De manera que, para calcular la amortización, se emplea la ecuación 35.

$$A = \frac{Vi - Vr}{Tv} \quad \text{Ec 35.}$$

Denominado como:

- Valor inicial: es el valor el cual el objeto fue adquirido o el costo total pagado (Vi).
- Valor residual: es el valor en el cual el objeto está valuado actualmente (Vr).
- Tiempo de vida útil (Tv).

1.32. Cálculo de retorno de inversión

Este concepto conocido como (ROI) por sus siglas en inglés [5], es muy usado dentro del mundo de las finanzas para indicar el tiempo que debe pasar para recuperar un monto invertido en algún bien, todo con el fin de poder estimar la rentabilidad de una inversión en el tiempo [3]. El cálculo del retorno de inversión se expresa mediante la ecuación 36.

$$ROI = \frac{B-It}{It} * 100\% \quad \text{Ec 36.}$$

Denominado como:

- Beneficio (B).
- Inversión Total (It).

CAPÍTULO II

2. DISEÑO Y AUTOMATIZACION

En este capítulo se analizarán las ventajas y desventajas de los distintos tipos de mecanismos mencionados en el capítulo I, para seleccionar la troqueladora que mejor se ajuste a los objetivos del diseño de la máquina. Además, se abordarán las partes y las fases de trabajo de la máquina, así como los cálculos necesarios para determinar que cilindro hidráulico se utilizara, con el propósito de elaborar las fichas de aluminio de 1 mm de espesor, seleccionando los actuadores hidráulicos, así como la automatización de este.

2.1. Selección de troqueladora

Existen varios tipos de troqueladoras, pero los que mejor se adaptan a las necesidades del diseño son los mecanismos mecánicos, hidráulicos e hidráulicas. Por lo tanto, para seleccionar un tipo de mecanismo que cumpla con los objetivos propuestos, se tiene que realizar un estudio detallado de las características más relevantes de los mecanismos como el costo, la facilidad de fabricación, el espacio requerido para su operación, entre otros factores.

A continuación, se realizará un análisis de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de mecanismos de las diferentes troqueladoras para poder seleccionar la mejor enfocada a nuestro diseño.

2.2. Troqueladora Hidráulica

Se denomina troqueladora hidráulica porque ofrece una gran potencia y son ideales para materiales más gruesos, aunque su costo y mantenimiento pueden ser más elevados. Pues, en la figura 17 se muestra un ejemplo de este tipo de máquina.



Figura 17. Troqueladora Hidráulica

2.2.1. *Principio de rendimiento*

La troqueladora hidráulica se basa en la aplicación del principio de Pascal, por lo cual este sistema funciona mediante la alimentación de aceite a presión en las cámaras del pistón. Según el flujo de aceite hacia las cámaras anterior o posterior, se realizará un movimiento de avance o retroceso del émbolo del pistón para que accione la corredera directamente.

Este tipo de troquelado se utiliza en operaciones como embutición profunda o en trabajos que requieren grandes niveles de presión, ya que al momento de realizar movimientos lentos durante el corte permite que las fibras del material experimenten un estiramiento más uniforme, logrando un flujo controlado y reduciendo el riesgo de roturas.

2.2.2. *Ventajas:*

- Capacidad de mantener la fuerza total a lo largo de toda la carrera, por lo cual no tiene la necesidad de calcular pérdidas de fuerza durante el proceso.
- Tiene alta seguridad por el uso de sensores y actuadores, esto permite activar válvulas de seguridad en caso de fallos como la rotura de un troquel.

- Puede operar con un nivel de ruido muy bajo, debido a que poseen pocas partes móviles y carecen de ruedas volantes.

2.2.3. Desventajas:

- Este tipo de mecanismo tiene una velocidad de corte lento, por lo cual puede provocar desgarros en el material si no se aplica suficiente fuerza.
- Además, tiene una alimentación larga y esto implica tener un espacio muy amplio para la alimentación, debido al diseño y tamaño de la máquina.
- Necesita operar con un aislador de choque para la descompresión y con la falta de este dispositivo puede provocar daños en las líneas en un período corto de tiempo.

2.3. Troqueladora Neumática

Una troqueladora Neumática es ligera y fácil de manejar, pero su capacidad de corte puede ser inferior en comparación con las otras troqueladoras. A continuación, en la figura 18 se muestra un ejemplo de este tipo de máquina.



Figura 18. Troqueladora Neumática

2.3.1. Principio de rendimiento

La operación básica de una troqueladora Hidráulico es la compresión de aire, ya que está compuesto de un compresor que genera aire a alta presión y a su vez alimenta a las cámaras del cilindro hidráulico. Por lo tanto, para realizar un buen corte esto va a depender de la dirección en la que se dirige el flujo de aire para generar un avance o retroceso del pistón. Este tipo de máquina se suele utilizar para trabajos que no requieren fuerzas altas, pero sí de rapidez y precisión.

2.3.2. Ventajas:

- Capacidad de realizar cortes rápidos y repetitivos, es decir tiene una alta velocidad de operación, lo cual permite optimizar tiempos de producción.
- Tiene menor coste operativo, ya que al usar aire comprimido como fuente de energía resulta ser más económica, lo que contribuye a la reducción del impacto ambiental en comparación con las troqueladoras hidráulicas.
- Es una máquina versátil, pues es ideal para diferentes tipos de corte y materiales.
- No requiere de varios mantenimientos debido a su diseño menos complejo, lo cual ayuda a optimizar tiempo.

2.3.3. Desventajas:

- No puede generar la misma fuerza que una troqueladora hidráulica, por lo tanto, tiende a limitar la fuerza en trabajos menos exigentes.
- La máquina depende de un compresor de alta calidad, por lo que si carece de este elemento no puede funcionar y por ende puede aumentar los costos iniciales de instalación.
- Tiene menor precisión en materiales gruesos debido a su velocidad y fuerza de operación.

2.4. Troqueladora Mecánica

Es conocida por su rapidez y precisión, pero pueden presentar limitaciones en términos de fuerza y flexibilidad. Pues, en la figura 19 se muestra un ejemplo de este tipo de máquina.



Figura 19. Troqueladora Mecánica

2.4.1. Principio de rendimiento

Su funcionamiento se basa en la conversión de la energía rotativa del motor en un movimiento lineal para accionar el troquel que conforma la troqueladora mecánica. De manera que, un volante de inercia acumula energía cinética y este se libera para realizar un corte o conformado del material. Este mecanismo es utilizado para producciones en serie.

2.4.2. Ventajas:

- La máquina tiene la capacidad de realizar piezas con geometrías de alta complejidad en un gran número de series por minuto, por lo cual ayuda a tener una alta velocidad de producción.

- Trabaja con precisión en el corte, lo que ofrece cortes uniformes y precisos, garantizando la calidad de las piezas producidas.
- El consumo energético, aparte de su inversión es eficiente porque utiliza un volante de inercia que permite almacenar y liberar energía de manera controlada, reduciendo el consumo de energía eléctrica durante la operación.
- Tiene una alta durabilidad, ya que está diseñado para soportar cargas de trabajo intensivas y tienen una larga vida útil con un mantenimiento adecuado.

2.4.3. Desventajas:

- Tiene menos flexibilidad para ajustes durante el proceso de corte, lo cual puede ser una limitación para trabajos que requieren variaciones en la fuerza o en la velocidad de corte.
- Necesita operar con un nivel de ruido muy alto, en comparación con otros tipos de troqueladoras, como las hidráulicas o Hidráulicos.
- Está maquinaria por lo general requiere de un mantenimiento especial y complejo, debido a sus componentes mecánicos.
- Su construcción es económicamente alta por su diseño complejo.

2.5. Selección final

Teniendo en cuenta las opciones mencionadas se procede a escoger la mejor elección, que se tomarán en cuenta en las siguientes rúbricas:

- Eficiencia de producción.
- Costos operativos.
- Facilidad de montaje.
- Facilidad de operación.
- Flexibilidad y adaptabilidad.

- Facilidad de mantenimiento.

Al tener en cuenta todas las rubricas, vamos a evaluar mediante la siguiente tabla considerando que:

- Del 1 al 5 = No Accesible
- Del 6 al 10 = Accesible

Tabla 5. Ponderación de elección

Ponderación de Elección			
Rúbricas	Elección 1	Elección 2	Elección 3
	Mecánica	Neumática	Hidráulico
Eficiencia de Producción	8	7	6
Costos Operativos	7	6	5
Facilidad de Montaje	6	5	7
Facilidad de Operación	7	6	8
Flexibilidad y Adaptabilidad	5	7	8
Facilidad de Mantenimiento	6	5	7
TOTAL	39	36	41
%	95.12%	87.80%	100%

En la **Tabla 5** se muestran los resultados obtenidos durante las rubricas mencionadas.

2.5.1. Análisis

- **Mecánica:** En eficiencia y costos son altamente accesibles, pero tiene una menor flexibilidad.
- **Hidráulica:** Tiene buena eficiencia y es adaptable, pero en mantenimiento es

costosa.

- **Hidráulico:** Es muy flexible y adaptable en su operación, pero puede tener unos costos operativos altos.

Después de todo lo mencionado anteriormente, y en función del análisis de las ventajas y desventajas de cada una de las opciones presentadas, así como la Tabla 4 titulada "Ponderación de elección", se optará por realizar el rediseño con una troqueladora mediante un accionamiento hidráulico.

2.6. Fases de trabajo

Para poder empezar con las fases de trabajo es necesario recordar los principales elementos de una troqueladora. En la siguiente tabla se muestra los diferentes elementos de una troqueladora Hidráulico y sus respectivas funciones.

Tabla 6. Elementos de una troqueladora Hidráulico

Elemento	Función
Troquel	Encargado de la forma y dimensiones del diseño que se quiere cortar.
Matriz de corte	Proporciona soporte para dar forma al material.
Punzón	Sirven para realizar transformaciones en la lámina, como doblar.
Placa base	Plataforma sobre el cual se coloca el material que se va a cortar.
Placa porta-troqueles	Sostiene el troquel y guía el movimiento durante el proceso de corte.
Sistema de accionamiento	Mecanismo encargado de aplicar la fuerza necesaria para realizar el corte.

Pistón o cilindro de presión	Aplica la presión necesaria sobre el troquel para efectuar el corte.
Bujes de guía	Elementos que alinean el material y los troqueles.

En la **Tabla 6** encontramos todos los elementos de una troqueladora hidráulico.

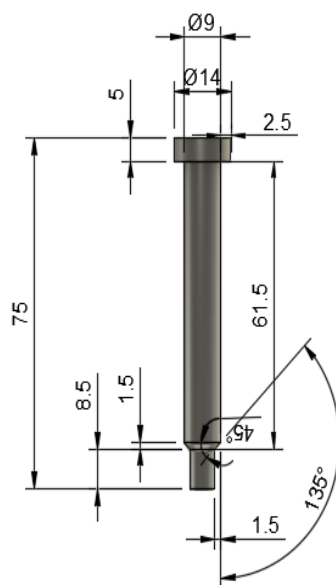
Por otro lado, para el análisis del rediseño, se realizará las fases de trabajo de cada uno de los elementos, como ejemplo a continuación se mostrará en la tabla el plano de la fase de trabajo para el buje.

Estas fases de trabajo se aplicarán para todos los ejes que se tiene y se colocarán como anexos.

2.7. Fase de trabajo punzón

Tabla 7. Fases de trabajo del punzón

Eje escalonado, con cono, cuadrado y rosca								
Escala: 1:1	Material ACERO	Dimensiones en bruto: 20 _φ x 100 mm	Medidas sin toleranci a: DIN 7168	Medidas nominales				
				Grado de precisión	1	6	30	100
					a	a	a	a
					6	30	100	1000
Media	0 , 1	0,2	0,3	0,5				



Sub-Fase	OP .	Designación	Descripción	Utillaje	Vc m/ min	n rpm	Vf mm/ min	f mm/ mm	Tm min
1	1.1	DESBASTE	Cortar 25 mm de longitud y eliminar 6 mm de diámetro.	HSS. Llave de husillo. Llave de portaherramientas. Vernier.	15,07	800	15,15	0,018	1,65
2	1.2	CILINDRADO	Cortar 8 mm de material en una sola pasada por una distancia de 8.5 mm.	HSS. Llave de husillo. Vernier	20,10	800	20,38	0,022	0,42
3	1.3	CHAFLAN	Se realiza un corte de 45° se pasa a un biselado de 1.5 mm y	HSS. Contrapunta Vernier	3,76	800	3,75	0,005	0,40

			con un avance de 1.5 mm/rev.						
4	1.4	CILINDRADO	Se continua con el biselado del chaflan que es 1.5 mm con un avance de 60 mm creando un diámetro de 9 mm.	HSS. Llave porta herramienta Vernier.	222,6 2	8800	222,6 4	00,02 8	2,65
5	1.5	TRONZADO	Mecanizar tronzado en parte superior del punzón, con diámetro de 14 mm y 5 mm de avance. Comprobar medidas.	Cuchilla de tronzar Vernier.	335,1 9	8800	35,21	00,04 4	0,142
Tiempo de maquinado total									6,46

En la **Tabla 7**, he detallado la fase de trabajo del punzón.

2.8. Cálculo del punzón de la fase de trabajo.

2.8.1. Velocidad de corte (V_c)

Para el diseño de la prensa hidráulica, es necesario calcular la velocidad de corte, la cual se puede determinar con la ecuación 1 donde:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$V_c = \frac{\pi \cdot 8 \cdot 800}{1000}$$

$$V_c = 20,10$$

2.8.2. *Revolución por minuto (RPM)*

En esta sección, para encontrar el número de revoluciones por minuto que requiere la operación de mecanizado, aplicaremos la ecuación 2:

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D}$$
$$n = \frac{20,10 * 1000}{\pi * 8}$$
$$n = 800 \text{ rpm}$$

2.8.3. *Avance por diente (fz)*

En este paso, necesitamos conocer el avance por diente, ya que nos indica cuánto avanza la herramienta por diente en cada revolución, el cual se puede calcular con la ecuación 3:

$$f = \frac{V_f}{n}$$
$$f = \frac{20,38}{800}$$
$$f = 0,022 \frac{\text{mm}}{\text{rev}}$$

2.8.4. *Velocidad de avance (Vf)*

En esta parte, calcularemos la velocidad de avance, ya que nos muestra la rapidez con la que la herramienta se desplaza, y se determina mediante la ecuación 5:

$$V_f = \frac{L}{t}$$

$$V_f = \frac{8,5}{0,42}$$

$$V_f = 20,38 \frac{mm}{min}$$

2.8.5. *Tiempo de mecanizado (t)*

Para estimar el tiempo que tomará el proceso de mecanizado de una pieza, se empleara la ecuación 7:

$$t = \frac{l}{V_f}$$

$$t = \frac{8,5}{20,10}$$

$$t = 0,42 s$$

2.9. *Calculo de la fuerza de corte en el troquelado*

2.9.1. *Fuerza efectiva para el trabajo de prensa*

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

Mediante la ecuación de la fuerza efectiva para el trabajo de la prensa se tiene que:

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

Dado que la fuerza de corte total es:

$$F_c = 9741,56 [N]$$

La fuerza de extracción ya calculada es:

$$F_{ext} = 681,912 [N]$$

Y la fuerza de expulsión es:

$$F_{exp} = 146,124 [N]$$

El cálculo de la fuerza efectiva es:

$$F_{ef} = 9741,56 [N] + 681,912 [N] + 146,124 [N]$$

$$F_{ef} = 10569,636 [N]$$

$$F_{ef} = 1,0778 [Ton]$$

2.9.2. *Fuerza real de corte*

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

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

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

$$F_{real} = \frac{1,0778 [Ton]}{75\%}$$

$$F_{real} = 1,44 Ton$$

Con esto se puede concluir que la troqueladora realiza una fuerza mínima de 1,44 Toneladas.

2.9.3. *Fuerza de corte*

Para sacar la fuerza de corte primero tenemos que conocer los perímetros de la ficha de aluminio, por lo cual el perímetro del diámetro interno de la ficha es 6 mm.

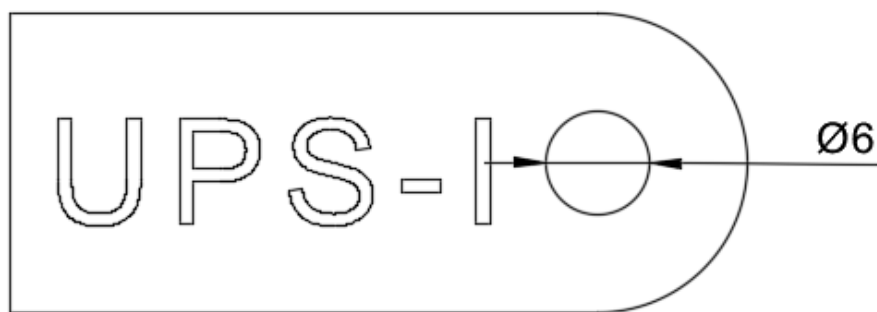


Figura 20. Diámetro interno de la Ficha de aluminio

Para calcular su perímetro se utiliza la siguiente fórmula:

$$P3 = 2\pi * r$$

$$P3 = 2\pi * 3$$

$$P3 = 6\pi \text{ (mm)}$$

Teniendo el primer perímetro nos ayudara a encontrar la primera fuerza de corte, que después nos ayudar a saber la fuerza de corte total, se realiza el siguiente calculo.

$$F_c = K_c * p * e$$

Su cálculo es:

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

$$F_{c1} = 1658,8(N)$$

Para conocer el perímetro de la fiche en general, se debe sacar primero el perímetro del rectángulo y luego de la circunferencia mostrada en la siguiente figura.



Figura 21. Medidas de la ficha de aluminio

Para proceder a sacar los perímetros primero comenzamos con el del rectángulo, cuya fórmula es la siguiente:

$$\begin{aligned}P1 &= 2 * (L + L) \\P1 &= 17 + (2 * 33,5) \\P1 &= 84 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

A continuación, se procede a sacar el perímetro restante, que es la circunferencia al final de la ficha.

$$\begin{aligned}P2 &= 2\pi * r \\P2 &= \pi * 8,5 \\P2 &= 8,5 \pi\end{aligned}$$

Como ya se conoce los perímetros de toda la ficha se procede a sumar todos los perímetros que se ha sacado hasta este momento de tal manera se utilizara la siguiente ecuación.

$$\begin{aligned}PT &= P1 + P2 - P3 \\PT &= 84 \text{ mm} + 8,5\pi - 6\pi \\PT &= 91,85 \text{ (mm)}\end{aligned}$$

El valor resultante de esta operación aritmética es crucial para el avance de la investigación, ya que se utilizará en la siguiente ecuación. Específicamente, este valor será empleado para

calcular la fuerza de corte, lo que permitirá evaluar la resistencia y el comportamiento del material bajo condiciones de carga.

$$F_c = K_c * p * e$$

Su cálculo es:

$$F_c = 88 \left[\frac{N}{mm^2} \right] * 91,85[mm] * 1[mm]$$

$$F_{c2} = 8082,8(N)$$

Por lo cual la fuerza de corte es:

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

$$F_c = 1658,8 + 8082,8$$

$$F_c = 9741,6 (N)$$

2.9.4. Fuerza de Extracción del Punzón

Se calcula el esfuerzo que se requiere para separar al punzón de la ..., para este cálculo se escoge el valor porcentual de 7%.

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

Su cálculo es:

$$F_{ext} = 9741,6 \text{ N} * 7\%$$
$$F_{ext} = 681,912 \text{ (N)}$$

2.9.5. *Fuerza de Expulsión de la Matriz*

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

$$F_{exp} = F_c * 1.5\%$$

Su cálculo es:

$$F_{exp} = 9741,6 * 1.5\%$$
$$F_{exp} = 146,124 \text{ (N)}$$

2.9.6. *Tolerancia de corte entre el punzón y matriz*

Se calcula la tolerancia de corte que se requiere para separar el diseño de la troqueladora, para este cálculo se escoge el valor 12 % de su espesor.

$$T = e * 12\%$$

Su cálculo es:

$$T = 1(mm) * 12\%$$

$$T = 0.12 (mm)$$

$$M_{matriz} = M_{nominal}$$

$$M_{punzón} = M_{nominal} - Tolerancia$$

$$M_{punzón} = M_{nominal}$$

$$M_{matriz} = M_{nominal} - Tolerancia$$

2.9.7. Área de avance

El Área de avance de un cilindro hidráulico se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$A_a = \pi * \frac{D^2}{4}$$

$$A_a = \pi * \frac{25^2}{4}$$

$$A_a = 490,87 (mm^2)$$

2.9.8. Fuerza de avance

La fuerza de avance de un cilindro hidráulico se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$F_a = A_a * \frac{P}{10}$$

$$F_a = 490,87 * \frac{20}{10}$$

$$F_a = 981,74 (N)$$

2.9.9. *Distancia de Separación entre Piezas*

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

$$a = 1,5 * e$$

Su cálculo es:

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

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

2.9.10. *Distancias de Separación entre Piezas y Borde*

Mediante la ecuación se procede a calcular la distancia de separación entre la pieza y el borde y su cálculo es:

$$b = 1,5 * e$$

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

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

Su cálculo es:

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

$$B = 2 * 1,5 + h_{pieza}$$

2.9.11. Paso o Avance

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

$$P = 3 + 485(mm)$$

$$P = 515 (mm)$$

2.9.12. Esfuerzo máximo para la selección del material del punzón y de la matriz

Para seleccionar el material del punzón y de la matriz se utiliza el esfuerzo máximo admisible de un acero de mediana aleación, conocido en la industria como acero AISI: 01, este acero tiene una dureza Rockwell C de 63 – 65, con lo cual tiene una resistencia a la tracción de $260 \frac{Kg}{mm^2}$ – $280 \frac{Kg}{mm^2}$, y para el esfuerzo calculado se toma la fuerza de 20 kgf y se encuentra el esfuerzo según la ecuación:

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

Para calcular el área total se utiliza la ecuación:

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$$

Siendo el área total igual a:

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

El cálculo es:

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

Con lo cual el esfuerzo calculado será igual a:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{F}{A} \\ \sigma &= \frac{20}{654} \\ \sigma &= 0,03 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}\end{aligned}$$

2.9.13. Factor de Seguridad

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

$$\sigma_{admisible} = \frac{\sigma_{calculado}}{f_s}$$

Sin embargo, lo que se quiere calcular es el factor de seguridad y por tanto se despeja f_s , quedando de la siguiente manera:

$$f_s = \frac{\sigma_{calculado}}{\sigma_{admisible}}$$

Su cálculo es:

$$f_s = \frac{0,03}{260}$$
$$f_s = 0,00011 \leq 2,5$$

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

2.10. Automatización

Actualmente en la automatización es fundamental en el ámbito industrial, por lo cual es algo innovador tener los procesos automatizados, ya que nos ayuda a aumentar o a perfeccionar los diferentes tipos de procesos que hay en cada industria permitiendo el aumento de producción, reduciendo los costos de trabajo y lo más importante optimizando los tiempos en cada proceso.

A continuación, se representa un sistema electrohidráulico de control y maniobra, que trata de un plano que muestra la interconexión de diversos componentes eléctricos y electrónicos, los cuales trabajan en conjunto para lograr una funcionalidad específica.

El diagrama se compone principalmente de dos elementos centrales:

- **Contactores principales:** Estos son los elementos más destacados en el diagrama. Se trata de dos contactores denominados "FORWARD" y "BACK", los cuales son los encargados de conmutar y controlar el flujo de energía eléctrica hacia el cilindro hidráulico.
- **Conexiones eléctricas:** El diagrama muestra las conexiones entre los sensores y actuadores, representadas por líneas rojas y verdes. Estas líneas indican el recorrido de la corriente eléctrica a través del sistema.

Además, el diagrama incluye otros componentes como sensores (A1, A2, Y1, Y2) y actuadores (K1, K2) que interactúan con los contactores principales para lograr que el cilindro hidráulico se abra y se cierre.

La fuente de alimentación de +24V y la conexión a tierra (0V) son también elementos clave que proporcionan la energía y la referencia necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.

Este diagrama muestra la estructura y las interconexiones de un sistema de control, entonces se puede observar lo que es la automatización de su funcionamiento del cilindro hidráulico mediante el software en la figura 17 que se muestra su funcionabilidad.

Por lo cual a continuación se muestra un plano de fluid-sim el cual, el diagrama representa un sistema electrohidráulico que consta de varios componentes y conexiones.

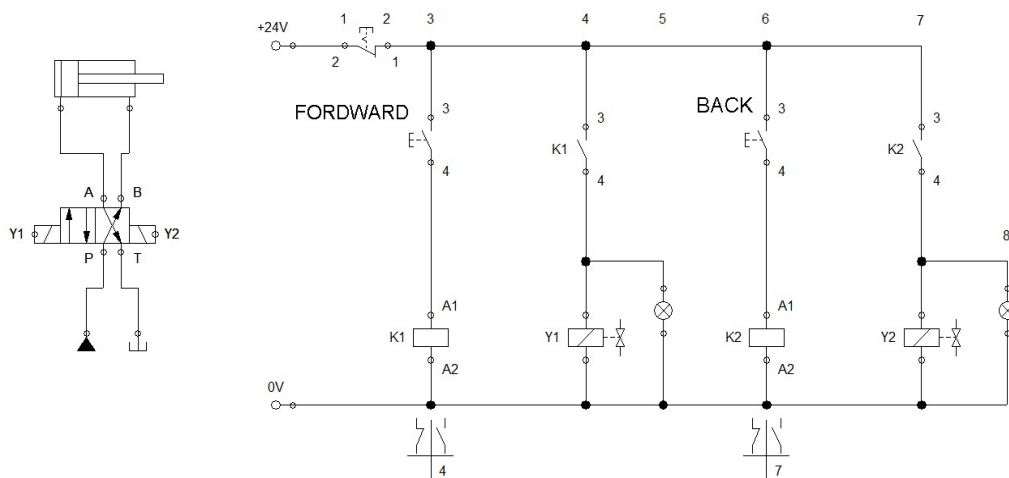


Figura 22. Simulación en fluid-sim

2.11. Activación del Fordward

En el sistema se observa que al presionar el contactor "FORWARD" el vástago del cilindro hidráulico se abre.

Al activar el contactor "FORWARD", se energizan diferentes sensores y elementos de color verde, lo que probablemente desencadena una secuencia de acciones o controles específicos.

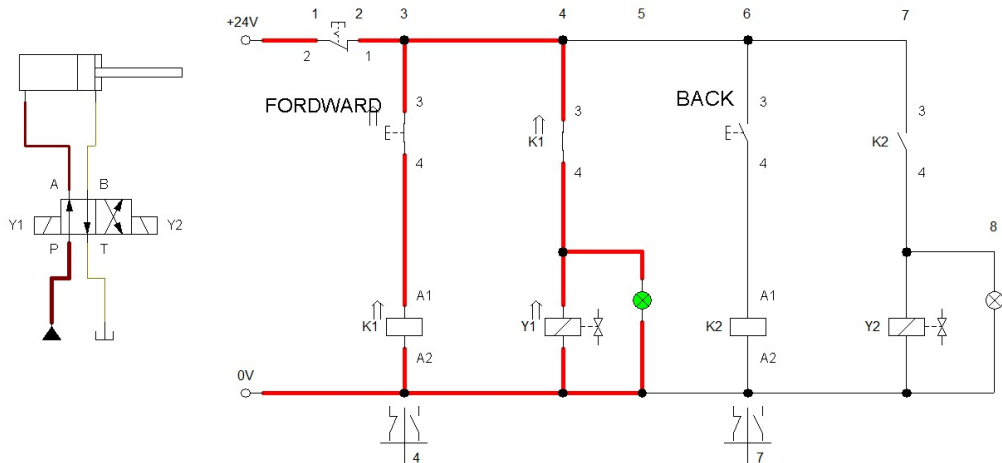


Figura 23. Activación de forward

2.12. Activación del back

Cuando se activa el contactor "BACK", se cierra un circuito eléctrico que conecta la fuente de alimentación de 24V directamente con el cilindro hidráulico. Esto hace que el cilindro se energice y se cierre esto de color rojo, realizando la acción física deseada.

La activación del contactor "BACK" es el elemento clave que desencadena el cierre del cilindro hidráulico. Este contactor es controlado por la lógica del sistema eléctrico, que determina cuándo debe activarse para lograr el funcionamiento deseado del conjunto.

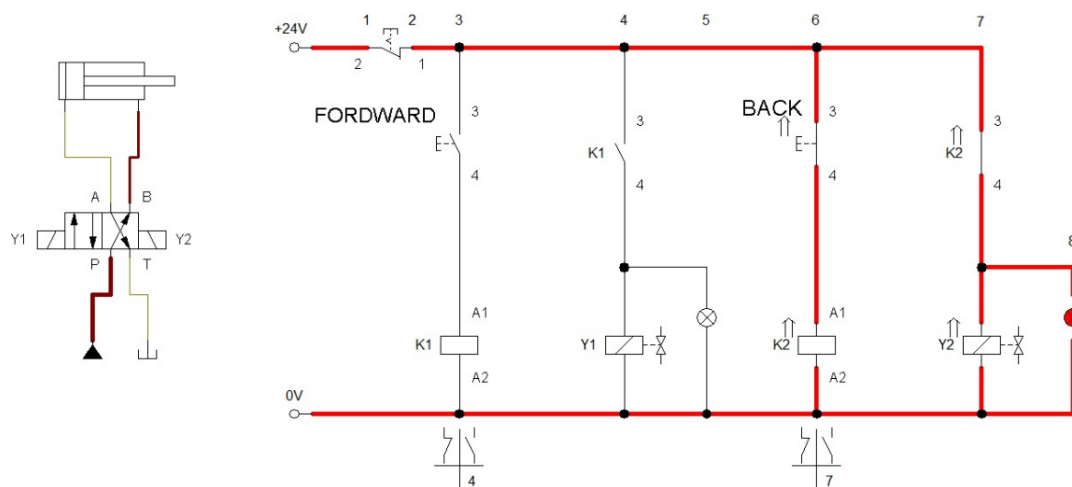


Figura 24. Activación del back

2.13. Selección del cilindro hidráulico

La elección de un cilindro hidráulico para la troqueladora es crucial ya que, en la optimización, el rendimiento y la precisión del proceso de troquelado es fundamental para asegurar su funcionamiento óptimo de la troqueladora, contribuyendo a la productividad y a la precisión en la fabricación.

La selección del cilindro hidráulico de doble efecto ha sido tomada en cuenta de acuerdo con los cálculos realizados, por lo tanto, este cilindro posee un perfil reducido y un diseño métrico que facilita su instalación en lugares con escasez de espacio.

Posee un cuerpo de aluminio anticorrosivo con perforaciones en tres lados para facilitar la instalación de sensores. Un pistón magnético facilita la implementación de un interruptor de posición que confirma la ubicación del cilindro al concluir la carrera. Los cilindros hidráulicos compactos generalmente se emplean en procesos de producción y automatización en fábricas.

A continuación, se mostrará la figura 25 y la tabla 8 donde nos enseña el cilindro hidráulico y su longitud de carrera, la longitud retirada de carrera, la capacidad máxima de empuje, la presión máxima, entre otros datos importantes del cilindro.



Figura 25. Cilindro Hidráulico

Aunque en la figura no se pueden ver las dimensiones específicas del cilindro, se puede observar su estructura básica, que consta de un cuerpo cilíndrico, un émbolo o pistón que se mueve dentro del cuerpo, y conexiones para la entrada y salida del fluido hidráulico.

2.14. Cilindro Hidráulico

25 mm Diámetro interior - Doble efecto

Cilindros Hidráulicos Compactos 25 mm Diám. - Doble Efecto, ordenados por Carrera, ascendente

Tabla 8. Medidas del cilindro hidráulico

Stroke Length	Retracted Length	Max. Capacity	Push Rod Dia.	Rod Thread Size	Max. Pressure	Brand	Price
10 mm	66 mm	1,544.4 lbf	14 mm	3/8"-24	2,030 psi	MILLER FLUID POWER	\$426.35
25 mm	81 mm	1,544.4 lbf	14 mm	3/8"-24	2,030 psi	MILLER FLUID POWER	\$459.25
50 mm	106 mm	1,544.4 lbf	14 mm	3/8"-24	2,030 psi	MILLER FLUID POWER	\$497.47

2.15. Fuerza del cilindro hidráulico

La fuerza generada por un cilindro hidráulico es un aspecto fundamental en la ingeniería y en diversas aplicaciones industriales. Este mecanismo transforma la presión del fluido hidráulico en fuerza mecánica, permitiendo realizar tareas que requieren un alto nivel de potencia y precisión.

Los cilindros hidráulicos son ampliamente utilizados en maquinaria pesada, prensas, equipos de construcción y sistemas de automatización. Su capacidad para generar fuerzas significativas a partir de presiones relativamente bajas los convierte en herramientas eficientes y efectivas para manipular materiales, cortar, doblar y realizar otros procesos de manufactura.

Con una fuerza requerida de 9741 N y un pistón de 25 mm de diámetro, se puede seleccionar un cilindro hidráulico que trabaje a una presión de 19840 kPa, la cual es inferior a la presión máxima del sistema de 21000 kPa. Este cálculo permite comprobar que se está seleccionando el cilindro hidráulico adecuado para la aplicación.

2.16. Componentes de la Automatización

Tabla 9. Componentes de la Automatización

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN	UTILIDAD
Cilindro Hidráulico	Dispositivo que convierte la energía hidráulica en energía mecánica de movimiento lineal. Consta de un cuerpo cilíndrico, un émbolo o pistón, y conexiones para la entrada y salida de fluido hidráulico.	Utilizado para generar fuerza y movimiento en una amplia variedad de aplicaciones industriales, como maquinaria, equipos de construcción, sistemas de elevación, etc.
Electroválvula 4/2 solenoide-solenoide	Válvula de control direccional que conmuta entre dos posiciones, permitiendo el paso de fluido hidráulico en dos direcciones	Controla la dirección del flujo de fluido hidráulico, permitiendo el movimiento de actuadores como cilindros hidráulicos en ambas direcciones.

	diferentes. Está accionada por dos solenoides.	
Sistema de bombeo	Conjunto de componentes que generan y distribuyen la presión y el caudal de fluido hidráulico en un sistema. Incluye una bomba, un depósito, filtros, tuberías, etc.	Proporciona la energía hidráulica necesaria para el funcionamiento de los actuadores y componentes del sistema.
Interruptor de emergencia	Dispositivo de corte de energía que permite detener rápidamente el funcionamiento de un sistema en caso de emergencia.	Utilizado para desconectar de manera segura la alimentación eléctrica del sistema en situaciones de peligro, evitando daños o lesiones.
Pulsador NA (Normalmente Abierto)	Interruptor eléctrico que cierra un circuito cuando se presiona.	Utilizado para enviar señales de control o activar funciones específicas del sistema.
Pulsador NC (Normalmente Cerrado)	Interruptor eléctrico que abre un circuito cuando se presiona.	Utilizado para enviar señales de control o activar funciones específicas del sistema, con un comportamiento opuesto al pulsador NA.
Contactor	Dispositivo electromecánico que permite controlar y conmutar grandes cargas eléctricas.	Utilizado para conectar y desconectar de manera controlada la alimentación eléctrica de motores, solenoides u otros componentes de potencia en el sistema.

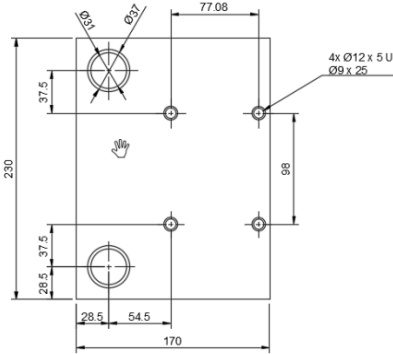
En la **Tabla 9**, se puede observar los componentes necesarios para la automatización.

2.17. Diseño

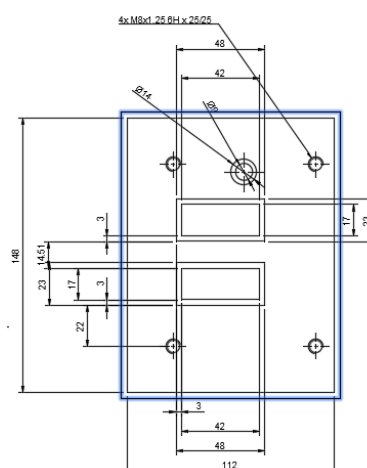
En la siguiente **Tabla 10** se muestra las piezas fundamentales de la máquina troqueladora con sus respectivas acotaciones, que se debe tomar en consideración que las medidas que actualmente tienen cada una de las piezas se encuentran en escala 1:1.

2.17.1. Acotación de piezas

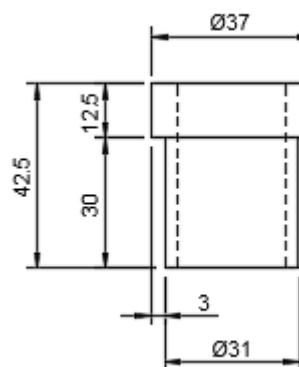
Tabla 10. Acotación de piezas

PIEZA	ACOTACIÓN
Placa guía inferior	 The technical drawing shows a rectangular plate with a total width of 170 and a total height of 230. It features two circular holes, one at the top and one at the bottom. The top hole has a diameter of 12.5 and a center-to-center distance of 77.08 from the right edge. The bottom hole has a diameter of 12.5 and a center-to-center distance of 54.5 from the right edge. The distance between the centers of the two holes is 137.5. The plate is secured by 4 screws, each with a diameter of 9 and a length of 25. The plate is labeled 'Placa guía inferior'.

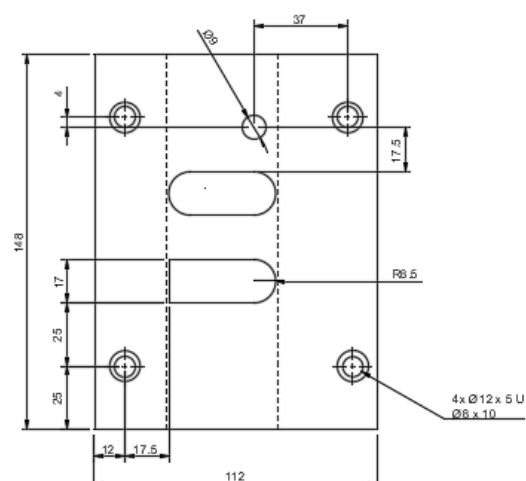
Placa inferior troquel

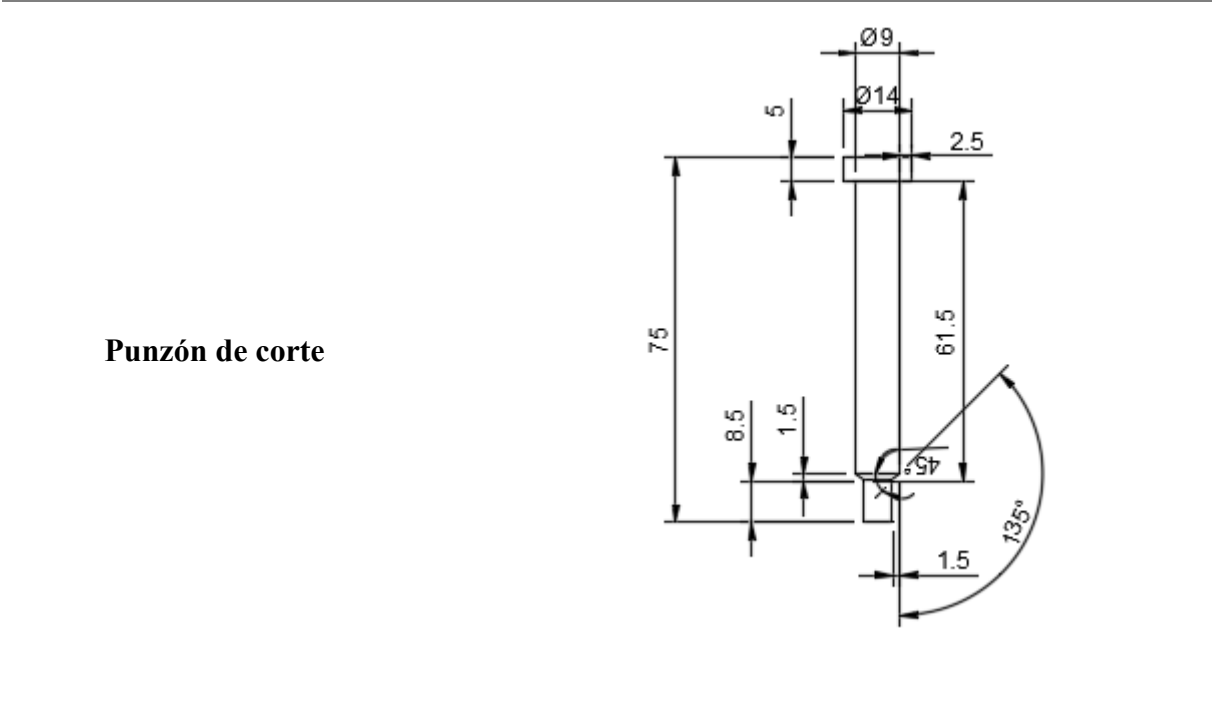


Buje de placa



Placa porta punzones

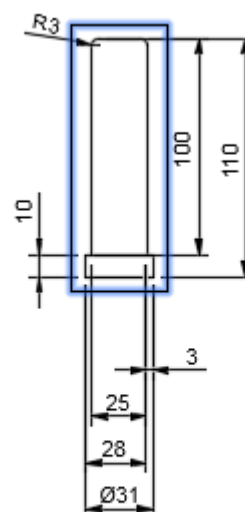


[illegible]

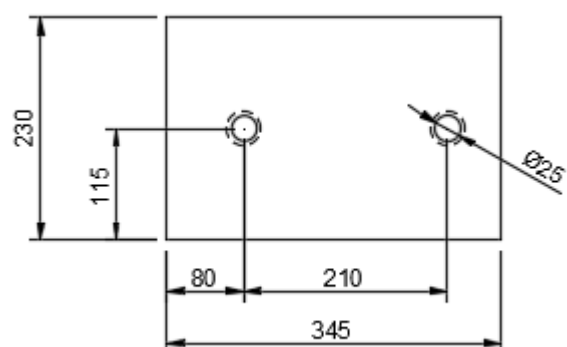
Technical drawing of a rectangular plate with the following dimensions and specifications:

- Overall width: 170
- Overall height: 230
- Inner rectangular area (blue outline): 148 x 125
- Top-left hole: $\varnothing 25$
- Bottom-left hole: $\varnothing 25$
- Right-side holes: 4x $\varnothing 12 \times 10 \text{ U}$ (4 holes, $\varnothing 6.78 \times 20$)
- Dimensions from left edge to inner area: 45.01, 28.5
- Dimensions from top edge to inner area: 57.51, 44
- Dimensions from bottom edge to inner area: 28.5, 16.5
- Dimensions from right edge to inner area: 29.5, 12.5
- Dimensions from inner area to right-side holes: 57.99, 148
- Dimensions from inner area to bottom holes: 41.5, 170

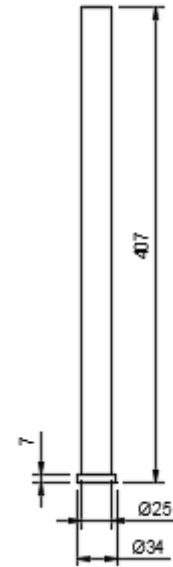
Buje



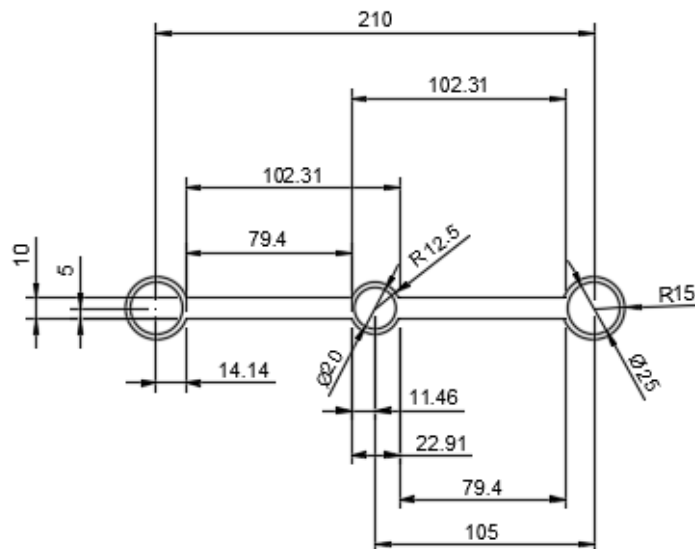
Placa guía superior



Columna del troquel



Guía de presión



En la **Figura 26** se muestra el diseño en 3D de la troqueladora hidráulica, el cual ha sido conceptualizada y modelada con el fin de cumplir con los requerimientos técnicos y funcionales del proyecto. El dispositivo consistirá en una base principal de color azul, fabricada con Acero (A36) de alta resistencia y durabilidad, que servirá como soporte para las demás piezas del troquel. Entre estas piezas se encontrarán varias piezas cilíndricas, los punzones, los bujes, los cuales se encargarán de realizar movimientos lineales dentro del sistema.

En la parte superior del diseño, se observa un cilindro hidráulico colocado estratégicamente, el cual estará involucrado en el proceso de fuerza o movimiento. La base del dispositivo contará con una placa de montaje robusta, la cual incluirá agujeros perforados para facilitar la fijación y alineación del equipo en su entorno de trabajo. Además, se incorporarán elementos de soporte y refuerzo para garantizar la estabilidad y precisión durante su operación. Todo el conjunto transmitirá una sensación de robustez, eficiencia y precisión, características esenciales para su aplicación en entornos técnicos o industriales, donde se requerirá un desempeño confiable y de alta calidad.

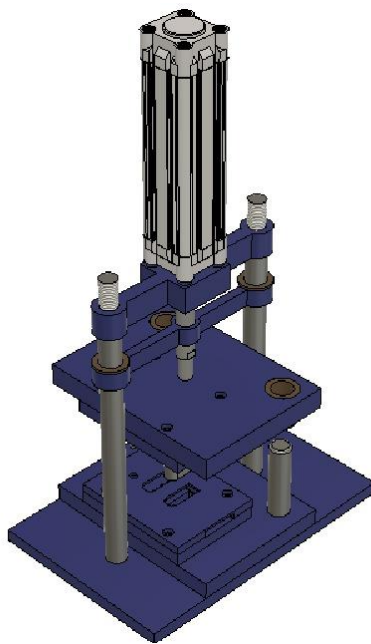


Figura 26. Troqueladora en 3D

El renderizado del diseño en 3D de la **Figura 17** se realizará utilizando el software Fusion 360, una herramienta ampliamente reconocida por su capacidad para generar visualizaciones realistas y detalladas de modelos mecánicos. A través de esta plataforma, se aplicarán materiales y texturas específicas a la troqueladora, como el color azul en la placa inferior y acabados metálicos en los componentes cilíndricos, para simular con precisión su apariencia final.

Además, se configurarán luces y sombras que resalten las características clave del diseño, como los pistones móviles y la placa de montaje, logrando una representación visual que transmita robustez y funcionalidad. El renderizado no solo servirá como una herramienta de presentación, sino que también permitirá identificar posibles mejoras en el diseño antes de su fabricación, asegurando que el dispositivo cumpla con los estándares de calidad y eficiencia requeridos para su aplicación técnica o industrial.

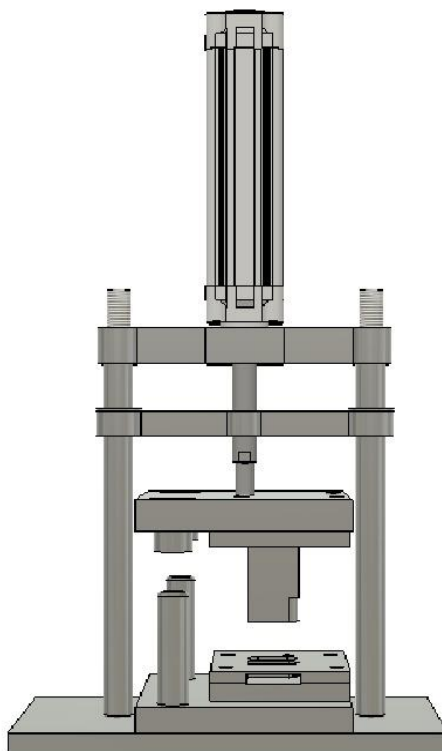


Figura 27. Renderizado de la troqueladora

El plano de la troqueladora ha sido diseñado con dimensiones específicas para garantizar su funcionalidad y adaptabilidad en el entorno de los laboratorios de ingeniería industrial. La estructura tendrá una altura de 605 cm, lo que permitirá albergar componentes verticales como columnas de soporte y sistemas de guiado. En cuanto a su ancho, se ha establecido en 170 cm,

proporcionando estabilidad y espacio suficiente para la instalación de mecanismos de corte, embutido y recalada. Por último, el largo de 230 cm asegurará que la troqueladora cuente con una base sólida y amplia para distribuir las cargas de trabajo de manera uniforme. Estas dimensiones han sido cuidadosamente calculadas para optimizar el espacio de trabajo, facilitar el mantenimiento y garantizar la eficiencia operativa del equipo. Además, en el plano se detallarán las ubicaciones exactas de los componentes principales, como los punzones, las placas superiores y placas inferiores, asegurando para una fabricación precisa y un ensamblaje sin complicaciones.

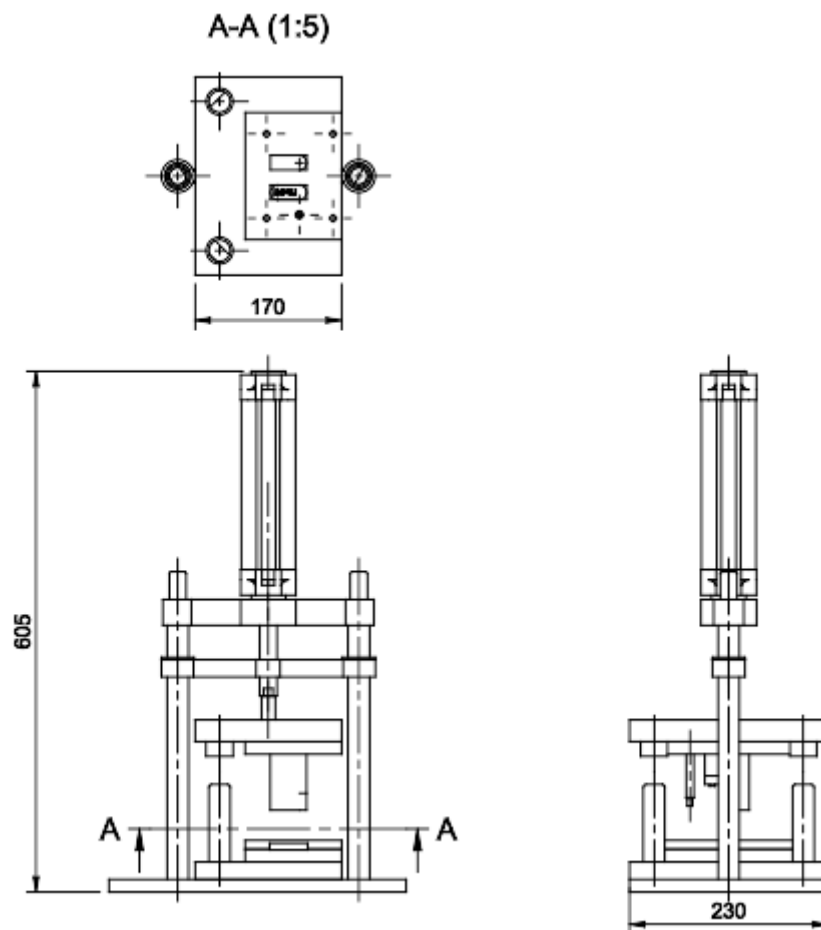


Figura 28. Planos de conjunto de la troqueladora

CAPÍTULO III

3. COSTOS

En este capítulo nos centraremos en un estudio exhaustivo de los costes asociados a la compra de materiales y la construcción de una troqueladora. Analizando varios elementos que afectan al coste total, como el coste de adquisición de materiales, el coste de mano de obra, el coste de la automatización y el coste del diseño. Además, se realizará un análisis coste-beneficio entre otros diseños mecánicos y el diseño automatizado.

3.1. Materiales

Los materiales que se tomarán en consideración para la construcción de la troqueladora estarán basados en los precios actuales del mercado, los cuales han sido investigados y cotizados previamente. Para garantizar la viabilidad del proyecto, se seleccionarán detalladamente los componentes necesarios, tales como el acero de alta resistencia (A 36) para las placas base, los sensores eléctricos y sistemas de control automatizados. Estos materiales se elegirán considerando su disponibilidad, durabilidad y relación costo-beneficio. Además, se priorizará la adquisición de insumos que cumplan con los estándares de seguridad y eficiencia requeridos para el funcionamiento óptimo de la troqueladora. La cotización de estos materiales se llevará a cabo en proveedores confiables y especializados, asegurando que los costos se mantengan dentro del presupuesto establecido para el proyecto."

Tabla 11. Costos de materiales

N°	Descripción	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Placa base de prensa	Acero A36	Kg	20.38	\$0.75	\$15.25
2	Placa guía inferior	Acero A36	Kg	2.80	\$0.75	\$2.10
3	Placa inferior troquel	Acero A36	Kg	8.30	\$0.75	\$6.25
4	Punzón de corte	Acero k460	Kg	0.72	\$27.77	\$27.77
5	Columna de troquel	AISI 4340	m	0.22	\$80.90	\$80.90
6	Placa porta punzones	Acero A36	Kg	2.09	\$50.50	\$105.55
7	Buje de placa	Br SAE 64	m	0.18	\$10.50	\$10.50
8	Placa superior troquel	Acero A36	Kg	8.12	\$4.50	\$36.50
9	Manzana del troquel	Acero A36	Kg	1.00	\$75	\$75
10	Columna guía de prensa	AISI 4340	m	1.13	\$15	\$17
11	Guía de pernos	Acero A36	Kg	1.21	\$1.50	\$1.80
12	Cilindro hidráulico	AISI 4340	mm	25	\$459.25	\$459.25
13	Placa superior prensa	Acero A36	Kg	6.12	\$1.25	\$7.65
14	Tuerca de prensa	Br SAE 65	m	0.45	\$60	\$60
15	Guía de presión	AISI 4140	m	0.79	\$8.50	\$8.50
16	Placa guía	Acero A36	Kg	7.07	\$0.75	\$5.30
17	Bujes	Br SAE 64	m	1.88	\$136	\$255.68
18	Punzón de embutido	Acero k460	Kg	0.98	\$46.60	\$46.60
19	Punzón de recalada	Acero k460	Kg	1.06	\$60.35	\$63.90
20	Placa guía superior	Acero A36	Kg	1.77	\$0.075	\$1.35
					Subtotal	1286.85
					15% IVA	193.02
					Total	1479.87

3.2. Costo de tratamientos térmicos

El costo del tratamiento térmico de los punzones de corte, que incluyen el punzón de corte, el de embutido y el de recalada, así como las columnas de troquel y prensa, se calculará en función de las tarifas de la persona especializada en tratamientos térmicos. Este proceso será esencial para garantizar la resistencia, durabilidad y precisión de los componentes, con el tratamiento térmico mejorará sus propiedades mecánicas, como la dureza y la resistencia al desgaste. Se contactará con profesionales certificados para obtener la pieza deseada. La cotización está

basada en los factores como el tipo de material, las dimensiones de las piezas y el volumen de trabajo requerido. El costo estimado se incluirá en la Tabla 12, asegurando que se mantenga dentro de los límites financieros, para la construcción de la troqueladora.

Tabla 12. Costos de tratamiento térmico

Descripción	# Piezas	Peso (Kg)	Precio	Total
Punzón de corte	1	0.72		\$5
Columna de troquel	2	0.66		\$10
Columna guía de prensa	2	0.66	\$5	\$10
Punzón de embutido	1	0.98		\$10
Punzón de recalcada	1	1.06		\$10
			Subtotal	\$45
			12% IVA	\$6.75
			Total	\$51.75

3.3. Mano de obra

En cuanto a la mano de obra, se considerarán los costos asociados a los procesos de fresado, torneado y taladrado, los cuales serán fundamentales para la fabricación de las piezas que conforman el troquel. Estos procesos serán ejecutados por personal calificado y especializado en maquinaria industrial, garantizando precisión y calidad en cada una de las etapas de construcción de la troqueladora. Además, se incluirán todas las piezas del troquel, desde las placas base inferior, la placa base superior hasta los punzones de corte, embutido y recalada, asegurando que cada componente cumpla con las especificaciones técnicas requeridas. La mano de obra también abarcará tareas de ensamblaje, ajuste y verificación, con el fin de garantizar un funcionamiento óptimo y seguro de la troqueladora. Los costos asociados a la mano de obra serán calculados en función de las horas de trabajo, las tarifas del personal especializado y los posibles gastos adicionales derivados de la complejidad del proyecto. Este rubro será planificado meticulosamente para asegurar que se mantenga dentro del presupuesto establecido y se cumplan los plazos de entrega previstos.

Tabla 13. Costo de Horas-Hombre-Máquina

Máquina		Torno		Fresadora		Taladro	
Costo HHM		\$15		\$15		\$5	
Pieza	Cant.	Horas	Precio	Horas	Precio	Horas	Precio
Placa base de prensa	1	0.45	\$5	2.30	\$15	3.10	\$3
Placa guía inferior	1	0.50	\$5	1.00	\$10	1.50	\$3
Placa inferior troquel	1	2.30	\$5	2.10	\$10	1.50	\$3
Punzón de corte	1	1.45	\$5	0.45	\$15		
Columna de troquel	2	1.00	\$10				
Placa porta punzones	1	1.45	\$5	1.45	\$15	1.00	\$5
Buje de placa superior	2	2.20	\$10				
Placa superior troquel	1	2.00	\$5	1.20	\$10	1.00	\$5
Manzana del troquel	1	2.45	\$5				
Columna guía de prensa	2	1.00	\$10				
Guía de pernos	1	1.00	\$5	0.50	\$15	0.50	\$5
Perno de prensa	1	1.00	\$5				
Placa superior prensa	1	1.00	\$5	1.45	\$10	1.00	\$5
Tuerca de prensa	1	1.20	\$5				
Guía de presión	2	2.00	\$10				
Placa guía	1	1.20	\$5	0.45	\$8	0.50	\$2
Bujes	2	1.00	\$10				
Punzón de embutido	1	0.30	\$5				
Punzón de recalcada	1	0.30	\$5	0.45	\$5	1.40	\$5
Placa guía superior	1	0.30	\$5	1.50	\$10	1.00	\$5
Total (\$)							\$289

3.4. Costo de diseño e ingeniería

El costo del diseño se calcula sobre la base de una serie de datos. En primer lugar, se estima el costo de la mano de obra, obtenido multiplicando la cantidad de horas y la tarifa por hora del diseñador. Luego se suman los costos de materiales, que incluyen, entre otros, el precio de software y herramientas. Además, se tienen en cuenta los costos indirectos, que son costes

indirectos como electricidad y alquiler, su cantidad se obtiene multiplicando un cierto porcentaje por la cantidad de todos los costos. Finalmente, se encuentra el total del costo del diseño. En la **Tabla 14** encontraremos el total del diseño elaborado en fusión.

Por ejemplo, para el diseño que se requirió 72 horas de trabajo a \$5/hora, con costos de software de \$0 y gastos generales del 15%, el costo total sería aproximadamente \$414.

Tabla 14. Costo de diseño

Descripción	Costo (\$)
Gastos generales	\$54
Software	\$0
Diseño e Ingeniería	\$360
Total	\$414

3.5. Costo total del proyecto

Se calcula el costo total del proyecto al sumar todos los costos vinculados a su realización, que incluyen los costos de diseño, mano de obra, materiales y costo del tratamiento térmico.

Se suma a los costos de diseño, la mano de obra, el tratamiento térmico y el costo del diseño los gastos generales como la electricidad, el alquiler y otros costos operativos que no están directamente relacionados con una tarea concreta ya se encuentran incluidos.

También es importante tener en cuenta posibles sorpresas y contingencias que puedan presentarse durante la ejecución del proyecto. Al añadir todos estos componentes, se logra el costo total del proyecto, ya que nos ayuda a garantizar que este dentro del presupuesto y se alcancen con las metas propuestas.

Tabla 15. Costo total del Proyecto de Titulación

Rubros	Precio (\$)
Costo de materiales	\$1479.87
Costos de Horas Hombre Máquina	\$289
Costo de Tratamiento Térmico	\$51.75
Costo de diseño	\$414
Costo total	\$2234.62

3.6. Viabilidad del proyecto

Se detallará minuciosamente los costos actuales versus los costos del anterior proyecto, con el objetivo de evaluar la viabilidad económica del proyecto. Se determinará si la implementación de los nuevos costos es sostenible y beneficiosa.

Para llevar a cabo este análisis, se emplearán diversas metodologías que incluyen la recopilación y revisión de los costos anteriores vinculados al proyecto, así como la proyección de costos actuales considerando posibles cambios, mejoras, automatización. Posteriormente, en la **Tabla 16** se observa la comparación entre ambos escenarios para evaluar la viabilidad económica de costos entre el precio anterior y el precio actual, desglosado por rubros específicos.

Tabla 16. Cuadro comparativo

Rubros	Precio Anterior	Precio Actual	Diferencia
	(\$)	(\$)	(\$)
Costo de materiales	\$2460.49	\$1479.87	\$717
Costos de Horas Hombre Máquina	\$701.20	\$289	\$412.20
Costo de Tratamiento Térmico	\$52.35	\$51.75	\$0.60
Costo de diseño	\$735	\$414	\$321
Costo total	\$3949.04	\$2234.62	\$1450.80

EN la **Tabla 16** presenta un cuadro comparativo de los costos asociados a dos tipos de troqueladora: mecánica y hidráulica, ya que permite evaluar las condiciones más apropiadas para el proyecto en estudio.

A continuación, se procede a conocer el porcentaje que representa cada rubro dentro del costo total de cada tipo de troqueladora

- El costo de materiales muestra un incremento significativo, pasando de \$2460.49 a \$1479.87, lo que representa una diferencia de 49 %.
- Los costos de horas hombre maquina experimentaron una reducción considerable reduciendo \$701.20 a \$289 con una diferencia de 28%.
- En cuanto al tratamiento térmico se observa un cambio mínimo de \$52.35 a \$51.75 con una disminución de 0.041%
- En el costo del diseño se puede observar que también refleja una reducción de \$735 a \$414 teniendo una diferencia de 22%.

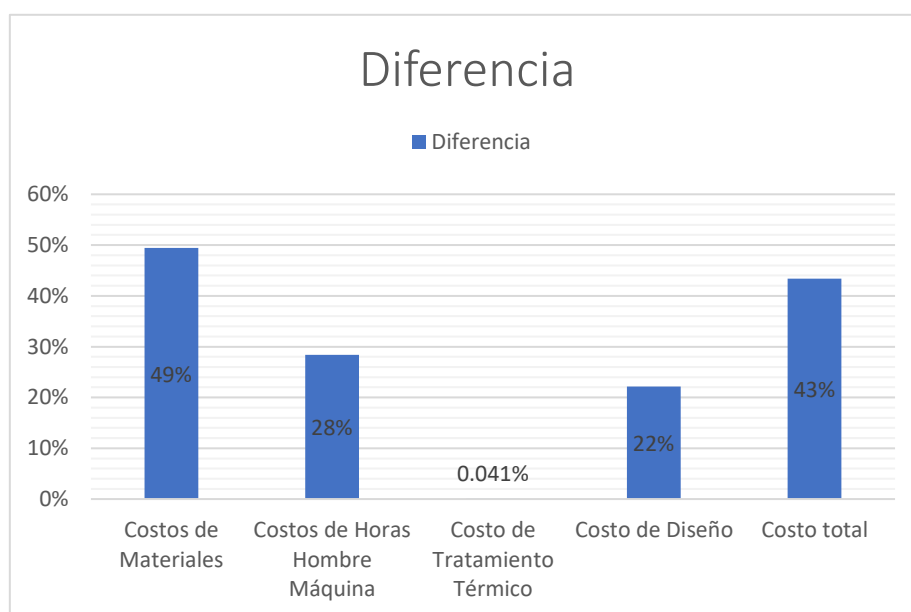


Figura 29. Diferencia entre las troqueladoras.

Finalmente, el costo total de la troqueladora presenta una gran disminución, pasando de \$3949.04 a \$2234.62 con una diferencia de 43%, por lo cual el costo de fabricación se mantiene relevantemente estable.

El proyecto evidencia su factibilidad tanto en su construcción desde cero, como en la modificación en la troqueladora. Al evaluar los gastos vinculados a cada alternativa, se nota que la elaboración desde cero conlleva una inversión inicial más alta, pero brinda el beneficio de disponer de equipos y sistemas completamente nuevos, diseñados para las demandas particulares de la Universidad. En contraposición, la alternativa de modificar la troqueladora ya existente es más asequible, dado que disminuye considerablemente los gastos en materiales, horas de trabajo con la máquina y diseño, lo que resulta en un ahorro significativo con afectar la funcionalidad del equipo haciéndole más automatizado.

En términos de viabilidad económica, la segunda opción modificar la troqueladora resulta más atractiva, ya que el costo total se reduce notablemente en comparación con la construcción desde cero. Además, esta alternativa permite aprovechar recursos ya disponibles, minimizando el impacto financiero y acelerando el tiempo de implementación. A continuación se mostraran los modelos de la troqueladora mecánica y la troqueladora hidráulica.



Figura 30. Troqueladora mecánica

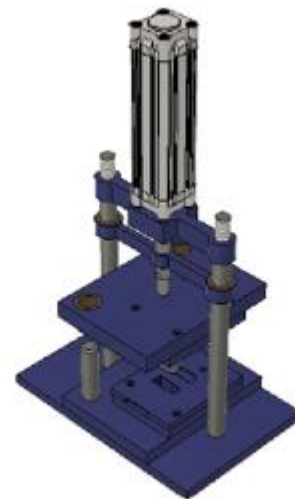


Figura 31. Troqueladora hidráulica

CONCLUSIONES

- El análisis comparativo de las ventajas y desventajas de las troqueladoras mecánicas, neumáticas e hidráulicas revela que la troqueladora hidráulica es la opción más viable, alcanzando un 100% de accesibilidad, lo que la convierte en la mejor elección para aplicaciones que requieren alta precisión y capacidad de carga.
- Esto se evidencia en el cilindro que se ha seleccionado, el cual tiene una fuerza de 9741 N, demuestra que es factible realizar el trabajo requerido utilizando un cilindro hidráulico. Este resultado respalda la viabilidad de optar por una troqueladora hidráulica, asegurando que esa fuerza sea capaz de hacer el trabajo de troquelado.
- Tras analizar y cotizar los costos de materiales y mano de obra requeridos para la fabricación de las piezas de la troqueladora, se identificó que es viable optimizar las dimensiones de los materiales. Este ajuste generará una reducción en los costos de producción.
- En la tabla comparativa, se puede observar que hubo una reducción significativa en el costo total del proyecto, de \$3949.04 a \$2234.62, lo que representa una diferencia de 43%. Esta disminución se debió principalmente a recortes en los costos de materiales 49%, costos de horas hombre máquina 28% y costos de diseño 22%, mientras que el costo de tratamiento térmico se mantuvo relativamente estable, con una diferencia de solo 0.041%.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis que permita simular el comportamiento de los materiales bajo la fuerza de corte calculada (9741 N), identificando posibles puntos de falla que podrían dañar a la troqueladora.
- Es recomendable realizar la adquisición de los materiales necesarios para proceder con la construcción de esta troqueladora en los laboratorios de manufactura, con el fin de implementar en los laboratorios de ingeniería industrial.
- Se aconseja utilizar un material diferente al aluminio, como plásticos reciclados para que el diseño pueda ser usado mediante un sistema neumático, mejorando así la sostenibilidad de la troqueladora, además de reducir costos y mejorar la eficiencia del mecanismo.

Referencias

- [1] J. Aracil Santoja, «Ingenieros e ingeniería,» p. 42, 2014.
- [2] R. A. -. P. V. J. d. -. R. D. J. Ramos Arriagada, «Compendio básico de finanzas,» *la Almería*, nº 5, p. 100, 2016.
- [3] M. Córdoba Padilla, «Finanzas internacionales,» *Ecoe*, vol. 65, nº 12, p. 30, 2015.
- [4] M. d. L. Rojas Cataño, «Contabilidad de costos en industrias de transformación,» *Instituto Mexicano de Contadores Públicos*, p. 241, 2020.
- [5] J. -. C. M. I. -. S. S. D. Izaguirre Olmedo, «Finanzas para no financieros,» *Universidad Internacional del Ecuador*, vol. 12, nº 36, p. 15, 2020.