

Diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático para el corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2 aplicando ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Marroquín Quilumbango, Francisco David y Pico Gordón, Lucía Jacqueline

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Trabajo de unidad de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero en
Mecatrónica

Ing. Caizalítín Quinaluisa, Edwin Alejandro

28 de febrero del 2024

Latacunga

Resultados de la herramienta para verificación y/o análisis de similitud de contenidos



Plagiarism and AI Content Detection Report

Tesis_Marroquin_Pico_P4.docx

Scan details

Scan time:	Total Pages:	Total Words:
February 26th, 2024 at 16:54 UTC	81	20215

Plagiarism Detection

Types of plagiarism		Words
Identical	1.8%	373
Minor Changes	0.5%	96
Paraphrased	2.7%	555
Omitted Words	0%	0

AI Content Detection

Text coverage		Words
AI text	5.7%	1157
Human text	94.3%	19058

[Learn more](#)

Plagiarism Results: (64)

Electrovalvula 3/2 Bobina Sencilla 0.5%
<https://tectul.com/es/productos/electrovalvula-3-2-bobina-sencilla>
 Electrovalvula 3/2 Bobina Sencilla Ingresar Crear cuenta INGRESAR A MI CUENTA Recuperar contraseñ...

Que es un final de carrera y para que sirve 0.4%
<https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/final-de-carrera/>
 Saltar al contenido Ingeniería Mecafenix La enciclopedia de la ingeniería ...

Ing. Caizalitín Quinaluisa, Edwin Alejandro M. Sc.
C.C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Certificación

Certifico que el trabajo de unidad de integración curricular: **"Diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático para el corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2 aplicando ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha."** fue realizado por los señores **Marroquín Quilumbango, Francisco David y Pico Gordón, Lucía Jacqueline**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 26 de febrero de 2024



Ing. Caizalifín Quinaluisa, Edwin Alejandro M. Sc.

C.C.: 0503351397



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Marroquín Quilumbango, Francisco David** con cédula de ciudadanía N°1003291166 y **Pico Gordón, Lucía Jacqueline**, con cédula de ciudadanía N°1805220488, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático para el corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2 aplicando ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha**, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 26 de febrero de 2024

Marroquín Quilumbango, Francisco David
C.C.: 1003291166

Pico Gordón, Lucía Jacqueline
C.C.: 1805220488



Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Mecatrónica

Autorización de Publicación

Nosotros, **Marroquín Quilumbango, Francisco David** con cédula de ciudadanía N° 1003291166 y **Pico Gordón, Lucía Jacqueline**, con cédula de ciudadanía N°1805220488, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de unidad de integración curricular: **Diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático para el corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2 aplicando ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 26 de febrero de 2024

Marroquín Quilumbango, Francisco David
C.C.: 1003291166

Pico Gordón, Lucía Jacqueline
C.C.: 1805220488

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a mi padre Patricio Marroquín y a mi madre Enma Quilumbango quienes han sido un pilar fundamental en mi vida, han estado de manera incondicional, me han brindado su sabiduría y gracias a su esfuerzo me han permitido llegar a donde estoy sin rendirme y motivándome a ser mejor persona cada día.

Dedico este trabajo a cada persona que ha sido parte de este camino y que en su momento fue un apoyo para no rendirme y culminar esta meta.

Marroquín Quilumbango, Francisco David

Dedicatoria

A mis padres Gilberto Pico y Delia Gordón. Su incansable esfuerzo y sabiduría han sido mi guía constante en el camino del bien, su apoyo incondicional ha sido mi mayor fortaleza. Quiero hacer una mención especial a mi padre, quien ya no está conmigo físicamente, pero sigue siendo mi motor y fuente de inspiración, su amor y enseñanzas perduran en mí, y este trabajo es un testimonio de su influencia duradera en mi vida.

A mis hermanos Juan Pablo y Diana que son mis fieles compañeros de viaje, que con su presencia, apoyo y amor incondicional han sido fuente inagotable de inspiración.

quienes estuvieron presentes brindándome su comprensión y aliento.

A mis tíos y primos, quienes han sido un sostén invaluable en mi vida, tanto en los momentos de alegría como en los desafíos más difíciles, y que a pesar de la distancia en algunos casos su apoyo y aliento siempre han estado presentes.

Pico Gordón, Lucía Jacqueline

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, salud y el privilegio de poder desarrollarme como una persona profesional de bien, cada logro y oportunidad alcanzada es gracia a su eterna bondad hacia mí.

Agradezco a mi madre Enma Quilumbango y a mi padre Patricio Marroquín, los cuales han sido participes directos de este logro, a ellos les debo mi determinación, perseverancia, sabiduría y madurez, gracias a ellos he logrado convertirme en la persona que soy ahora y sin su apoyo incondicional no hubiera conseguido nada de lo que tengo hasta el día de hoy.

Agradezco al Ing. Cristian Montaluisa y a la Ing. Rocío Vega por permitirme ser parte en su momento de su empresa, darme la oportunidad de aprender, y sobre todo impulsarme a seguir adelante, darles las gracias por haber sido mentores y padres en este trayecto de mi vida.

Es grato saber que siempre puedes contar con amigos y como no agradecer a John Carlos Ramón, Carlos Veloz y Lenin Arcentales, personas que he conocido en la parte final de la Universidad y han sido un pilar fundamental para culminar esto y comenzar varios proyectos a futuros.

A mi tutor Ing. Edwin Caizalítín cuyo apoyo, paciencia y conocimiento fue fundamental para el éxito de este proyecto.

Marroquín Quilumbango, Francisco David

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, salud y el privilegio de poder desarrollarme como una persona profesional de bien, cada logro alcanzado es un reflejo de la gracia divina y de las oportunidades que Dios ha puesto en mi camino.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento, a mis padres Gilberto Pico y Delia Gordón quienes fueron los que me brindaron su apoyo incondicional para hoy lograr uno de mis mayores objetivos personales y académicos hasta la fecha. Su confianza inquebrantable en mí y su constante impulso, incluso en los momentos más difíciles, me han enseñado el valor de la perseverancia y determinación en la búsqueda de mis metas.

A mis hermanos Juan Palo y Diana quienes desde la infancia han sido pilares fundamentales en mi vida, brindándome su apoyo incondicional y alentándome en cada paso que he dado; que a pesar de los inevitables desacuerdos y disputas que pueden surgir entre humanos su amor y su preocupación por mi bienestar siempre están presentes. Son una fuente de alegría y aliento.

A mi compañero de tesis Francisco Marroquín, agradezco especialmente su apoyo ya que juntos hemos superado desafíos, celebrando logros, alcanzando metas que parecían inalcanzables.

A mis amigos, quienes han sido pilares fundamentales en mi crecimiento personal y profesional. Con su presencia y amistad han llenado mi vida de momentos significativos, risas compartidas y experiencias enriquecedoras, cada gesto de ánimo y cada palabra de aliento han sido un recordatorio del valor y la importancia de tener un apoyo en el camino hacia el éxito

A mi tutor ING. Edwin Caizalítín cuyo apoyo, paciencia y conocimiento fue fundamental para el éxito de este proyecto y que a pesar de las adversidades y los desafíos que encontramos en el camino, su guía nos permitió alcanzar nuestros objetivos con éxito.

Pico Gordón, Lucía Jacqueline

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte verificación de contenidos	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de figuras	15
Índice de tablas	18
Resumen.....	20
Abstract	21
Capítulo I: Planteamiento del problema	22
Introducción.....	22
Formulación del problema	22
Objetivos	24
Objetivo general.....	24

<i>Objetivos específicos</i>	24
Justificación, importancia y alcance	25
Hipótesis	26
Variables	26
<i>Variable independiente</i>	26
<i>Variable dependiente</i>	26
Capítulo II: Marco Teórico	27
Métodos de Troquelado	27
Sistemas de accionamiento	35
Generadores de movimiento rotacional.....	39
Fuerza de corte	42
Resistencia del material	42
Parámetros que intervienen en el proceso de troquelado	44
Automatización.....	46
Elementos de control.....	47
Contactores	47
Controlador lógico programable	49
Pantalla HMI	51
Capítulo III: Diseño y Selección de componentes	53
Diseño del sistema.....	53
Estado de la troqueladora	53

Inspección externa e interna de la máquina	53
Necesidades del cliente	56
Especificaciones técnicas del sistema	58
Matriz QFD	59
<i>Análisis de la Matriz QFD</i>	62
Selección de conceptos	63
<i>Método cualitativo por puntos</i>	63
<i>Selección de elementos de control</i>	64
<i>Selección de sistemas de accionamiento</i>	66
<i>Selección de generador de movimiento rotacional</i>	67
<i>Selección de método de troquelado</i>	68
Diseño y dimensionamiento de la estructura	69
<i>Diseño de la mesa de trabajo</i>	70
<i>Cálculo de carga en el centro de la viga</i>	70
Parámetros de diseño hidráulico.....	72
<i>Cálculo del diámetro del cilindro</i>	72
<i>Válvula de control direccional 2/3</i>	73
<i>Selección de válvulas reguladoras de caudal</i>	74
<i>Cálculo de la potencia y selección del motor</i>	74
Protección eléctrica	75
Construcción del circuito de control.....	75

Implementación y comunicación entre la parte mecánica y electrónica	76
Costos de materiales	78
Redimensionamiento de la estructura	79
<i>Selección del material de la estructura de la máquina</i>	80
<i>Selección del pistón para el troquel</i>	85
<i>Selección de sistemas de accionamiento</i>	86
<i>Selección del controlador de la máquina</i>	87
<i>Diseño de la máquina</i>	88
<i>Diseño del área de trabajo</i>	90
<i>Diseño del sistema de troquelado en el eje x</i>	93
<i>Diseño del control eléctrico</i>	98
<i>Protección eléctrica</i>	103
<i>Implementación del sistema eléctrico de troquelado automático</i>	104
<i>Diseño de la interfaz gráfica</i>	105
Capítulo IV: Pruebas y Resultados	106
Pruebas de funcionamiento	106
Pruebas de precisión de troquelado	115
Pruebas de corte de material	117
Pruebas de tiempo	121
Análisis de resultados	123
Tiempo de recorrido automático	124

Análisis de costos	131
<i>Costo directo</i>	132
<i>Costos indirectos</i>	136
<i>Costo total</i>	136
Capitulo V: Conclusiones y Recomendaciones	138
Conclusiones	138
Recomendaciones	140
Bibliografía	141
Anexos	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Troqueles para calzado</i>	27
Figura 2 <i>Troqueladora manual</i>	28
Figura 3 <i>Troqueladora mecánica</i>	30
Figura 4 <i>Troqueladora neumática</i>	32
Figura 5 <i>Troqueladora hidráulica</i>	34
Figura 6 <i>Final de carrera</i>	36
Figura 7 <i>Sensor inductivo</i>	37
Figura 8 <i>Sensor capacitivo</i>	38
Figura 9 <i>Motor hidráulico de engranajes</i>	39
Figura 10 <i>Servomotor</i>	40
Figura 11 <i>Motor paso a paso</i>	41
Figura 12 <i>Cueros de espesor promedio</i>	44
Figura 13 <i>Partes fundamentales del troquelado</i>	46
Figura 14 <i>Contactador</i>	48
Figura 15 <i>Controlador Lógico Programable</i>	49
Figura 16 <i>Pantalla HMI</i>	51
Figura 17 <i>Troquel</i>	54
Figura 18 <i>Eje horizontal de la troqueladora</i>	55
Figura 19 <i>Troqueladora</i>	56
Figura 20 <i>Modelo de matriz QFD</i>	61
Figura 21 <i>Matriz QFD</i>	62
Figura 22 <i>Parte de control de la troqueladora</i>	64
Figura 23 <i>Troqueladora de tipo puente</i>	69
Figura 24 <i>Mesa de trabajo</i>	70

Figura 25 <i>Diseño para el cálculo de reacciones de la viga</i>	71
Figura 26 <i>Diagrama de cuerpo libre</i>	71
Figura 27 <i>Programación Ladder Segmento 1</i>	76
Figura 28 <i>Programación Ladder Segmento 2</i>	77
Figura 29 <i>Programación Ladder Segmento 3</i>	77
Figura 30 <i>Estructura base del modelo</i>	89
Figura 31 <i>Estructura de la maquina con el área de trabajo</i>	90
Figura 32 <i>Diseño para el cálculo de reacciones en la mesa de trabajo</i>	91
Figura 33 <i>Simulación de los esfuerzos de la mesa de trabajo</i>	92
Figura 34 <i>Simulación del factor de seguridad de la mesa de trabajo</i>	93
Figura 35 <i>Estructura de la maquina con el sistema de troquelado</i>	93
Figura 36 <i>Diseño para el cálculo de reacciones en vigas</i>	95
Figura 37 <i>Simulación de los esfuerzos de los ejes y tornillo sin fin</i>	96
Figura 38 <i>Simulación del factor de seguridad de los ejes y tornillo sin fin</i>	97
Figura 39 <i>Simulación de desplazamiento en los ejes y tornillo sin fin</i>	98
Figura 40 <i>Arduino Nano</i>	101
Figura 41 <i>Controlador de motor paso a paso A4988</i>	102
Figura 42 <i>Finales de carrera</i>	103
Figura 43 <i>Implementación del circuito</i>	104
Figura 44 <i>Interfaz gráfica de la aplicación</i>	105
Figura 45 <i>Primera prueba</i>	106
Figura 46 <i>Segunda prueba</i>	107
Figura 47 <i>Segunda prueba molde 1</i>	107
Figura 48 <i>Segunda prueba molde 2</i>	108
Figura 49 <i>Segunda prueba molde 3</i>	108
Figura 50 <i>Tercera prueba</i>	109

Figura 51 <i>Tercera prueba molde 1</i>	109
Figura 52 <i>Tercera prueba molde 2</i>	110
Figura 53 <i>Tercera prueba desface en molde 2</i>	110
Figura 54 <i>Tercera prueba molde 3</i>	111
Figura 55 <i>Cuarta prueba</i>	111
Figura 56 <i>Cuarta prueba molde 1</i>	112
Figura 57 <i>Cuarta prueba molde 2</i>	112
Figura 58 <i>Cuarta prueba molde 3</i>	113
Figura 59 <i>Quinta prueba</i>	113
Figura 60 <i>Quinta prueba molde 1</i>	114
Figura 61 <i>Quinta prueba molde 2</i>	114
Figura 62 <i>Quinta prueba molde 3</i>	115
Figura 63 <i>Primera prueba</i>	118
Figura 64 <i>Segunda prueba</i>	118
Figura 65 <i>Tercera prueba</i>	119
Figura 66 <i>Cuarta prueba</i>	119
Figura 67 <i>Tabla T-Student</i>	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Ventajas y desventajas de la troqueladora manual</i>	29
Tabla 2 <i>Ventajas y desventajas de la troqueladora mecánica</i>	31
Tabla 3 <i>Ventajas y desventajas de la troqueladora neumática</i>	33
Tabla 4 <i>Ventajas y desventajas de la troqueladora hidráulica</i>	35
Tabla 5 <i>Necesidades del cliente</i>	57
Tabla 6 <i>Especificaciones técnicas del sistema</i>	58
Tabla 7 <i>Escala de la matriz</i>	59
Tabla 8 <i>Matriz de correlación</i>	60
Tabla 9 <i>Selección de alternativas para automatizar</i>	65
Tabla 10 <i>Sistemas de accionamiento</i>	66
Tabla 11 <i>Generador de movimiento rotacional</i>	67
Tabla 12 <i>Método de troquelado</i>	68
Tabla 13 <i>Materiales para implementar</i>	78
Tabla 14 <i>Selección de material para estructura de la máquina</i>	80
Tabla 15 <i>Selección de tipo de perfil para la estructura</i>	81
Tabla 16 <i>Selección de tipo de material para el área de trabajo</i>	82
Tabla 17 <i>Matriz de selección de motor para el movimiento rotacional</i>	84
Tabla 18 <i>Matriz de selección del pistón para el troquel</i>	85
Tabla 19 <i>Matriz de selección de accionamientos</i>	86
Tabla 20 <i>Matriz de selección del controlador de la máquina</i>	87
Tabla 21 <i>Propiedades mecánicas del Acero inoxidable AISI 304</i>	89
Tabla 22 <i>Propiedades mecánicas Físico-mecánicas del MDF 6mm</i>	91
Tabla 23 <i>Características del motor Nema 17</i>	99
Tabla 24 <i>Prueba de precisión del molde 1</i>	116

Tabla 25 <i>Prueba de precisión del molde 2</i>	116
Tabla 26 <i>Prueba de precisión del molde 3</i>	117
Tabla 27 <i>Prueba de corte del molde 1</i>	120
Tabla 28 <i>Prueba de corte del molde 2</i>	120
Tabla 29 <i>Prueba de corte del molde 3</i>	121
Tabla 30 <i>Pruebas de toma de tiempo</i>	122
Tabla 31 <i>Datos para uso del método T-Student</i>	126
Tabla 32 <i>Costos de insumos neumáticos</i>	132
Tabla 33 <i>Costos directos de insumos eléctricos</i>	133
Tabla 34 <i>Costos en insumos de impresión 3D, corte Láser y accesorios</i>	134
Tabla 35 <i>Costo asociado a la construcción total de la estructura mecánica</i>	135
Tabla 36 <i>Accesorios para el proyecto</i>	135
Tabla 37 <i>Transporte y manufactura del proyecto</i>	136
Tabla 38 <i>Costo total del proyecto</i>	137

Resumen

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo recopilación de información acerca del funcionamiento, parámetros y componentes de una troqueladora lineal o conocida también como “Tipo puente” ubicada en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, para dar paso al diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático para el corte de moldes de arcilla artificial para moldear aplicando ingeniería inversa; para lo cual se generó un diseño CAD tomando en cuenta a la máquina ya existente en dicha empresa, con el fin de realizar un minucioso análisis para su posterior desarrollo de un prototipo a escala que permita demostrar el correcto funcionamiento; por lo que se emplea el software CAD para la simulación de la fuerza aplicable al momento de realizar cada corte, con el objetivo de tener para evitar un enclavamiento del molde en la mesa. A su vez, mediante la implementación de un microcontrolador se realiza la programación necesaria para que pueda ser implementado el prototipo y por medio del uso de una pantalla HMI se tiene acceso al panel de control para un modo manual que puede ser manejado por un operador y un modo automático diseñado para reducir el tiempo al momento de troquelar moldes; entregando una mayor facilidad de uso al operador según sea las necesidades presentadas, además de presentar una base para futuras investigaciones y desarrollos encargados de buscar una mejora continua e invitando a una innovación en el mercado.

Palabras clave: Troqueladora lineal, troquelado de moldes, interfaz HMI

Abstract

The objective of this degree work is to gather information about the operation, parameters and components of a linear die cutting machine or also known as "bridge type" located in the company FAME S.A. located in the Rumifñahui canton, province of Pichincha, to give way to the design, construction and implementation of an automatic die cutting system for the cutting of artificial clay molds for molding by applying reverse engineering; For which a CAD design was generated taking into account the existing machine in the company, in order to perform a thorough analysis for the subsequent development of a scale prototype to demonstrate the correct operation, so CAD software is used for the simulation of the force applicable at the time of each cut, in order to have to avoid an interlocking of the mold on the table. In turn, through the implementation of a microcontroller the necessary programming is done so that the prototype can be implemented and through the use of an HMI screen there is access to the control panel for a manual mode that can be handled by an operator and an automatic mode designed to reduce the time at the time of die cutting molds; delivering greater ease of use to the operator according to the needs presented, in addition to presenting a basis for future research and development in order to seek continuous improvement and inviting innovation in the market.

Keywords: Linear die cutting machine, die cutting of molds, HMI interface

Capítulo I

Planteamiento del problema

Introducción

Actualmente en el Ecuador la industria de calzado tiene una difícil competencia en base a los bajos costos de producción extranjera, a pesar de ello el porcentaje de producción es elevado, empezando por la provincia de Tungurahua, seguido de Pichincha, Guayas y Azuay sucesivamente. Datos presentados por parte de la Universidad Técnica de Ambato indican que: “Tungurahua es la provincia con mayores ventas debido a que en 2019 se registró ventas por \$75 369 275, en Pichincha por \$28 693 383, Azuay por \$14 962 147, y Guayas \$12 992 383.” (Plan V, 2023)

La amplia trayectoria y la gran demanda de los productos, en la empresa FAME juega un papel muy importante ya que es la única empresa ecuatoriana certificada para realizar prendas de vestir, calzado y equipo para sectores estratégicos; en cuanto a la productividad se vio necesaria la implementación de una troqueladora lineal la cual lleva vigente algunos años. (ISSFA, 2018)

Con la automatización de la troqueladora lineal se logrará incrementar la producción y mejorar el acabado de cada uno de los productos, ya que esta máquina proporcionará confiabilidad en los trabajos, reduciendo el desperdicio de materia prima y el tiempo empleado por el operador, es decir, permite la reducción de costos de producción, logrando así el cumplimiento de la hipótesis.

Formulación del problema

Como parte de la matriz productiva del país se encuentra la elaboración de calzado donde parte de la producción se realiza en la provincia de Pichincha siendo una de estas empresas FAME S.A. que ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años en la

producción de calzado para la Seguridad, Defensa, Sectores Estratégicos e Industria, pero manteniendo los mismos métodos de fabricación manual y semiautomática, lo cual permite tener una gran oportunidad para mejorar los procesos aplicando automatización mecatrónica en un sector que beneficia no solo al productor sino también a los intereses locales, regionales e incluso nacionales.

Al tener que cumplir varios estándares de calidad en sus productos, FAME S.A. necesita que sus procesos sean realizados y controlados minuciosamente por personal calificado por lo que al ser realizados de forma manual el tiempo de producción es mayor, elevando el costo del producto final.

En el caso de la etapa de troquelado para la realización del corte de moldes de cuero, se encuentra la problemática de que un operario debe estar en todo momento cortando el cuero y la producción depende de la velocidad con que la trabaje sin dejar de lado que podría sufrir un accidente, además, existe otra troqueladora que actualmente se encuentra fuera de funcionamiento, lo que significa pérdidas para la empresa, siendo de vital importancia la reparación de la máquina.

Si bien FAME S.A. cubre de manera satisfactoria la demanda promedio de calzado, existen épocas de alta demanda en las cuales los trabajadores tienen que cubrir más horas de las que la ley establece, teniendo como resultado fallas en el proceso, además de trabajadores agotados, por lo que, con el pasar de los años si la empresa desea abrirse a nuevos mercados ya sea a nivel nacional como internacional como se proyecta, necesita una nueva estrategia de producción para alcanzar la meta deseada, siendo de gran importancia la automatización de sus procesos, entre ellos la etapa de troquelado.

Por lo tanto, mediante un análisis actual de empresa, el surgimiento de nuevas tecnologías y la falta de automatización en los procesos de fabricación de calzado, entre ellos la etapa de troquelado se propone diseñar, construir e implementar un sistema de troquelado

automático, el mismo que va a ayudar a que el operario ya no se encuentre presente en todo momento sino únicamente supervise intervalos de tiempo el proceso, también pretende principalmente incrementar la producción de moldes de cuero para con ello obtener una alta producción de botas Alfa M2, reduciendo tiempo, minimizando costos y brindando seguridad al operador; todo esto a partir de la aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Por último, se quiere dar alternativas económicas a la mediana industria, ya que, al existir la demanda constante de dicho producto, el proyecto es factible desarrollarlo, y como en la empresa ya existe la maquinaria obsoleta, es la solución más adecuada para habilitar al 100% dichas maquinarias.

Objetivos

Objetivo general

Diseñar, construir e implementar un sistema de troquelado automático para el corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2 aplicando ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Objetivos específicos

- Recopilar información necesaria acerca del funcionamiento, parámetros, componentes del sistema de troquelado.
- Diseñar la estructura mecánica e hidráulica para automatizar el proceso, con sus respectivas dimensiones y materiales sin afectar el funcionamiento del proceso.
- Diseñar la parte eléctrica del proceso de troquelado, tomando en cuenta el movimiento y la calidad del material a ser cortado.

- Diseñar un sistema de control para la automatización de la máquina troqueladora en el proceso de corte de moldes de cuero la parte de control para el desarrollo de la interfaz humano-máquina.
- Diseñar un interfaz humano-máquina para la correcta utilización de la máquina troqueladora.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento de la máquina automatizada dentro del entorno industrial para validar el funcionamiento de esta.

Justificación, importancia y alcance

Hoy en día, existen varios procesos manuales y tradicionales para el desarrollo de calzado que se siguen utilizando por parte de las empresas, requiriendo un mayor tiempo al momento de entregar el producto, por lo que para lograr un incremento de productividad de la empresa se necesita mayor mano de obra, lo que implica un mayor costo al consumidor final. Sin dejar de lado que, al tener una máquina sin funcionamiento, se reduce considerablemente la producción, teniendo como resultado pérdidas económicas para la empresa, además de lograr la misma producción estimada pero un mayor tiempo.

Por lo que, al evidenciar estos problemas existentes en FAME S.A., se presenta la alternativa de automatizar los procesos, como una herramienta de vital importancia para cualquier organización, ya que permite cumplir a cabalidad con respecto a la planificación inicial de las actividades, en función de ésta tomar las decisiones pertinentes en cada caso, reducir tiempos y costes de producción en las botas Alfa M2, y realizar las tareas de forma más precisa, sin la necesidad de que el operario se encuentre todo el tiempo en la máquina.

La empresa FAME S.A., para el año 2030 pretende alcanzar mercados tanto nacionales como internacionales, en donde el aumento de la producción es esencial para conseguir dicho objetivo, por lo que, al automatizar el proceso de corte del molde del calzado mediante es uso

de una troqueladora lineal, permitirá mejorar el proceso, brindándole a la empresa una máquina más eficiente, rentable y asequible para poder competir en los nuevos mercados, además de dar paso al crecimiento y desarrollo de nuevas tecnologías, y una gradual industrialización de procesos en la empresa, además se tiene el conocimiento teórico y práctico del tema con el sustento bibliográfico para dicho efecto.

Hipótesis

El diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático permitirá reducir el tiempo de corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2 aplicando ingeniería inversa en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.

Variables

Variable independiente

Sistema de troquelado automático.

Variable dependiente

Reducir el tiempo de proceso de corte de moldes de cuero para la fabricación de botas Alfa M2.

Capítulo II

Marco Teórico

Métodos de Troquelado

Al hablar de los métodos de troquelado se identifican dos partes principales, entre ellos está i) el troquel, el cual es la herramienta especializada utilizada generalmente en la industria manufacturera debido a que se la emplea para realizar cortes o perforar diferentes tipos de materiales, entre ellos se encuentra el cuero, la tela, cartón, plásticos, metal, papel, entre otros sustratos; en si consiste en una pieza de metal, generalmente de acero, hecha con una forma específica, la misma que puede variar de acuerdo con la aplicación que se le dé y al material que se lo vaya a cortar, puede variar desde cortes simples y agujeros hasta diseños más intrincados y elaborados, cabe mencionar que los troqueles se usan específicamente en las máquinas troqueladoras; ii) las máquinas troqueladoras son las encargadas de aplicar presión para cortar o conformar el material según la forma del troquel, este proceso puede ser realizado de forma manual o puede ser automatizado y de esta forma convertirse en un proceso altamente preciso, lo que hace permisible la producción en masa de piezas idéntica con formas y tamaños consistentes.

Figura 1

Troqueles para calzado



Nota. La Figura 1 presenta el molde de un troquel el cual es una pieza que en su parte inferior tiene un borde afilado y sirve para estampar contra el cuero con una fuerza determinada, esta

herramienta como se logra evidenciar puede ser de diferentes formas, de acuerdo con lo solicitado por la industria.

Troquelado manual

Este método es uno de los que inicialmente se utilizaban para troquelar principalmente en el acero con un área específica de corte y espesor de material limitado; está conformada por un punzón de corte, eje guía, biela manivela y una palanca. Se caracteriza por funcionar aplicando una fuerza moderada en la palanca por parte del operador ya sea con las manos o los pies, dependiendo de cuál sea el modelo y la capacidad de producción dependerá del operario ya que es el que maneja la máquina y realiza el trabajo.

Figura 2

Troqueladora manual



Nota. En la Figura 2 se observa una troqueladora manual de palanca de estructura reforzada.

Tomado de Automatizados Industriales GC (AGC, 2012)

Este tipo de troqueladoras requieren de un mantenimiento sencillo en sus elementos mecánicos, troquel de corte y partes guías, además de no necesitar reajuste de pernos o

tuercas logrando extender la vida útil de la máquina. En la Tabla 1 se puede observar algunas otras ventajas y desventajas que presenta la máquina.

Tabla 1

Ventajas y desventajas de la troqueladora manual

Troqueladora Manual	
Ventajas	Desventajas
Costo asequible	Producción escasa
Fácil adquisición o construcción	Mayor ocupación de espacio debido a la longitud de la palanca
Conocimientos básicos para el mantenimiento	Aplicaciones de troquelado limitado
Disponibilidad de repuestos	Requiere fuerza del operador para trabajar

Nota. En la Tabla 1 se presentan algunas de las ventajas y desventajas más relevantes que tienen las troqueladoras manuales que existen en el mercado.

Troquelado mecánico

Este método es de los primeros que fue utilizado a nivel industrial debido a que su funcionamiento parte de un mecanismo conformado de poleas, ejes, guías, reductores de velocidad, motor eléctrico, switch, entre otros. Con este tipo de máquinas se puede realizar el corte en diversos tipos de materiales que se utilizan para la fabricación de calzado como el

cuero o cuerina, además de poder troquelar otros materiales como es en hierro, plástico u otro material con alguna función en específico. (Cruz, 2016)

Figura 3

Troqueladora mecánica



Nota. En la Figura 3 se puede observar una troqueladora mecánica de operación manual.

Tomado de alternativa 2. Troquelado mecánico (Cruz, 2016)

Este tipo de máquinas son consideradas como una herramienta electromecánica con operación manual, y funciona activando el mecanismo de transmisión de fuerza de forma manual con las manos para poder cortar el material que haya sido colocado anteriormente en el área de corte. En la Tabla 2 se puede observar algunas ventajas y desventajas que tiene la máquina.

Tabla 2*Ventajas y desventajas de la troqueladora mecánica*

Troqueladora Mecánica	
Ventajas	Desventajas
Manejo de grandes fuerzas de corte	Área de troquelado mínima
Fácil troquelado de materiales duros	No se puede calibrar la fuerza de corte
Corte eficiente	Baja rentabilidad del equipo a nivel industrial
Mantenimiento moderado	Costo elevado de repuestos

Nota. En la Tabla 2 se presentan algunas de las ventajas y desventajas más relevantes que tienen las troqueladoras mecánicas que existen en el mercado.

En cuanto al mantenimiento de la máquina es primordial la limpieza general de esta, es decir, se debe programar un mantenimiento cada cierta cantidad de tiempo para que se pueda lubricar, limpiar y revisar desgastes en la parte mecánica, garantizando el funcionamiento óptimo de la máquina.

Troquelado neumático

Este tipo de troquelado funciona a partir de la liberación de aire en un pistón neumático el cual posee dentro una cámara hermética que será encargada de generar una fuerza que sirve para realizar el corte. Las partes que conforman el sistema neumático son: válvulas direccionales, reguladoras de presión y de aire, mangueras presión, actuador neumático,

compresor, permitiendo que el operador ya no realice un gran esfuerzo al momento de utilizar la máquina. (Cruz, 2016)

Figura 4

Troqueladora neumática



Nota. En la Figura 4 se puede observar una máquina de troquelado neumático de operación manual. Tomado de alternativa 3. Troquelado neumático (Cruz, 2016)

Este tipo de máquinas necesitan de un mantenimiento principalmente para la conservación del aire en los diferentes componentes, es decir, que se debe verificar el sellado hermético para que no exista fugas, por lo que se necesita de un técnico capacitado en temas afines a circuitos neumáticos. En la Tabla 3 se observa algunas ventajas y desventajas de la máquina.

Tabla 3*Ventajas y desventajas de la troqueladora neumática*

Troqueladora Mecánica	
Ventajas	Desventajas
Manejo de grandes fuerzas de corte	Dificultad en el ensamble
Corte de excelente calidad	Difícil mantenimiento sin los conocimientos necesarios.
Permite controlar velocidad y fuerza de corte	Costo elevado de repuestos

Nota. En la Tabla 3 se presentan algunas de las ventajas y desventajas más relevantes que tienen las troqueladoras neumáticas que existen en el mercado.

Troquelado hidráulico

Este tipo de troquelado es utilizado en ámbito industrial, mayoritariamente para la fabricación de calzado. Entre las partes principales para su funcionamiento se encuentran las válvulas direccionales, reguladoras de presión y de flujo, motor eléctrico, bomba de alta presión y elementos conductores de fluido.

Existen varios diseños de este tipo de troqueladoras, pero el funcionamiento es el mismo, desplazar el pistón hidráulico de corte el cual genera una fuerza de compresión en el material a troquelar, sin embargo, tiene que seguir existiendo un operario por lo que el volumen de producción depende de la capacidad de trabajo de este.

Figura 5*Troqueladora hidráulica*

Nota. En la Figura 5 se puede observar una máquina de troquelado hidráulico tipo puente.

Tomado de Troqueladora de cabezal desplazable (TECOM, 2015)

Para este tipo de máquinas, el mantenimiento es esencial ya que se debe realizar un cambio constante del fluido hidráulico, ya que si no se encuentra limpio puede causar daños en cada uno de los elementos que conforman la máquina y dejar fuera servicio a la misma.

Tabla 4*Ventajas y desventajas de la troqueladora hidráulica*

Troqueladora Oleo hidráulica	
Ventajas	Desventajas
Manejo de altas fuerzas de corte	Alto costo del equipo
Corte de excelente calidad	Difícil mantenimiento sin los conocimientos necesarios.
Permite controlar velocidad y fuerza de corte	Alto costo de mantenimiento

Nota. En la Tabla 4 se presentan algunas de las ventajas y desventajas más relevantes que tienen las troqueladoras hidráulicas que existen en el mercado.

Sistemas de accionamiento

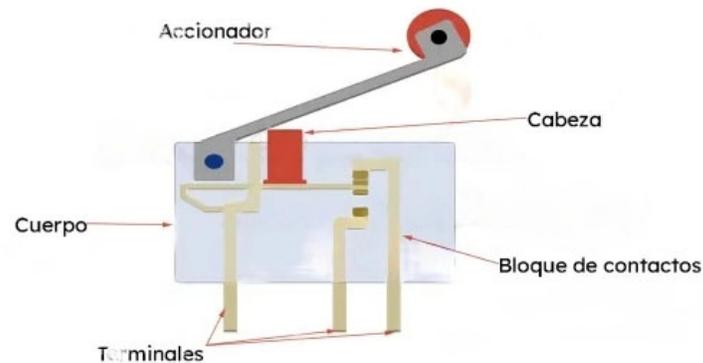
Final de carrera

Los finales de carrera o también conocidos como interruptor de posición, son sensores colocados al final de un elemento móvil de forma estratégica con el fin de detectar la posición de dicho elemento por medio de un accionamiento mecánico, es decir, que necesita realizar un contacto con el elemento para poder determinar su ubicación. (Grupo Novelec, 2023)

Si bien tiene el parecido a un switch, se diferencia en que puede estar normalmente abierto o normalmente cerrado, todo depende de la posición en la que se encuentre el final de carrera.

Figura 6

Final de carrera



Nota. En la Figura 6 se puede observar un final de carrera detallado sus partes las cuales son: accionador, cabeza, cuerpo, bloque de contactos y terminales. Tomado de Que es un final de carrera y para qué sirve (Ingeniería Mecafenix, 2021)

Al ser considerado como un dispositivo sencillo, este está compuesto por:

- **Cuerpo:** Es la carcasa la cual protege y almacena todas las partes sensibles
- **Bloque de contactos:** Es el sistema de contactos que puede ser normalmente abierto o normalmente cerrado (NO o NC)
- **Terminales:** Donde se conecta los cables que van al circuito de control
- **Cabeza:** Es el mecanismo que convierte el movimiento del accionador para el bloque de contactos y sepa cuando se abre o se cierra.
- **Accionador:** Es la parte móvil que abre y cierra los contactos.

Entre sus principales ventajas se encuentra:

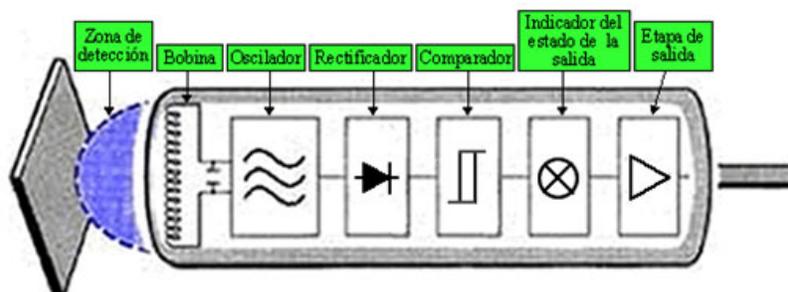
- Económicos
- Manejo de altas velocidades de conmutación
- Sin necesidad de mantenimiento
- Fácil adaptación

Sensor inductivo

Los sensores inductivos son también conocidos como sensores de presencia o proximidad, estos cumplen la función de determinar sin contacto la distancia existente hasta el elemento metálico, esto mediante una inducción de un campo magnético.

Figura 7

Sensor inductivo



Nota. En la Figura 7 se puede observar un sensor inductivo con los bloques que le componen a este. Tomado de sensores inductivos (SEAS , 2013)

Por su versatilidad, estos sensores se han convertido en una herramienta indispensable en la automatización en los sectores industriales y máquinas, ya que puede trabajar como switch eléctrico común activando o desactivando el circuito eléctrico, sin embargo, solo funciona con elementos metálicos como el acero, hierro colado, níquel, acero inoxidable, cobre, aluminio y latón. (Rechner , 2006)

Entre sus principales ventajas se encuentran:

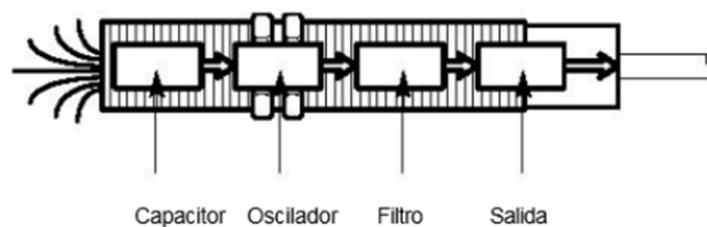
- Sin contacto por lo que no tiene un alto desgaste
- Larga vida útil
- Tiempo de reacción inmediato
- Resistente a cortocircuitos
- Exactitud de conmutación

Sensor capacitivo

Los sensores capacitivos tienen un funcionamiento similar a los sensores inductivos, con la diferencia de que ahora el inductor es fijo y el capacitor es el elemento sensor, pero cumpliendo la misma función de efectuar un control de presencia y medir distancia, pero en espacios más reducidos, es decir, tiene una exactitud nanométrica. (Rechner, 2006)

Figura 8

Sensor capacitivo



Nota. En la Figura 8 se muestra un sensor capacitivo con los bloques que lo componen a este.

Tomado de Pulsador electrónico (sensor capacitivo) (Cruz, 2016)

Entre sus principales ventajas están:

- Permite detectar en posición frontal
- El objeto por detectar puede ser reflectante, transparente y hasta translucido

Generadores de movimiento rotacional

Para que una máquina troqueladora se puede mover, es necesario de un motor con la suficiente fuerza para mover todo el mecanismo de troquelado. Por lo que existen diferentes opciones como servomotores, motores hidráulicos o motores a pasos.

Motores hidráulicos

Los motores hidráulicos son conocidos por funcionar mediante un mecanismo que transforma la energía hidráulica de un líquido en potencia mecánica para generar movimiento rotatorio, generando un alto torque. (Cruz, 2016)

Existen diversos tipos de motores hidráulicos, sin embargo, el más utilizado en la industria es el motor hidráulico de engranes.

Figura 9

Motor hidráulico de engranajes



Nota. En la Figura 9 se puede observar un motor hidráulico de engranajes 2MF. Tomado de Motor hidráulico de engranajes (GRH, 2015)

Su funcionamiento es inverso al de las bombas hidráulicas y son utilizados debido a que pueden entregar un par muy grande a velocidades de giro pequeñas, a diferencia de los motores eléctricos.

Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Genera altos valores de torque
- Económicos con relación a los de su categoría.
- Eficientes
- Tamaño moderado

Servomotores

Los servomotores son motores eléctricos que a los cuales se les puede controlar velocidad, aceleración, torque y posición. Este tipo de motores tienen se pueden usar mediante su posición angular específica generando ciclos de rotación. (Cruz, 2016)

Figura 10

Servomotor



Nota. En la Figura 10 se puede observar un servomotor completo y su vista interior. Tomado de Motores eléctricos servomotores (Cruz, 2016)

Los servomotores tienen diversas aplicaciones en industria ya que tiene precisión de posición y velocidad, influyendo en el aumento de la productividad. Entre sus principales ventajas están:

- Alta precisión
- Alta eficiencia
- Control eficiente de velocidad y posición de giro

Motor paso a paso

Los motores paso a paso son motores de corriente continua que convierte impulsos eléctricos en movimiento mecánico. Están contruidos para que la corriente que pasa a través de este golpee una serie de bobinas dispuestas en fase que se pueden abrir y cerrar rápidamente. (Industry Surfer, 2023)

Figura 11

Motor paso a paso



Nota. En la Figura 11 se puede observar un motor paso a paso utilizado en la industria. Tomado de Funcionamiento motores paso a paso (Industry Surfer, 2023)

Fuerza de corte

La fuerza de corte se encuentra presente en una amplia variedad de aplicaciones e indistintamente en diferentes campos, algunos ejemplos son: el mecanizado, en la carpintería, en la industria automotriz, metalurgia, tecnología médica, procesamiento de alimentos, tecnología de materiales, industria textil, corte y manipulación de plásticos, industria del calzado, entre muchas otras aplicaciones; desde la más sencilla que sería cortar papel hasta aplicaciones más complejas donde se trabaja con materiales de mayor dureza y que deben ser cortados de manera precisa y controlada.

La fuerza de corte es un término que se lo emplea para describir la resistencia de un material a ser cortado, separado o dividido por una fuerza aplicada. En ingeniería y en especial en la industria de calzado este término se lo define como la cantidad de fuerza que se necesita aplicar utilizando una herramienta de corte, en este caso el troquel, esta fuerza de corte depende de varios factores incluyendo las propiedades del material, su grosor, la geometría de la herramienta de corte, velocidad de corte y otros parámetros relacionados, es decir en términos más simples esta fuerza se refiere a cuanta presión o esfuerzo se necesita aplicar para cortar un material determinado.

Resistencia del material

Al hablar de la resistencia del material se refiere a la capacidad que tiene un material para resistir cargas o fuerzas aplicadas sin experimentar deformaciones excesivas o fallas; es una propiedad muy importante en la ingeniería en especial en el diseño de estructuras, máquinas y componentes ya que por medio de esta se determina si el material va a ser capaz de soportar tensiones y cargas a las que va a estar expuesto, cumpliendo correctamente su función. Esta resistencia depende de varias propiedades mecánicas y estructurales del material, incluyendo: tensión, compresión, corte, flexión, dureza, fatiga, tenacidad y rigidez.

Si nos centramos en la resistencia del cuero; es la capacidad del cuero a soportar cargas, tensiones, desgastes y rupturas, pero en este caso como el material es naturalmente resistente y duradero debido a su estructura fibrosa y composición química, pero en si su resistencia varía según la calidad o tipo de cuero (existen diferentes, como cuero de grano completo, cuero de grano dividido y cuero sintético. El cuero de grano completo tiende a ser más resistente debido a su capa externa intacta), el proceso de curtido utilizado (los cueros bien curtidos son generalmente más fuertes y duraderos), el grosor (en general, el cuero más grueso tiende a ser más resistente, pero también puede ser menos flexible) y condiciones ambientales (como la humedad y la exposición al sol, pueden afectar la resistencia del cuero con el tiempo).

La fuerza necesaria para cortar un cuero depende de varios factores, como el grosor y la dureza del cuero, la geometría y la afiladura de la herramienta de corte utilizada, así como la técnica y la presión aplicada durante el corte. No hay una respuesta única ya que puede variar significativamente en diferentes situaciones. Es importante tener en cuenta que cortar cuero puede requerir más que simplemente aplicar una fuerza bruta. La técnica de corte, la habilidad del operador y la calidad de la herramienta de corte también son factores clave. Además, el cuero puede ser más fácil de cortar en ciertas direcciones de la fibra que en otras.

Figura 12*Cueros de espesor promedio*

Nota. Para cueros de espesor promedio (alrededor de 1.5 a 3 mm), se necesita una fuerza moderada al cortar a través de ellos utilizando un cuchillo afilado o una cuchilla de corte. La fuerza requerida aumentará a medida que el cuero sea más grueso o rígido. Herramientas especializadas como cuchillos para cuero, cizallas y máquinas de corte de cuero están diseñadas para aplicar la cantidad correcta de fuerza de corte de manera eficiente.

Parámetros que intervienen en el proceso de troquelado

El proceso de troquelado es una técnica de fabricación que implica cortar y dar forma a materiales, como láminas metálicas o materiales flexibles como el cuero y el papel, utilizando una herramienta llamada troquel. Varios parámetros influyen en el proceso de troquelado para lograr resultados precisos y eficientes. Algunos de estos parámetros incluyen:

1. **Material para troquelar:** La composición y las propiedades del material influyen en la selección de la herramienta de troquelado y en la configuración del proceso. La dureza, la ductilidad y la resistencia del material afectan la facilidad con la que se corta y forma.
2. **Diseño del Troquel:** La geometría y la forma del troquel determinan cómo se cortará y formará el material. Esto incluye la forma de la cuchilla de corte, la matriz y cualquier relieve o dobléz que se deba realizar.

3. **Fuerza de Corte:** La fuerza requerida para cortar y formar el material depende de su resistencia y grosor. Una fuerza de corte adecuada garantiza un corte limpio y preciso.
4. **Velocidad de Corte:** La velocidad a la que se empuja el material a través del troquel afecta la calidad del corte y la formación. Una velocidad incorrecta puede resultar en bordes irregulares o deformaciones.
5. **Presión del Troquel:** La presión aplicada por la máquina de troquelado afecta la penetración de la cuchilla y la calidad del corte. Una presión adecuada es esencial para evitar cortes incompletos o desgarrados.
6. **Tolerancias y Precisión:** La precisión deseada en las piezas troqueladas influye en la configuración de los parámetros. Se deben considerar las tolerancias y los acabados superficiales requeridos.
7. **Mantenimiento del Troquel:** La vida útil y el rendimiento del troquel dependen de cómo se mantenga y se afile la herramienta de corte.
8. **Configuración de la Máquina:** La máquina de troquelado debe ajustarse correctamente para lograr la fuerza, la velocidad y la precisión necesarias.
9. **Seguridad:** Se deben seguir procedimientos de seguridad adecuados para garantizar la protección del operador y el entorno de trabajo durante el proceso de troquelado.

Cada uno de estos parámetros debe ser cuidadosamente considerado y ajustado para lograr resultados óptimos en el proceso de troquelado, dependiendo del tipo de material y la aplicación específica.

Figura 13

Partes fundamentales del troquelado



Nota. En la Figura 13 se logra visualizar que cada parte desempeña un papel crucial en el proceso de troquelado, asegurando que las piezas de cuero se corten de manera eficiente y precisa. 1. Es la herramienta afilada que realiza el corte en el cuero. Puede tener diferentes formas y tamaños según la aplicación. 2. La elección del tipo de cuero depende del estilo de calzado, la calidad deseada y las preferencias del fabricante y del consumidor.

Automatización

En la actualidad la tecnología se encuentra en un constante desarrollo, para realizar tareas simultáneas y reducir la intervención humana directa, con el objetivo de mejorar la eficiencia, la precisión y la productividad al minimizar la necesidad de supervisión manual. Esta abarca una gran parte de todas las industrias que pueden variar desde simples dispositivos controlados por temporizadores hasta complejas redes de máquinas y software interconectados.

En base a la automatización en la parte de la industria de calzado se tiene el corte de moldes de cuero para la fabricación de botas con la utilización de una troqueladora la cual puede ser automatizada parcial o totalmente, dependiendo de las necesidades y el presupuesto de la empresa. La automatización puede mejorar la eficiencia, la precisión y la velocidad del troquelado, así como reducir el riesgo de errores humanos. A continuación, se muestra algunas formas en que se puede automatizar una troqueladora:

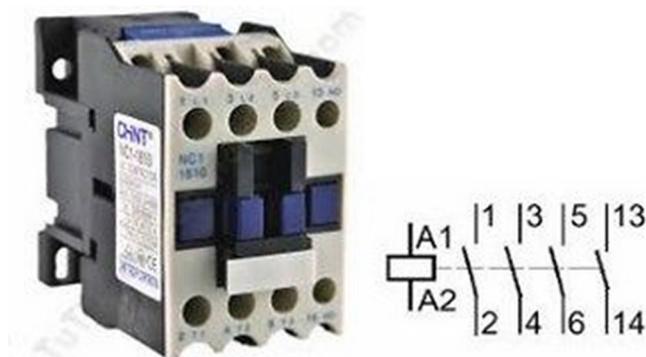
1. **Control Automático:** Utilizar sistemas de control automatizado para operar la troqueladora. Esto puede incluir la programación de secuencias de corte y el ajuste de parámetros de corte de manera electrónica.
2. **Detección de Materiales:** Usar sensores y cámaras para detectar y reconocer automáticamente la forma, el tamaño y la orientación de las piezas de cuero antes del corte.
3. **Control de Fuerza y Presión:** Utilizar sistemas automatizados para controlar y ajustar la fuerza y la presión de corte según las especificaciones del material y del diseño.

Elementos de control

En un sistema de automatización la parte más importante del proceso son los componentes que permiten el monitoreo y control de todo el sistema, logrando así un funcionamiento eficiente y seguro.

Contactores

La automatización mediante el empleo de contactores es un enfoque común en la industria para controlar circuitos eléctricos y maquinaria.

Figura 14*Contactor*

Nota. En la Figura 14 muestra un contactor con su respectivo símbolo, el cual es un componente clave en la automatización industrial debido a que ofrece un control fiable y duradero en aplicaciones de potencia. Sin embargo, es importante considerar las ventajas y desventajas específicas en relación con las necesidades de su aplicación y el entorno de automatización. Tomado de contactor (AREATECNOLOGIA, 2017)

Entre sus principales ventajas se pueden encontrar:

- Control de potencia.
- Interruptor electromecánico.
- Control de forma remota.
- Alta durabilidad.
- Costo accesible.

Las desventajas que presentan los contactores son:

- Desgaste mecánico
- Tamaño y espacio
- Limitado para conmutación rápida
- Provocación de ruido

Controlador lógico programable

Los controladores lógicos programable (PLC, por sus siglas en inglés: Programmable Logic Controller), son dispositivos ampliamente utilizados en la industria para controlar y supervisar procesos y maquinaria. (SDI, 2022)

Figura 15

Controlador Lógico Programable



Nota. En la Figura 15 muestra un PLCs el cual ofrece numerosas ventajas en términos de control, eficiencia y confiabilidad en entornos industriales. Tomado de Concepto PLC (ENGINEERING THE WORLD FROM PARAGUAY, 2011)

Entre las principales ventajas que tienen los PLC se encuentran:

- **Flexibilidad:** Los PLCs son altamente flexibles y se pueden reprogramar para adaptarse a diferentes procesos o cambios en la producción sin requerir cambios físicos en el hardware.
- **Control Preciso:** Los PLCs permiten un control preciso y repetible de procesos, lo que mejora la calidad y la consistencia del producto.

- **Fiabilidad:** Los PLCs están diseñados para operar en entornos industriales rigurosos y pueden funcionar de manera confiable durante largos períodos de tiempo.
- **Monitoreo y Diagnóstico:** Muchos PLCs ofrecen capacidades de monitoreo y diagnóstico que permiten detectar problemas y solucionar fallas de manera más rápida y eficiente.
- **Integración con Otros Sistemas:** Los PLCs pueden integrarse con otros sistemas como SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) para una supervisión y control más centralizados.
- **Automatización de Tareas Repetitivas:** Permiten automatizar tareas repetitivas y rutinarias, lo que puede aumentar la eficiencia y reducir el error humano.
- **Registro de Datos:** Los PLCs pueden registrar datos operativos y eventos, lo que facilita el análisis y la optimización de procesos.
- **Entre las principales desventajas que presentan los PLC se encuentran:**
- **Costo Inicial:** La inversión inicial en hardware, software y programación puede ser significativa, especialmente para sistemas complejos.
- **Curva de Aprendizaje:** La programación de PLCs requiere habilidades y conocimientos específicos, lo que puede resultar en una curva de aprendizaje para el personal.
- **Mantenimiento y Actualización:** Aunque los PLCs son confiables, aún requieren mantenimiento periódico y actualizaciones de software para garantizar un funcionamiento óptimo.
- **Limitaciones de Capacidad:** Algunos PLCs pueden tener limitaciones en términos de capacidad de procesamiento y memoria, lo que puede afectar su capacidad para manejar sistemas complejos.

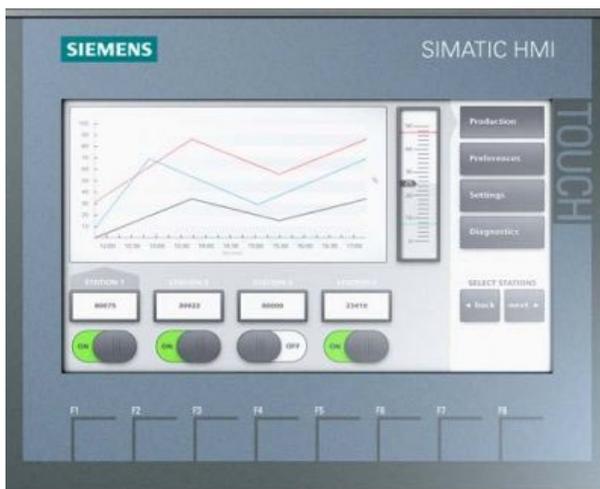
- Menos Flexibilidad en Cambios Futuros: Si se realiza un cambio significativo en el proceso, puede requerir modificaciones en la programación del PLC, lo que podría llevar tiempo y recursos.
- Compatibilidad y Actualizaciones: La compatibilidad con versiones anteriores y las actualizaciones de software pueden ser desafiantes y podrían afectar la operación.

Pantalla HMI

Una Pantalla HMI (Interfaz de Usuario Humano-Máquina) es un dispositivo de visualización y control que permite a los operadores y usuarios interactuar con sistemas automatizados, maquinaria y equipos. La HMI actúa como un medio para la comunicación entre humanos y máquinas, proporcionando una interfaz intuitiva y visual para monitorear y controlar procesos en tiempo real. (AUTYCOM, 2009)

Figura 16

Pantalla HMI



Nota. En la Figura 16 se logra evidenciar SIMATIC es la marca de productos de automatización industrial de Siemens, y sus pantallas HMI ofrecen una forma intuitiva de interactuar con

sistemas de control y automatización en una variedad de aplicaciones industriales. (AUTYCOM, 2009)

Su funcionamiento va a partir de:

- Visualización de Información: La Pantalla HMI muestra información en forma de gráficos, tablas, indicadores, alarmas, estados de operación y otros elementos visuales para proporcionar una representación clara del estado del sistema.
- Interacción: Los usuarios pueden interactuar con la Pantalla HMI mediante toques en la pantalla, botones virtuales, teclados táctiles u otras interfaces de entrada. Pueden iniciar comandos, cambiar configuraciones y realizar acciones específicas.
- Comunicación: La HMI se conecta a los sistemas y dispositivos a través de comunicaciones como Ethernet, USB, RS-232/485, y puede comunicarse con PLCs, sensores, actuadores y otros componentes.
- Control: Los operadores pueden iniciar y detener procesos, ajustar parámetros, cambiar modos de operación y realizar otras funciones de control directamente desde la Pantalla HMI.

Capítulo III

Diseño y selección de componentes

Diseño del sistema

En este capítulo se presentan las especificaciones técnicas de un sistema de troquelado automático para el corte de moldes aplicando ingeniería inversa, partiendo de las necesidades identificadas en la planta de fabricación de calzado de la empresa FAME S.A., considerando el uso de estándares y normativas de la industria además de las limitaciones que se pueden presentar; con el objetivo de lograr un diseño eficiente y funcional que cumpla con todo lo mencionado anteriormente.

Estado de la troqueladora

El estado actual de la máquina no es favorable, existen partes que se encuentran defectuosas por falta de mantenimiento además de encontrarse fuera de funcionamiento y de tener un daño crítico en la parte electrónica, siendo todos estos graves problemas que terminan haciendo que la máquina no satisfaga las necesidades de la empresa.

Inspección externa e interna de la máquina

Para una inspección de maquinaria, se debe realizar un reconocimiento atento del equipo, partes o accesorios que se encuentran en la parte exterior de la máquina, es decir, la idea es detectar cualquier tipo de imperfección, falla o cualquier señal de avería que fuerce a realizar un mantenimiento de manera inmediata. Para ello se debe tomar en cuenta lo siguiente: (Laboratorio de Ingeniería Industrial, 2011)

- Revisar el aspecto físico del equipo y sus componentes en forma general, ya sea corrosión, abolladuras, daño en la pintura, o algún desperfecto visible
- Revisar los componentes mecánicos, neumáticos y/o hidráulicos, para observar si existe desgaste, daño, fugas, entre otros.

- Revisar los componentes electrónicos como conexiones entre componentes o alimentación externa, para que no tengan ninguna rotura, no sean adaptados o que no sufran algún tipo de deterioro que afecte al funcionamiento

A continuación, se realiza el análisis de la inspección realizada a cada componente, tomando en cuenta que no necesariamente deben ser reemplazados, sino que con un adecuado mantenimiento pueden seguir funcionando.

Conjunto motriz

Se puede apreciar que, debido al poco tiempo de funcionamiento, el troque se encuentra en buen estado, ya que no muestra signos de un desgaste considerable, por lo que al encontrarse en buen estado este no debe de ser reemplazado. Sin embargo, se puede observar el desgaste de la pintura y la falta de lubricación en el sistema, por lo que si se desea reusar se debe dar una limpieza general

Figura 17

Troquel



Nota. En la Figura 17, se puede observar el troquel de la Troqueladora encontrada en FAME S.A.

El eje en el cual se desplaza de izquierda a derecha el troquel de igual manera se encuentra en buen estado, no presenta signos de corrosión ni fatiga del material ya que la maquina llega un largo tiempo sin funcionar. Por lo tanto, al igual que el troquel, para su reutilización se debe realizar una limpieza general del eje y su debida lubricación para que funcione correctamente.

Figura 18

Eje horizontal de la troqueladora



Nota. En la Figura 18, se puede observar el eje de la Troqueladora encontrada en FAME S.A.

Estado general de la máquina

La troqueladora vista general al tener una estructura metálica no presenta fallas en su composición mecánica, tanto su estructura como los elementos mecánicos que la componen se pueden reutilizar después de darles un buen mantenimiento, ya que el desgaste que tiene es mínimo debido a que son maquinas con un alto factor de seguridad, por lo que garantizan que las piezas tengan una larga vida a útil, además al no ser utilizada ya que se encontraba fuera de servicio ayuda a que se pueda reutilizar la estructura.

Figura 19*Troqueladora*

Nota. En la Figura 19 se puede observar la troqueladora vista desde la parte posterior.

Necesidades del cliente

Para conocer las necesidades del cliente, se llevó a cabo una reunión estratégica con el jefe de mantenimiento y el técnico encargado, además de una charla con el trabajador que usaba la troqueladora.

Luego de un minucioso análisis del encuentro se obtuvo las necesidades requeridas por el cliente, tomando en cuenta que se garantice con el cumplimiento de todos los requerimientos en base a las normativas y estándares en cuestión. Por lo tanto, en la Tabla 5 se puede evidenciar las necesidades presentadas por el cliente.

Tabla 5*Necesidades del cliente*

Necesidades del cliente		
Núm.	Necesidad	Importancia
1	Presupuesto	4
2	Repuestos en el país	5
3	Facilidad de operación	4
4	Rediseño de la estructura	3
5	Facilidad de mantenimiento	5
6	Dimensiones	2
7	Uso de un controlador lógico programable	2
8	Robustez	4
9	Seguridad	5
10	Productividad	5

Nota. En la Tabla 5 se presenta las necesidades que el cliente tiene para un sistema de troquelado automático, en donde se le da un orden de 1 a 5 para cuantificar la importancia, donde 5 es la máxima importancia y 1 es la menor importancia.

Especificaciones técnicas del sistema

Para el sistema automático de troquelado se tomó en cuenta aspectos como velocidad, fuerza de corte, precisión y seguridad. Además, se establecieron especificaciones que se presentan en la Tabla 6 para el rediseño mecánico y estructural, componentes eléctricos y materiales, para que el sistema sea confiable, preciso y satisfaga las necesidades de FAME S.A.

Tabla 6

Especificaciones técnicas del sistema

Núm.	Especificaciones técnicas
1	Manual de operación
2	Capacidad de corte
3	Cumplimiento de normas ISO
4	Bajo costo de manufactura
5	Materiales resistentes
6	Calidad del producto final
7	Seguridad de su uso
8	Manual de mantenimiento

Nota. En la Tabla 6 se observa las recomendaciones que han sido proporcionadas por la empresa en forma de especificaciones técnicas, las cuales serán transformadas a un lenguaje técnico

Matriz QFD

La matriz QFD permite interpretar los deseos de un cliente para poder satisfacer su necesidad, por lo que se realiza un análisis de las recomendaciones proporcionadas por el cliente siguiendo los siguientes pasos:

- Análisis del grupo objetivo
- Análisis del cliente
- Análisis de la competencia
- Análisis del producto (IONOS, 2021)

Tabla 7

Escala de la matriz

Tipo de relación	Calificación
Fuerte	5
Medio	3
Débil	1
Ninguno	0

Nota. En la Tabla 7 se puede observar la medida con la cual se cuantifica la intensidad de relación entre las necesidades con las especificaciones técnicas.

Tabla 8*Matriz de correlación*

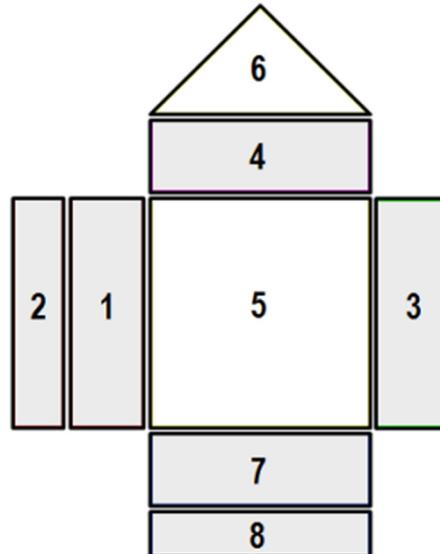
Significado	Símbolo
Fuertemente positiva	++
Positiva	+
Negativa	-
Fuertemente Negativa	--
Sin correlación	

Nota. En la Tabla 8 se puede observar los símbolos a utilizarse en la correlación entre las necesidades con las especificaciones para la aplicación del ingenio técnico.

Después de determinar las necesidades o requerimientos del cliente y las especificaciones o requerimientos técnicos, se puede empezar a estructurar la matriz QDF como se observa en la Figura 20.

Figura 20

Modelo de matriz QFD



Nota. En la Figura 20 se puede observar el modelo de la matriz QFD, en donde se especifica cada espacio mediante una numeración, siendo 1 el requerimiento del cliente, 2 el factor de importancia del cliente, 3 la evaluación competitiva del cliente, 4 los requerimientos técnicos, 5 la matriz de relaciones, 6. La correlación entre los requerimientos técnicos, 7 la evaluación competitiva técnica y 8 la puntuación (Ullman, 2010)

Teniendo en cuenta todo esto, se presenta en la Figura 21 la matriz QFD o matriz de calidad obtenida

Figura 21

Matriz QFD

Núm.	Necesidades	Núm. Imp.	Métricas								
			Manual de operación	Capacidad de corte	Cumplimiento de normas ISO	Bajo costo de manufactura	Materiales resistentes	Calidad del producto final	Seguridad en su uso	Manual de mantenimiento	
1	Presupuesto	4	0	5	5	5	5	5	3	0	
2	Repuestos en el país	5	0	0	1	3	3	1	1	5	
3	Facilidad de operación	4	5	1	3	1	0	5	5	0	
4	Rediseño de la estructura	3	1	3	3	3	3	5	5	3	
5	Facilidad de mantenimiento	5	3	3	3	5	3	5	3	5	
6	Dimensiones	2	1	5	1	1	1	0	0	0	
7	Uso de un Controlador Logico Pogramable	2	3	1	1	1	1	1	1	3	
8	Robustez	4	0	3	1	0	5	3	3	3	
9	Seguridad	5	5	1	3	1	3	0	5	1	
10	Productividad	5	5	5	5	5	1	5	0	3	
Ponderación absoluta			96	102	109	107	103	124	106	97	844
Ponderación relativa			11.37	12.09	12.91	12.68	12.20	14.69	12.56	11.49	100
Importancia relativa			8	6	2	3	5	1	4	7	

Nota. En la Figura 21 se puede observar la matriz QFD donde se relaciona las necesidades con los requerimientos técnicos considerados por parte del cliente.

Análisis de la Matriz QFD

Luego de obtener la matriz QFD que se observa en la Figura 21, se le ha otorgado un nivel de importancia a cada requerimiento para que sean cumplidos de manera satisfactoria al momento de realizar el sistema de troquelado automático, en donde se tiene:

1. Calidad del producto final
2. Cumplimiento de las normas ISO
3. Bajo costo de manufactura

4. Seguridad en su uso
5. Materiales resistentes
6. Capacidad de corte
7. Manual de mantenimiento
8. Manual de operación

Selección de conceptos

La selección de conceptos es de suma importancia para poder encaminar de forma correcta el desarrollo de un sistema de troquelado automático de corte de moldes de cuero, ya que, una selección inadecuada comprometería el diseño y muy difícilmente puede ser solucionada más adelante, ocasionando un incremento el costo del rediseño. Actualmente existen diversos métodos de selección de conceptos que existen para minimizar el riesgo de fracaso del proceso. (Ulrich & Eppinger, 2013)

Método cualitativo por puntos

Este método permite reforzar la toma de decisiones, consiste en asignar valores a aquellos factores más relevantes, esto conduce también a una comparación cuantitativa, ponderando factores preferenciales en la toma de decisiones, es decir, este método ayuda a tomar en cuenta todos los factores más convenientes por lo que se recomienda tomar en cuenta los siguientes puntos:

1. Desarrollar una serie de factores relevantes
2. Asignar un valor a cada factor para indicar su importancia; el valor que se le asigne depende del criterio del investigador, cuya sumatoria debe ser igual a 1.
3. Asignar una escala común; esta usa una escala que va de 1 a 10, en donde 1 es lo más alejado a lo requerido mientras que 10 es lo más cercano al criterio requerido.

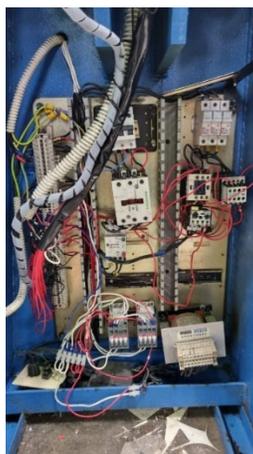
4. Calificar a cada factor de acuerdo con la escala designada y multiplicar por el factor importancia.
5. Sumar la puntuación de cada sitio y elegir el de máxima puntuación.

Selección de elementos de control

Para la selección de los elementos de control, es importante identificar las condiciones de la máquina. Para ello hay que tomar en cuenta que proceso se necesita controlar y definir claramente los objetivos con respecto a las necesidades. La máquina troqueladora no se encontraba al 100% en funcionamiento, debido a la falta de mantenimiento, e incluso presentaba algunos fallos en el sistema eléctrico, cabe mencionar que algunas partes eran adaptadas debido a la falta de repuestos existentes en el país e importarlos tomaba más tiempo del estimado.

Figura 22

Parte de control de la troqueladora



Nota. En la Figura 22 se muestra la parte de control de la troqueladora, donde se procede a realizar la respectiva identificación de componentes para su posterior modificación, tomando en cuenta el recableado y el cambio de algunos componentes que se encuentran ya modificados.

Para la selección del diseño de circuito se toma en cuenta dos alternativas las cuales son: Automatización mediante el empleo de contactores y mediante controladores lógicos programables, estas alternativas son netamente eléctricas debido a que la máquina es accionada eléctricamente y no de forma mecánica.

Tabla 9

Selección de alternativas para automatizar

Factor	Peso	Elementos de control			
		Contactores		Controlador lógico programable (PLC)	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
Funcionalidad	0,2	8	1,6	8	1,6
Flexibilidad	0,2	7	1,4	9	1,8
Costo	0,2	9	1,8	7	1,4
Eficiencia	0,2	8	1,6	8	1,6
Seguridad	0,2	7	1,4	9	1,8
Total	1		7,8		8,2
Aprobación		NO		SI	

Nota. En la Tabla 9 se puede evidenciar el uso de criterios de selección para alternativas de automatización en donde el PLC logra satisfacer de mejor forma las necesidades del cliente, con respecto a los contactores.

Una vez concluida la tabla comparativa entre las dos alternativas de automatización, se concluye que se va a automatizar mediante la aplicación de un controlador lógico programable, debido a que obtuvo una ponderación de 0.4 superior a la implementación por contactores.

Selección de sistemas de accionamiento

En la selección para los sistemas de accionamiento se pone a consideración tres opciones como son los finales de carrera, sensores inductivos y sensores capacitivos

Tabla 10

Sistemas de accionamiento

Factor	Peso	Sistemas de accionamiento					
		Final de Carrera		Sensor Inductivo		Sensor Capacitivo	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Funcionalidad	0,2	6	1,2	8	1,6	4	0.8
Flexibilidad	0,2	7	1,4	9	1,8	6	1.2
Costo	0,2	9	1,8	7	1,4	7	1.4
Eficiencia	0,2	6	1,2	9	1,8	6	1.2
Seguridad	0,2	7	1,4	9	1,8	8	1.6
Total	1		7.0		8.4		6.2
Aprobación		NO		SI		NO	

Nota. En la Tabla 10 se puede observar los criterios de selección para alternativas de sistemas de accionamiento en donde el sensor inductivo logra satisfacer de mejor forma las necesidades del cliente, con respecto al sensor capacitivo y final de carrera

Selección de generador de movimiento rotacional

En la selección para los generadores de movimiento rotacional se pone a consideración tres opciones como son los motores hidráulicos, servomotores y motores paso a paso

Tabla 11

Generador de movimiento rotacional

Generador de movimiento rotacional							
Factor	Peso	Motor hidráulico		Servomotor		Motor paso a paso	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Funcionalidad	0,2	8	1,6	8	1,6	9	1,8
Precisión	0,2	7	1,4	9	1,8	9	1,8
Costo	0,2	9	1,8	5	1,0	5	1,0
Eficiencia	0,2	9	1,8	9	1,8	9	1,8
Seguridad	0,2	9	1,8	9	1,8	9	1,8
Total	1	8.4		8.0		8.2	
Aprobación		SI		NO		NO	

Nota. En la Tabla 11 se puede observar los criterios de selección para alternativas de generadores de movimiento rotacional en donde el motor paso a paso logra satisfacer de mejor forma las necesidades del cliente, con respecto al motor hidráulico y servomotor.

Selección de método de troquelado

En la selección para los generadores de movimiento rotacional se pone a consideración tres opciones como son los motores hidráulicos, servomotores y motores paso a paso

Tabla 12

Método de troquelado

Factor	Peso	Método de troquelado							
		Troquelado manual		Troquelado mecánico		Troquelado neumático		Troquelado hidráulico	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Funcionalidad	0,2	5	1.0	6	1.2	8	1.6	9	1.8
Precisión	0,2	5	1.0	7	1.4	9	1.8	9	1.8
Costo	0,2	9	1,8	7	1,4	6	1.2	6	1.2
Eficiencia	0,2	5	1.0	6	1.2	9	1.8	9	1.8
Seguridad	0,2	8	1.6	9	1,8	9	1.8	9	1.8
Total	1	6.4		7.0		8.2		8.4	
Aprobación		NO		NO		NO		SI	

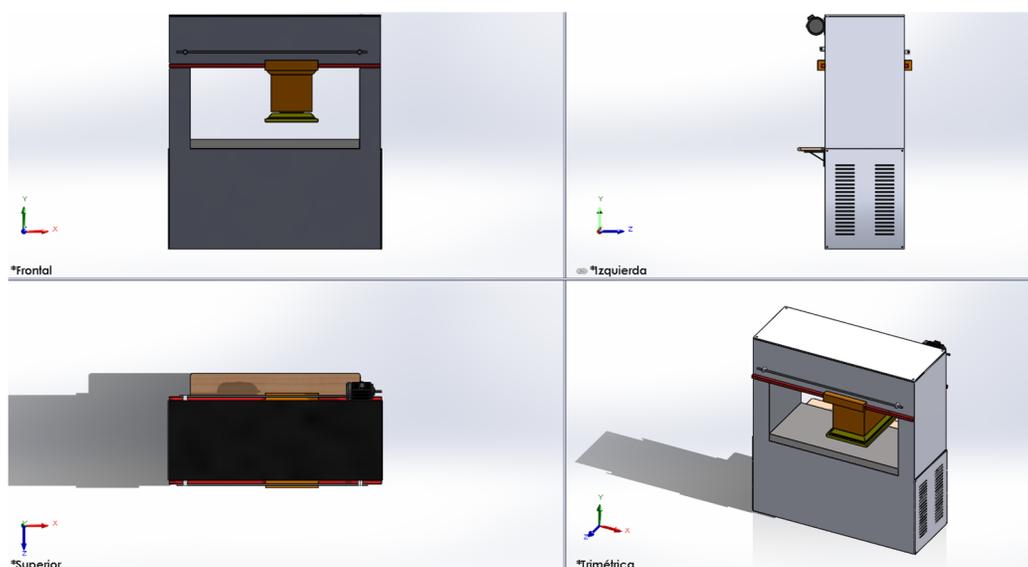
Nota. En la Tabla 12 se puede observar los criterios de selección para alternativas de método de troquelado en donde troquelado hidráulico logra satisfacer de mejor forma las necesidades del cliente, con respecto a los demás métodos de troquelado

Diseño y dimensionamiento de la estructura

Para el diseño y dimensionamiento de la estructura, se debe tomar en cuenta que, al usar ingeniería inversa, se usó la misma estructura mecánica de la máquina, teniendo como resultado la estructura que se puede observar en la Figura 23

Figura 23

Troqueladora de tipo puente



Nota. En la Figura 23 se puede observar el diseño mecánico desde la vista frontal, lateral izquierda, superior y trimétrico de la troqueladora tipo puente perteneciente a la empresa FAME S.A.

Las dimensiones de esta máquina son de 2 metros de largo por 1 metro de largo, por 2.2 metros de alto, sin embargo, el área de trabajo es de 0.9 metros de largo por 0.6 metros de

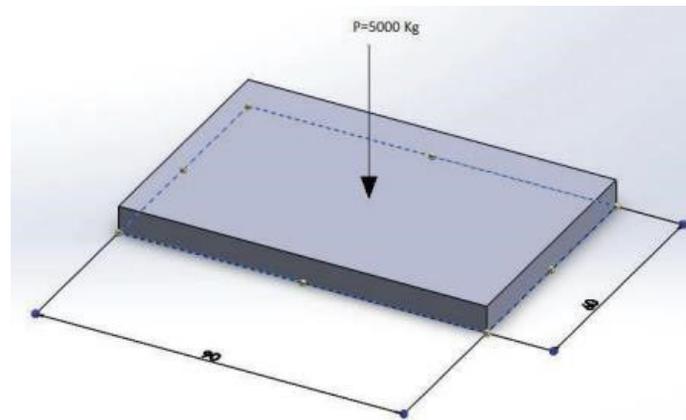
ancho. Al encontrarse en buen estado toda la parte mecánica y estructural se optó por mantener el diseño sin realizar ninguna modificación.

Diseño de la mesa de trabajo

Para el diseño existente, se debe preparar una tabla de corte que pueda soportar una fuerza de corte máxima de 5000 Kg. La mesa se considera como una viga con dos soportes que soportan cargas puntuales, las dimensiones deseadas son longitud de 90 cm y ancho 60 cm, el espesor de la mesa se calcula de acuerdo con las condiciones y dimensiones del análisis. Para efectos de diseño se aplica la fuerza a toda la variación a través de la tabla para encontrar el punto donde se presenta el momento máximo y calcular la deflexión máxima como se observa en la Figura 24

Figura 24

Mesa de trabajo



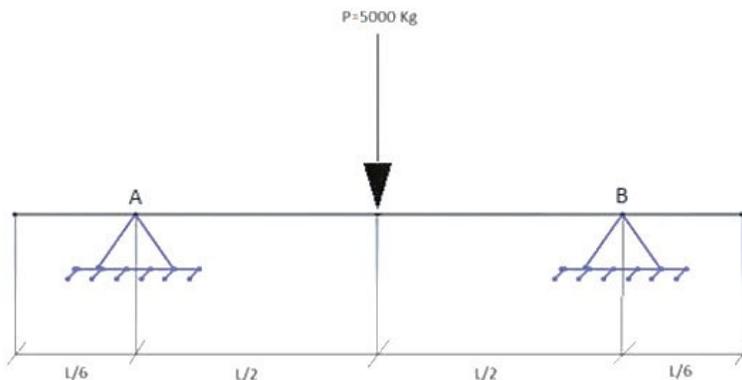
Nota. En la Figura 24 se observa la mesa de trabajo para el análisis estructural

Cálculo de carga en el centro de la viga

Para el cálculo de la carga se realizó a través de una viga con dos apoyos, el cual tiene una carga de 5000 kg

Figura 25

Diseño para el cálculo de reacciones de la viga

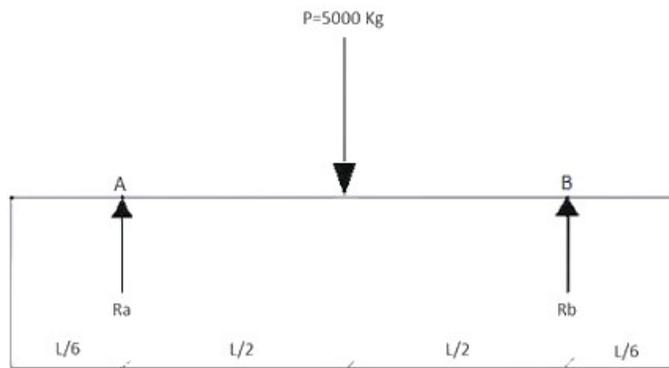


Nota. En la Figura 25 muestra una carga puntual de 5000kg lo que representa la máxima fuerza que la troqueladora va a realizar al momento del corte de cuero, para ello se coloca como apoyos a los extremos para visualizar los esfuerzos del apoyo.

Se obtiene el diagrama de cuerpo libre, para el cálculo de las reacciones como se indica en la Figura 26

Figura 26

Diagrama de cuerpo libre



Nota. En la Figura 26 se visualizan las reacciones las cuales se obtuvieron directamente del programa MD solid, dándonos unas reacciones iguales en los apoyos de un valor de 2500kg

Se obtiene:

$$R_A = R_B = 2500 \text{ Kg}$$

Parámetros de diseño hidráulico

Cálculo del diámetro del cilindro

Para rediseñar el sistema hidráulico se necesita el diámetro del cilindro por lo que la fuerza máxima requerida es de 5000 kg (49033 N), ya que, sabiendo que la distancia de carrera deseada es de 10 cm y se tiene solo un cilindro en la máquina se puede reutilizar los componentes del sistema de troquelado encontrado en FAME S.A. Además, se debe considerar que se tiene una presión hidráulica referencias de 15 MPa

Cálculo del diámetro:

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

Dónde:

P= Presión hidráulica 20 MPa (150 kg/ cm²)

F= Fuerza de sistema de troquelado 5000 kg

A= Área pistón

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

$$A = \frac{5000kg}{\frac{150kg}{cm^2}}$$

$$A = 33.33 \text{ cm}^2.$$

Se obtiene el radio del cilindro:

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{33.33 \text{ cm}^2}{\pi}}$$

$$r = 3.25 \text{ cm}.$$

El radio es de 3.25 cm, entonces el diámetro es de 6.5 cm, es decir 65 mm

Válvula de control direccional 2/3

Esta es un tipo de válvula utilizada en sistemas hidráulicos para controlar el flujo de fluido hacia y desde los actuadores, como cilindros o motores.

La función principal de esta válvula, también conocida como válvula de tres vías o válvula de dos posiciones y tres vías, es controlar la dirección del flujo de fluido en un sistema teniendo dos posiciones de conmutación principales, lo que significa que puede direccionar el flujo de entrada hacia dos salidas diferentes. También tiene una tercera posición neutral donde el flujo está bloqueado en ambas direcciones.

La válvula 2/3 tiene tres puertos de conexión: un puerto de entrada, dos puertos de salida y una posición neutral. Dependiendo de la posición de la válvula, el flujo de fluido puede ser dirigido desde el puerto de entrada hacia uno de los dos puertos de salida, o bloqueado en la posición neutral.

Selección de válvulas reguladoras de caudal

Para esto se toma en cuenta la relación de caudal máximo a la presión de trabajo. Estas válvulas tienen el mismo principio de una válvula para agua, pero con la diferencia de resistir mayor presión. Para este caso se utilizará una válvula que soporta una presión de 150 Bares

Cálculo de la potencia y selección del motor

El cálculo de la potencia de un motor se realiza mediante:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F * \Delta r}{t} = F * v$$

Dónde:

P = Potencia del motor

W = Trabajo que realiza el cilindro

F = Fuerza de trabajo del cilindro

Δr = Desplazamiento del cilindro

t = tiempo

v = velocidad de desplazamiento del cilindro (0,01 m/s)

$$A = 49033N * \frac{0.015m}{s}$$

$$P = 735.49 W.$$

$$P = 0.98 HP$$

Por lo tanto, la potencia requerida para el motor es de 1HP

Protección eléctrica

Las protecciones eléctricas son esenciales para garantizar la seguridad y la operación confiable de sistemas eléctricos y equipos, al detectar y prevenir condiciones anormales que podrían causar daños o riesgos para las personas y la propiedad.

- **Ventajas:**

Seguridad: Protegen a las personas y los equipos de riesgos eléctricos.

Mantenimiento: Prolongan la vida útil de los equipos y reducen costos de reparación.

Confiabilidad: Aseguran el funcionamiento seguro y confiable de sistemas eléctricos.

- **Desventajas:**

Complejidad: La implementación y configuración adecuadas pueden requerir conocimientos técnicos especializados.

Costo: Algunas protecciones eléctricas pueden ser costosas de implementar.

Construcción del circuito de control

Una vez culminada la parte mecánica se procede a realizar la parte de control, a través de una matriz morfológica se procede al diseño e implementación de un módulo PLC (S7 1212C AC DC rly) que se dejará para uso en la empresa FAM S.A. Se procede a realizar el ensamble e implementación, por lo que se necesita implementar las entradas y las salidas

Entradas

- Sensor de presencia: SENSOR DE PROXIMIDAD CM24-3008PC INDUCTIVO
Sn 0-8mm 6-36 V DC

- Dos finales de carrera: CONTACTO BIPOLAR NA+NC SCHNEIDER XCKM102

Salidas

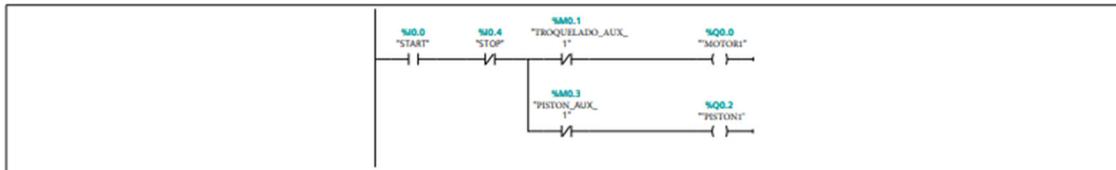
- Pistón
- Motor
- Indicadores visuales

Implementación y comunicación entre la pare mecánica y electrónica

Figura 27

Programación Ladder Segmento 1

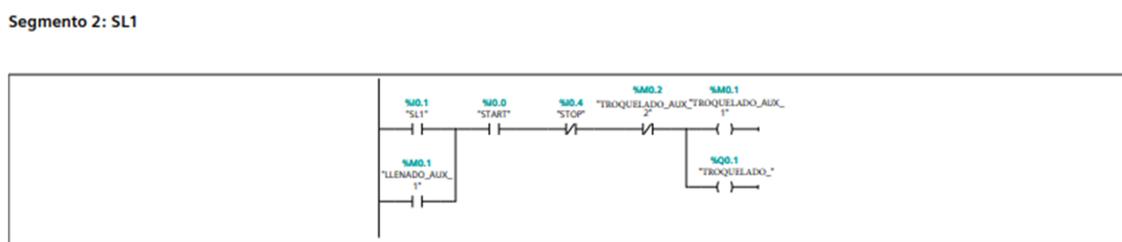
Segmento 1: START



Nota. En la Figura 27 se puede observar la programación en lenguaje Ladder para el inicio del funcionamiento del sistema de troquelado que comienza al pulsar el botón de “START” y verificar que el botón de “STOP” no se encuentre activado, para lo cual se procede a mover la máquina al punto de partida activando tanto el motor como el pistón para que lleguen a su posición inicial y se pueda ejecutar el proceso de troquelado

Figura 28

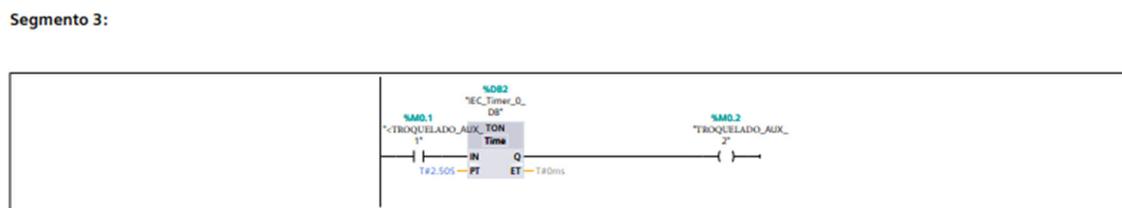
Programación Ladder Segmento 2



Nota. En la Figura 28 se puede observar la programación en lenguaje Ladder para proceso de troquelado, en el cual, al momento de encontrarse en el punto inicial, este activa el motor para dirigirse hacia el punto determinado para realizar la acción de troquelar, esta se da mediante el movimiento de un pistón neumático el cual se va a activar al momento de llegar a la posición deseada y realizara una fuerza necesaria para que se pueda cortar el cuero.

Figura 29

Programación Ladder Segmento 3



Nota. En la Figura 29 se puede observar la programación en lenguaje Ladder para proceso de troquelado, en el cual se coloca un temporizador de 2.5 segundos, el cual se encarga de que la presión realizada sea suficiente para que el material de cuero se corte y cumpla con lo requerido.

Costos de materiales

Tabla 13

Materiales para implementar

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Mangueras hidráulicas	2	\$135.80	\$271,60
Flujo hidráulico	1	\$55	\$55
Temporizador	1	68.06	\$68,06
Válvula de control direccional	1	\$92.24	\$92,24
Tanque para fluido	1	\$85.24	\$85,24
Paro de emergencia	1	\$65.33	\$65,33
Luz piloto verde	1	\$7.5	\$7,50
Luz piloto roja	1	\$7.5	\$7,50
Controlador lógico programable	1	\$850	\$850
Finales de carrera	4	\$29.07	\$116,28
Sensores	5	\$32.47	\$162,35

DENOMINACIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Pantalla	1	\$350.23	\$350,23
Controladores y drivers	1	\$124.50	\$124,50
Protección eléctrica	1	\$113.15	\$113,15
Cables	-	\$50	\$50
Imprevistos	-	\$700	\$700
		TOTAL	\$3.119

Nota. Como se puede observar en a Tabla 13 tenemos un valor en materiales de 3.209 los cuales son tratados como costos directos ya que son los gastos efectuados durante la construcción.

Redimensionamiento de la estructura

Luego de varios inconvenientes y una ruptura de convenio por parte de FAME S.A. expresada en el documento FAME-2023-OF-GG-0089 el cual especifica que por parte del Directorio de FAME S.A., se ha imposibilitado la asignación de recursos para proyectos de titulación. Por lo que, se procede a realizar un redimensionamiento de diseño del sistema de troquelado automático que había sido solicitado, con el fin de ayudar a la validación de la hipótesis planteada, utilizando el levantamiento de información que se tiene hasta el momento para realizar un modelo a escala modificado, el cual será utilizado para el desarrollo de pruebas de funcionamiento y por ende la culminación del proyecto de titulación.

Selección del material de la estructura de la máquina

Tabla 14

Selección de material para estructura de la máquina

Factor	Peso	Material							
		Acero Inoxidable		Hierro		Aluminio		MDF	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Es de bajo costo	0,2	5	1.0	7	1.4	7	1.4	9	1.8
Es de alta resistencia	0,2	10	2.0	8	1.6	7	1.4	5	1.0
Peso ligero	0,2	6	1.2	6	1.2	8	1.6	8	1.6
Es de alta durabilidad	0,2	10	2.0	8	1.6	7	1.4	6	1.2
Facilidad de manufactura	0,2	7	1.4	7	1,4	8	1.6	10	2.0
Total	1		7.6		7.2		7.4		7.6
Aprobación		SI		NO		NO		SI	

Nota. En la Tabla 14 se puede observar los criterios de selección para el material de la estructura en donde se concluye que los materiales óptimos son acero inoxidable y MDF.

Al tratarse de del diseño estructural de la máquina, se necesita un diseño duradero y eficiente, por lo que se ha optado por seleccionar dos tipos de materiales siendo estos, acero inoxidable para la parte de la estructura y MDF para la parte del área de trabajo, forma del troquel y colocación de los botones para la operación de la máquina.

Tabla 15

Selección de tipo de perfil para la estructura

Factor	Peso	Acero inoxidable							
		Perfil Cuadrado		Perfil Rectangular		Perfil Tipo L		Perfil Tipo U	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Bajo costo	0,2	7	1.4	8	1.6	6	1.2	6	1.2
Es de alta resistencia	0,2	10	2.0	10	2.0	10	2.0	10	2.0
Peso ligero	0,2	8	1.6	8	1.6	7	1.4	7	1.4
Durabilidad	0,2	10	2.0	10	2.0	9	1.8	9	1.8
Facilidad de manufactura	0,2	8	1.6	8	1,6	7	1.4	7	1.4

Factor	Peso	Acero inoxidable							
		Perfil Cuadrado		Perfil Rectangular		Perfil Tipo L		Perfil Tipo U	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Total	1	8.6		8.8		7.8		7.8	
Aprobación		NO		SI		NO		NO	

Nota. En la Tabla 15 se puede observar los criterios de selección para el perfil a usarse en el material de acero inoxidable, teniendo como opción aprobada el perfil rectangular.

Luego de analizar qué tipo de perfil cumple las necesidades planteadas, se puede observar que por una pequeña diferencia el perfil rectangular es el más óptimo con respecto a los otros perfiles, puesto que, a pesar de tener un costo un poco más elevado, presenta varias ventajas que los otros perfiles no.

Tabla 16

Selección de tipo de material para el área de trabajo

Factor	Peso	MDF							
		3 mm		6 mm		9 mm		12 mm	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Bajo costo	0,2	9	1.8	8	1.6	6	1.2	5	1.0
Resistencia	0,2	4	0.8	7	1.4	8	1.6	9	1.8

MDF									
Factor	Peso	3 mm		6 mm		9 mm		12 mm	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Peso ligero	0,2	9	1.8	8	1.6	6	1.2	5	1.0
Durabilidad	0,2	5	1.0	7	1.4	8	1.6	8	1.6
Facilidad de manufactura	0,2	8	1.6	8	1,6	7	1.4	7	1.4
Total	1		7.0		7.6		7.0		6.8
Aprobación		NO		SI		NO		NO	

Nota. En la Tabla 16 se puede observar los criterios de selección para el espesor del MDF que se va a usar para el área de trabajo y colocación de botones y el troquel, donde el más favorable es el de 6mm.

Luego de comparar los diferentes espesores del MDF, se determinó que el espesor el óptimo para el área de trabajo de sistema de troquelo, ya que puede cumplir las necesidades que se tiene, siendo de bajo costo y con la suficiente resistencia para que no se destruya al momento de realizar pruebas de funcionamiento.

Por los tanto, para poder construir el prototipo se utilizó tanto perfil rectangular de acero inoxidable, como también MDF de 6mm para el área de trabajo, troquel y panel de control de botones.

Para esto se realizó la forma de la estructura uniendo los perfiles rectangulares mediante soldadura TIC, para que sea lo más firme posible y que al momento de ejecutar la acción de troquelar no sufra ningún percance.

Selección del motor para el movimiento rotacional

Tabla 17

Matriz de selección de motor para el movimiento rotacional

Factor	Peso	Motor			
		Motor Nema 17		Servomotor	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Es de bajo costo	0,2	8	1.6	8	1.6
Torque y fuerza	0,2	7	1.4	5	1.0
Precisión	0,2	9	1.8	9	1.8
Es de alta durabilidad	0,2	9	1.8	8	1.6
Disponibilidad en el mercado	0,2	10	2.0	7	1.4
Total	1		8.6		7.4
Aprobación		SI		NO	

Nota. En la Tabla 17 se puede observar los criterios de selección para la selección de un motor que se va a usar para generar movimiento rotacional para que se pueda mover en troquel.

Al realizar la matriz de selección, se pudo determinar que el motor Nema 17 es el más adecuado para ser usado, ya que satisface las necesidades que se tiene para el prototipo.

Selección del pistón para el troquel

Tabla 18

Matriz de selección del pistón para el troquel

Factor	Peso	Pistón			
		Cilindro smp efc Diam 12x50mm		Microcilindro 2E 2A Diam 16x50mm	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Es de bajo costo	0,2	7	1.4	8	1.6
Mayor presión soportada	0,2	8	1.6	7	1.4
Mayor carrera	0,2	6	1.2	6	1.2
Durabilidad	0,2	9	1.8	8	1.6
Disponibilidad en el mercado	0,2	7	1.4	7	1.4
Total	1		7.4		7.2
Aprobación		SI		NO	

Nota. En la Tabla 18 se puede observar los criterios de selección para el pistón a utilizarse en el sistema de troquelado automático

A pesar de que no existe gran diferencia entre los dos cilindros, se ha elegido el Cilindro de simple efecto de diámetro 12x50mm que, aunque su precio es un poco más elevado, tiene mayor presión lo que será útil al momento de poder cortar el material

Selección de sistemas de accionamiento

Tabla 19

Matriz de selección de accionamientos

Factor	Peso	Sistemas de accionamiento					
		Final de Carrera		Sensor Inductivo		Sensor Capacitivo	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Funcionalidad	0,2	6	1,2	8	1,6	4	0.8
Disponibilidad en el mercado	0,2	9	1,8	6	1,2	6	1.2
Es de bajo costo	0,2	9	1,8	6	1,4	6	1.4
Eficiencia sin metal	0,2	8	1,6	5	1.0	8	1.6
Seguridad	0,2	8	1,6	9	1,8	8	1.6
Total	1		8.0		7.0		6.6
Aprobación		SI		NO		NO	

Nota. En la Tabla 19 se puede observar los criterios de selección para alternativas de sistemas de accionamiento en donde el final de carrera satisface las necesidades que se presentan para el prototipo

Al realizar la matriz de selección se determina que el final de carrera es el sensor que cumple las necesidades requeridas, ya que al no tener una parte metálica para que el sensor inductivo la pueda detectar, el final de carrera será el encargado de accionar el pulso para saber que ha llegado a su punto máximo de distancia ya sea a la izquierda como a la derecha.

Selección del controlador de la máquina

Tabla 20

Matriz de selección del controlador de la máquina

Factor	Peso	Controlador							
		Arduino Nano		Arduino Mega		Raspberry Pi 4 Model B		ESP32	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Es de bajo costo	0,2	9	1.8	7	1.4	5	1.0	7	1.4
Facilidad de uso	0,2	9	1.8	9	1.8	6	1.2	8	1.6
Disponibilidad en el mercado	0,2	9	1.8	9	1.8	6	1.2	7	1.4
Compatibilidad	0,2	9	1.8	9	1.8	7	1.4	8	1.6

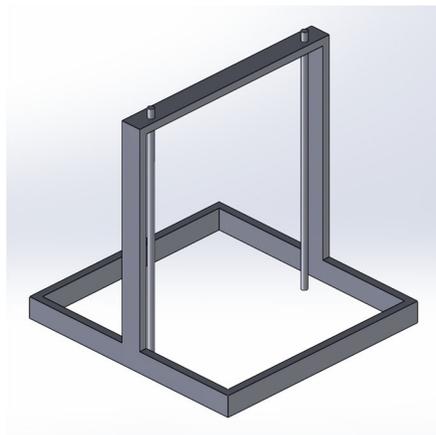
Factor	Peso	Controlador							
		Arduino Nano		Arduino Mega		Raspberry Pi 4 Model B		ESP32	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Capacidad de procesamiento	0,2	7	1.4	8	1,6	9	1.8	8	1.6
Total	1		8.6		8.4		6.6		7.6
Aprobación		Si		NO		NO		NO	

Nota. En la Tabla 20 se puede observar los criterios de selección para la selección del controlador de la máquina que se va a usar que en este caso será un Arduino uno.

Al realizar la matriz de selección, se pudo determinar que el Arduino Uno cumple con las necesidades para poder usarlo como controlador de la máquina, ya que tiene una mayor compatibilidad con los elementos, es más económico y fácil de encontrar en el mercado.

Diseño de la máquina

Luego de redimensionar los materiales que se van a utilizar para la nueva máquina, se parte de un diseño que se puede observar en la Figura 31 el cual es de 32x33.5x33.6 cm.

Figura 30*Estructura base del modelo*

Nota. En la Figura 30 se presenta el modelo de la base de la estructura para el sistema de troquelado automático.

Esta estructura tiene como material principal perfil rectangular de acero inoxidable AISI 304, el cual ha sido soldado mediante el proceso de soldadura TIG y dos ejes de mismo material para la sujeción del sistema de troquelado.

Tabla 21*Propiedades mecánicas del Acero inoxidable AISI 304*

Propiedades Mecánicas			
Resistencia mecánica (N/mm²)	Punto de fluencia (N/mm²)	Elongación %Min	Dureza Rockwell B
520	220	20	249 - 278

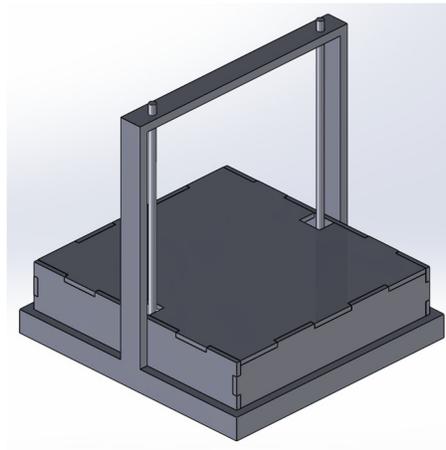
Nota. En la Tabla 21 se puede observar las propiedades mecánicas que tiene el AISI 304, las cuales se usarán para diseño y construcción de la máquina

Diseño del área de trabajo

Para el área de trabajo se ha diseñado una mesa para el troquelado como se observa en la Figura 31

Figura 31

Estructura de la maquina con el área de trabajo



Nota. En la Figura 32 se puede observar la estructura de la máquina con su área de trabajo.

Para el área de trabajo se ha realizado una mesa de trabajo utilizando MDF de 6mm. Esta mesa de trabajo se encuentra dentro de la estructura inicial para que pueda quedarse fija, y pueda garantizar una construcción sólida y resistente.

Tabla 22

Propiedades mecánicas Físico-mecánicas del MDF 6mm

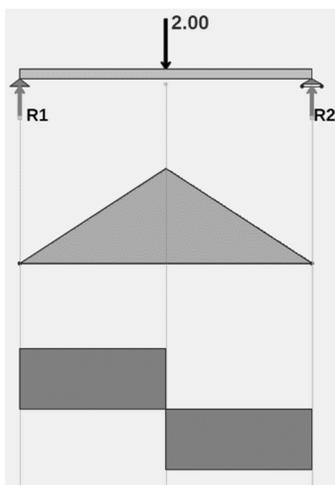
MDF 6mm		
Densidad (Kg/m ³)	Flexión (N/mm ²)	Tracción (N/mm ²)
730 ± 25	40 ± 10	1 ± 0.2

Nota. En la Tabla 22 se puede observar las propiedades físico-mecánicas que tiene el MDF de 6mm, las cuales se usarán para diseño y construcción de la máquina.

Para el diseño existente, la mesa de trabajo debe soportar una fuerza de 2kg. La mesa se considera como una viga con dos soportes que soportan cargas puntuales como se observa en la Figura 32

Figura 32

Diseño para el cálculo de reacciones en la mesa de trabajo



En la Figura 32 se visualizan las reacciones las cuales se obtuvieron directamente del programa, dando unas reacciones iguales en los apoyos de un valor de 50kg

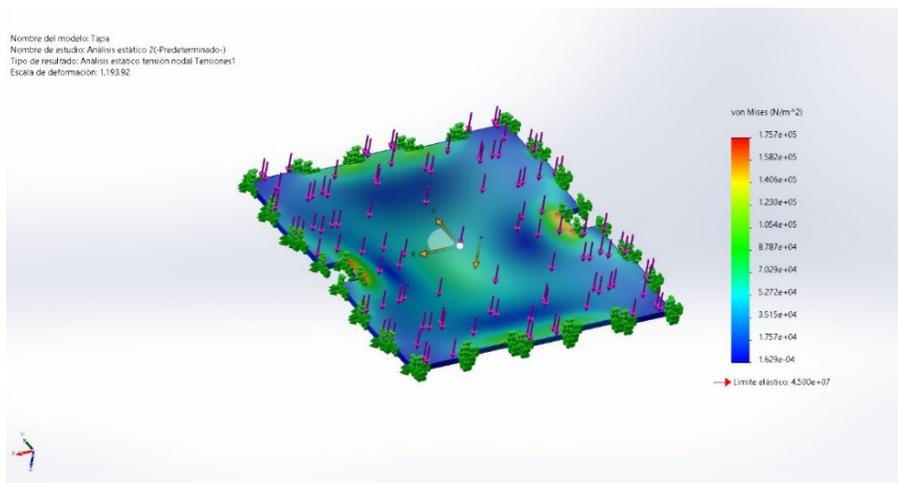
Se obtiene:

$$R_1 = R_2 = 1 \text{ kg}$$

Para afirmar la estabilidad del sistema y evitar deformaciones excesivas, se verifica que la superficie sea lo suficientemente resistente y rígidis para soportar el troquelado, por lo que mediante un análisis de elementos finitos se puede observar su comportamiento.

Figura 33

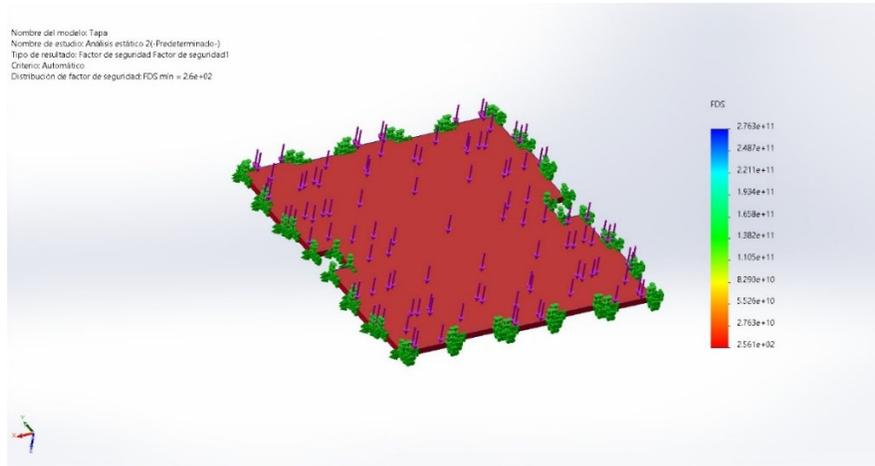
Simulación de los esfuerzos de la mesa de trabajo



Nota. En la Figura 33, se obtiene un valor mínimo de $1.629 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ y un valor máximo de $1.757 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

Figura 34

Simulación del factor de seguridad de la mesa de trabajo



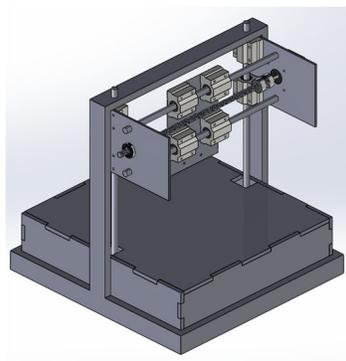
Nota. En la Figura 34, se obtiene un valor mínimo de 2.561×10^2 y un valor máximo de 2.763×10^{11} .

Diseño del sistema de troquelado en el eje x

Para el sistema de troquelado del eje x se ha diseñado un soporte lineal como se observa en la

Figura 35

Estructura de la maquina con el sistema de troquelado



Nota. En la Figura 35 se puede observar la estructura del troquelado con su mesa de trabajo y el sistema de troquelado que se va a mover en el eje x para realizar los cortes en el material.

El diseño utilizado parte de la necesidad de mover un cabezal que vaya troquelado de derecha a izquierda o viceversa en diferentes posiciones, por lo cual tiene gran similitud con el funcionamiento de una impresora 3D de movimiento cartesiano, por ello, para el sistema de transmisión de movimiento se utilizó un sistemas cartesiano XZ, el cual mueve el cabezal sobre la guía del eje X y está sujeto en z, volviéndose uno de los sistemas más utilizados en la actualidad por ser sencilla de construir y de bajo coste.

Este sistema consta en x de 2 ejes de referencia que son guías para el movimiento y de un eje conocido como tornillo sin fin, el cual, al estar vinculado al motor en cuestión, permite que el cabezal se puede mover a lo largo del eje x.

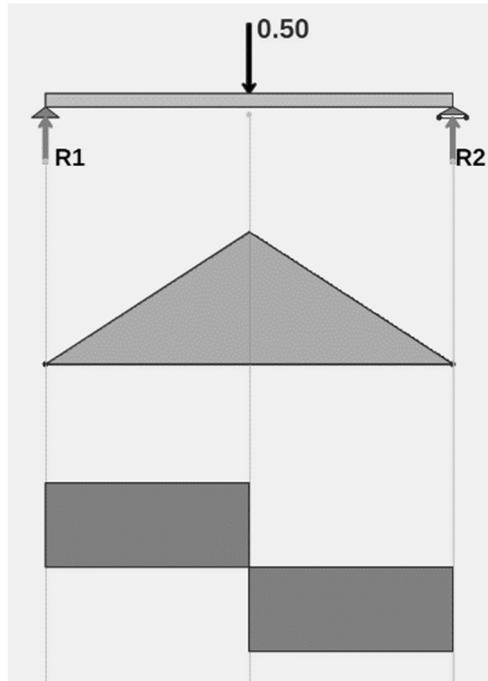
En cuanto al análisis mecánico de los ejes guías y el tornillo sin fin o eje roscado, todos estos de 8 mm, los cuales se encuentran sujetos en los extremos para brindar soporte y estabilidad al sistema, se consideran ciertas propiedades del material y la geometría de la varilla.

Estas son elaboradas en acero inoxidable AISI 304, lo que permite que el sistema sea confiable y duradero, especialmente en condiciones de humedad o sustancias corrosivas. Su geometría influye en su capacidad de resistir fuerzas y momentos aplicados.

De la misma manera que la mesa de trabajo, al tener el sistema de troquelado en el eje x se debe considerar el peso del mecanismo que tiene que soportar para que no exista un pandeo en los ejes, por lo que se realiza un análisis de vigas con el peso del mecanismo que es de 0.5 Kg.

Figura 36

Diseño para el cálculo de reacciones en vigas



En la Figura 36 se visualizan las reacciones las cuales se obtuvieron directamente del programa, dando unas reacciones iguales en los apoyos de un valor de 0.5kg

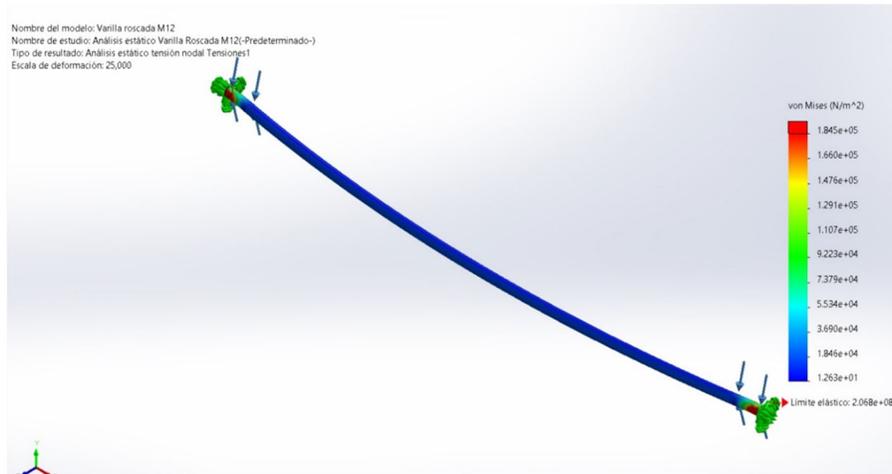
Se obtiene:

$$R_1 = R_2 = 0.25 \text{ kg}$$

Para afirmar la estabilidad del sistema y evitar deformaciones excesivas, se verifica que los ejes sean lo suficientemente resistentes y rígidos para soportar cargas y momentos que se presenten, por lo que mediante un análisis de elementos finitos se puede observar su comportamiento.

Figura 37

Simulación de los esfuerzos de los ejes y tornillo sin fin

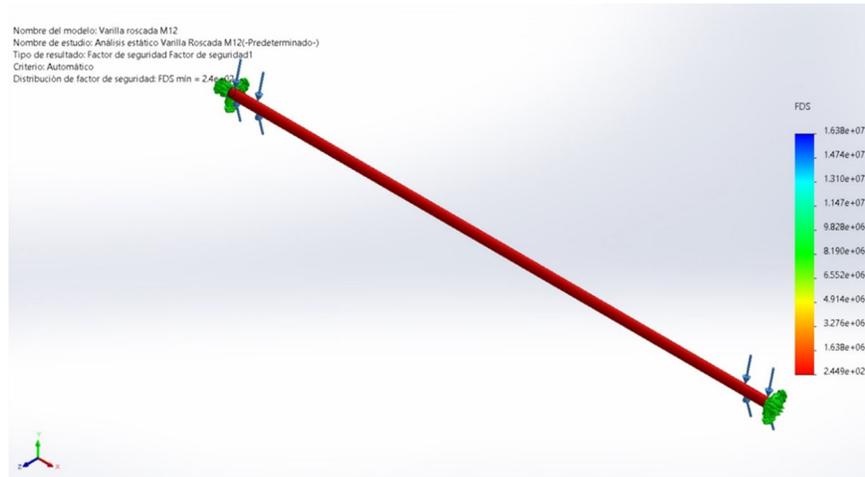


Nota. En la Figura 37, se obtiene un valor mínimo de $1.263 \times 10^2 \text{ N/m}^2$ y un valor máximo de $1.845 \times 10^5 \text{ N/m}^2$.

Se procede a realizar un análisis de simulación para calcular el rango mínimo y máximo del factor de seguridad. El siguiente paso es completar esta evaluación, se ha determinado que el factor de seguridad para las fuerzas aplicadas es más que suficiente, lo que significa que el material utilizado en la estructura es adecuado para resistir las cargas previstas.

Figura 38

Simulación del factor de seguridad de los ejes y tornillo sin fin

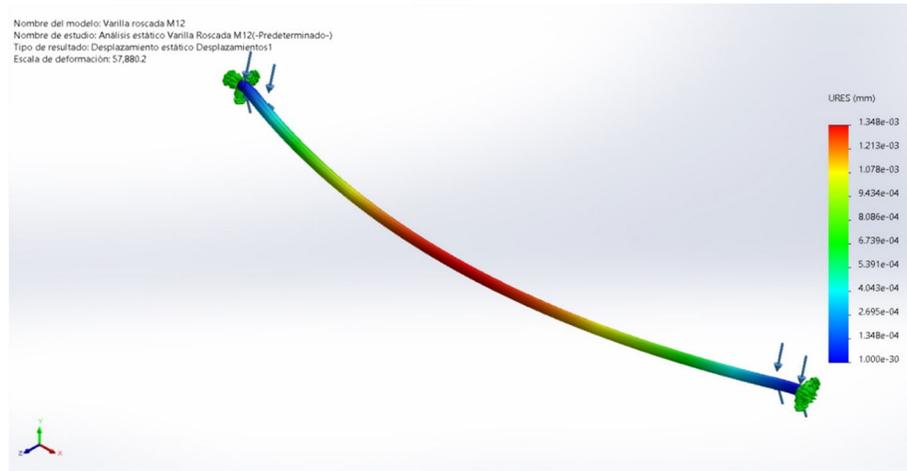


Nota. En la Figura 38, se obtiene un valor mínimo de 2.449×10^2 y un valor máximo de 1.639×10^7 .

A lo largo del análisis de deformación causada por las fuerzas aplicadas, se registraron deformaciones mínimas y apenas perceptibles. Para visualizar mejor los desplazamientos, se ha utilizado una escala de deformación alta. Según los resultados obtenidos, el peso que la estructura deberá soportar no tendrá un impacto significativo en su diseño ni afectará su vida útil de manera relevante.

Figura 39

Simulación de desplazamiento en los ejes y tornillo sin fin



Nota. En la Figura 39, se obtiene un valor mínimo de $1 \times 10^{-30} \text{ mm}$ y un valor máximo de $1.348 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

Diseño del control eléctrico

Para el diseño del control eléctrico se debe tomar en cuenta factores como motor, relés, protecciones, finales de carrera, entre otros.

Cálculos del torque del motor

Para el cálculo del torque del motor, es importante saber el modelo que se va a utilizar, en este caso se usa un motor Nema 17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm por las características que tiene, las cuales se puede observar en la Tabla 24

Tabla 23

Características del motor Nema 17

Nema 17 42STH40-1204A 1.2A 0.4Nm								
Par de retención	Torque de entrega	Tensión nominal	Eje	Grado de tensión	Ángulo de paso	Longitud del motor	Corriente nominal	Inductancia
			Ø					
40 N.cm	60 N.cm	4 V	5 m	2.8 V	1.8°	40 mm	1.2 A	3.2 mH
			m					

Nota. En la Tabla 23 se puede observar las características del motor a utilizarse y los valores a los cuales puede funcionar de forma óptima. Tomado de NEMA17-13-04PD-AMT112S por (CUID , 2020)

Factor de seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad, se tiene la relación entre el par de retención del motor y torque de entrega

$$Nf = \frac{T_m}{T_r}$$

$$Nf = \frac{40 \text{ N.cm}}{60 \text{ N.cm}}$$

$$Nf = 2.5$$

Con esto se puede concluir que el motor no está funcionando al cien por ciento de su capacidad nominal, por lo que se puede realizar un control punto a punto sin circuitos de realimentación, evitando usar elementos extras.

Microcontrolador del sistema.

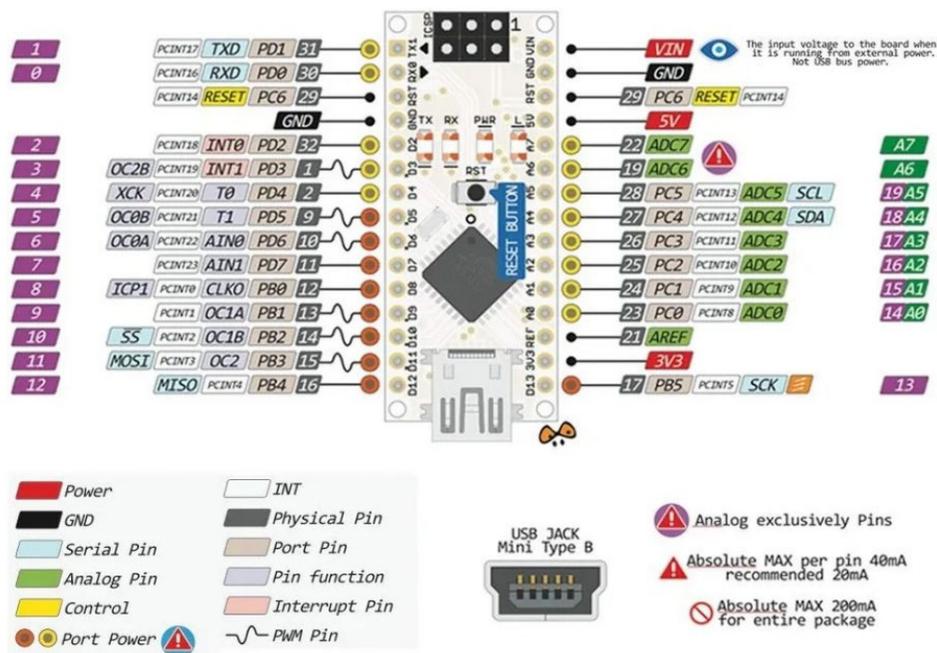
Para el control del sistema se empleó un Arduino nano, el cual es una placa microcontroladora basada en el ATmega328p el cual consta de:

- 14 pines digitales
- 8 pines analógicos
- 1 puerto serial.
- 1 oscilador de 16 MHz.
- 1 mini conector USB.

Este recibe la señal de salida deseada desde el computador mediante un puerto mini USB. Luego de recibir la señal y de procesar el código precargado, se envía dicha señal al controlador del motor para su funcionamiento y a su vez, se recibe señal de los finales de carrera.

Figura 40

Arduino Nano



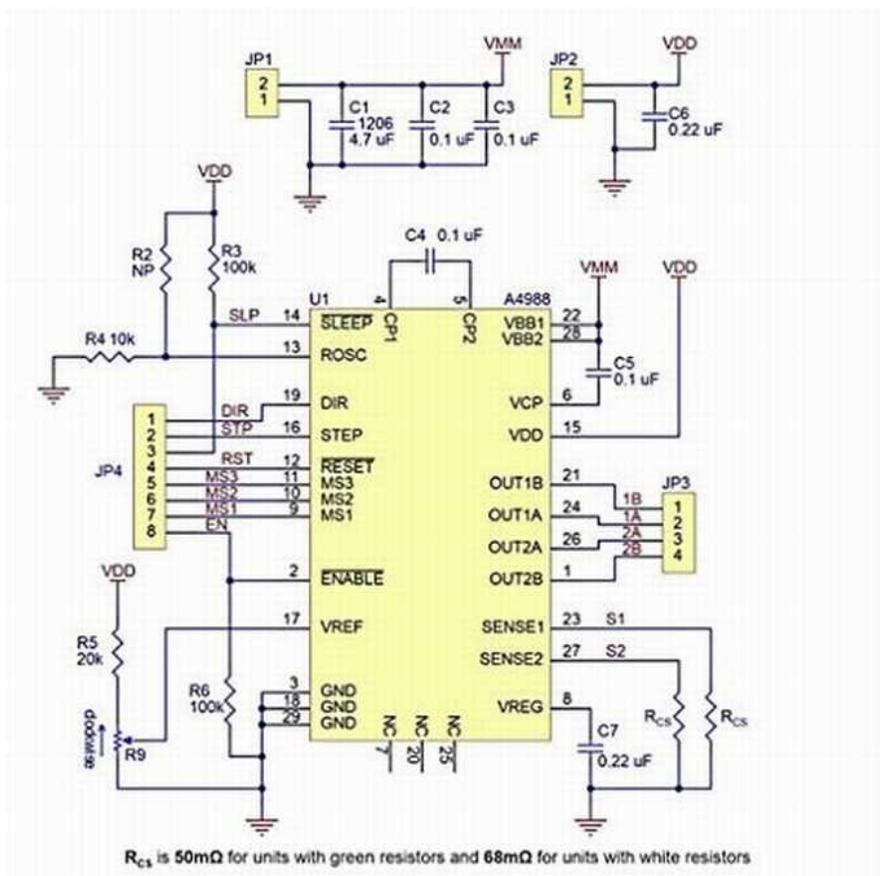
Nota. En la Figura 40, se puede observar la configuración de la placa de Arduino nano. Tomado de Arduino Nano, qué es, Pinout y características (Arduino, Genuino, 2016)

Controlador de motor paso a paso A4988

El controlar un motor paso a paso mediante el A4988 se vuelve sencillo ya que dicho controlador además de solo necesitar pocos puertos en el Arduino, también se encarga de generar todas las señales que necesita el motor para funcionar correctamente, además de poder regular la corriente para que el motor no sufra un desperfecto. (Diarioelectronicohoy, 2023)

Figura 41

Controlador de motor paso a paso A4988



Nota. En la Figura 41, se puede observar la configuración del controlador A4988. Tomado de (Diarioelectronicohoy, 2023)

Sensor de finales de carrera

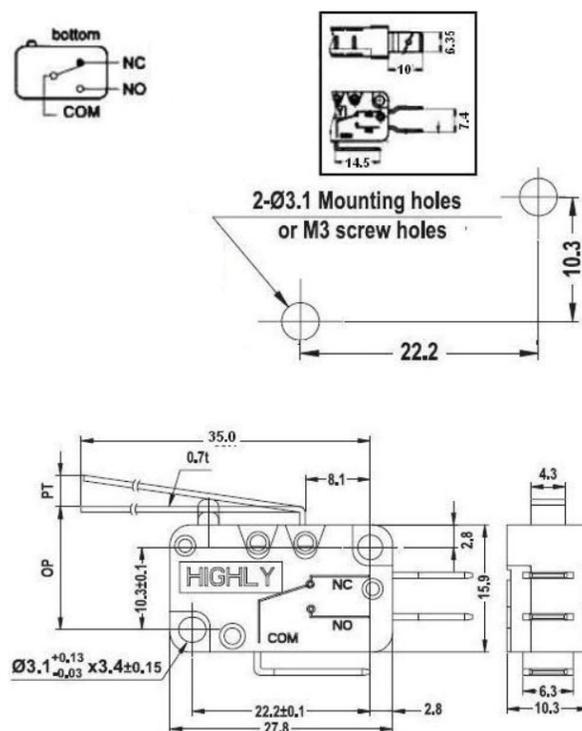
El esquema eléctrico del sensor de final de carrera se presenta para su implementación en el sistema, permitiendo establecer tanto la posición de inicio (Home) como los límites finales alcanzados por cada eje, para que no exista colisiones.

El circuito consta de sensores de final de carrera ubicados en el eje X tanto al inicio como al final. Cada sensor está conectado a un pin digital específico del Arduino, a través del

cual se recibe una señal digital. Esta señal permite detectar la presencia o ausencia del objeto que activa el sensor, lo que a su vez permite determinar la posición del eje en relación con el origen y los límites de recorrido

Figura 42

Finales de carrera



Nota. En la Figura 42 se puede identificar la forma de los interruptores fin de carrera en formato switch. Tomado de Interruptores de Final de Carrera (Shoptronica, 2022)

Protección eléctrica

Las protecciones eléctricas son esenciales para garantizar la seguridad y la operación confiable de sistemas eléctricos y equipos, al detectar y prevenir condiciones anormales que podrían causar daños o riesgos para las personas y la propiedad.

- Ventajas:

Seguridad: Protegen a las personas y los equipos de riesgos eléctricos.

Mantenimiento: Prolongan la vida útil de los equipos y reducen costos de reparación.

Confiabilidad: Aseguran el funcionamiento seguro y confiable de sistemas eléctricos.

- Desventajas:

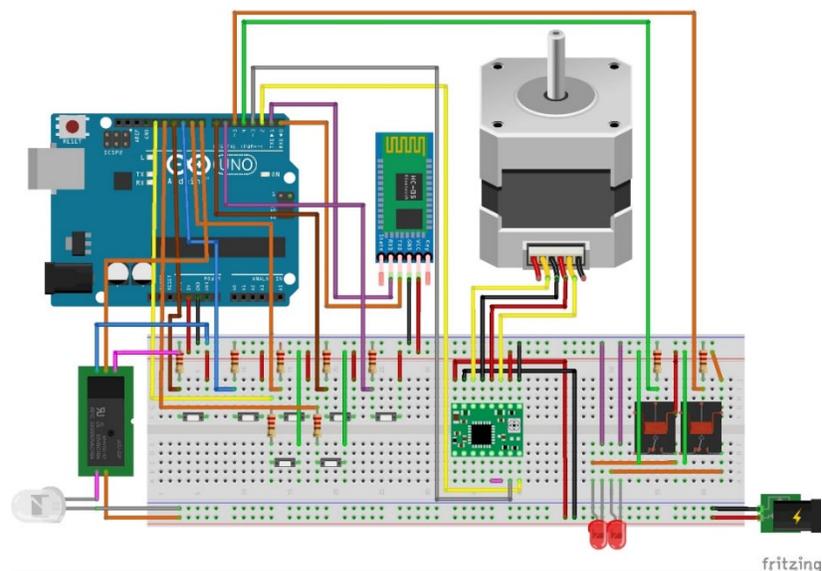
Complejidad: La implementación y configuración adecuadas pueden requerir conocimientos técnicos especializados.

Costo: Algunas protecciones eléctricas pueden ser costosas de implementar.

Implementación del sistema eléctrico de troquelado automático

Figura 43

Implementación del circuito



Nota. Como se puede observar en la Figura 43 se tiene todos los sensores y actuadores para la correcta implementación del prototipo, tomando en cuenta como parte principal el motor nema y el relé que hace que se active el pistón.

Diseño de la interfaz gráfica

Para el diseño de la interfaz gráfica se establece como objetivo obtener una interfaz simple, intuitiva de fácil manejo y amigable con el usuario mediante el uso de programación por bloques mediante el uso de MIT App Inventor, la cual permite la implementación de una gran variedad de widgets, ventanas, cajas de texto, entre otros.

Figura 44

Interfaz gráfica de la aplicación



Nota. En la Figura 44 se puede observar la interfaz gráfica desarrollada para la manipulación del prototipo.

Capítulo IV

Pruebas y Resultados

En este capítulo se da a conocer las pruebas y resultados obtenidos durante la implementación y funcionamiento del prototipo realizado para el sistema de troquelado automático en donde se detalla etapas y procedimientos realizados para evaluar su eficacia a través de pruebas.

Pruebas de funcionamiento

En esta sección se presenta las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento de los componentes del prototipo realizado con el fin de registrar y analizar los resultados obtenidos durante cada prueba, para verificar posibles problemas o realizar ajustes necesarios.

Para esto se comienza a realizar pruebas del funcionamiento del troquel con el fin de obtener un correcto funcionamiento del mecanismo, por lo que se procede a realizar la acción de troquelado en diferentes partes del área de trabajo, para poder comprobar que tan exacto es el corte del molde en el mismo punto.

Figura 45

Primera prueba



Nota. En la Figura 45 se encuentra la primera prueba de troquelado realizado, la cual será la guía para realizar las pruebas de precisión del molde en cuestión.

Figura 46

Segunda prueba



Nota. En la Figura 46 se encuentra la segunda prueba de troquelado en donde se puede evidenciar el troquelado del molde en la misma posición realizada la primera vez.

Figura 47

Segunda prueba molde 1



Nota. En la Figura 47 se observa el desfase que existe entre la primera y la segunda prueba de troquelado en el molde 1, siendo este un valor de 0.02 mm.

Figura 48

Segunda prueba molde 2



Nota. En la Figura 48 se observa el desfase que existe entre la primera y la segunda prueba de troquelado en el molde 2, siendo este un valor de 0.02 mm.

Figura 49

Segunda prueba molde 3



Nota. En la Figura 49 se observa el desfase que existe entre la primera y la segunda prueba de troquelado en el molde 3, siendo este un valor de 0.03 mm.

Figura 50

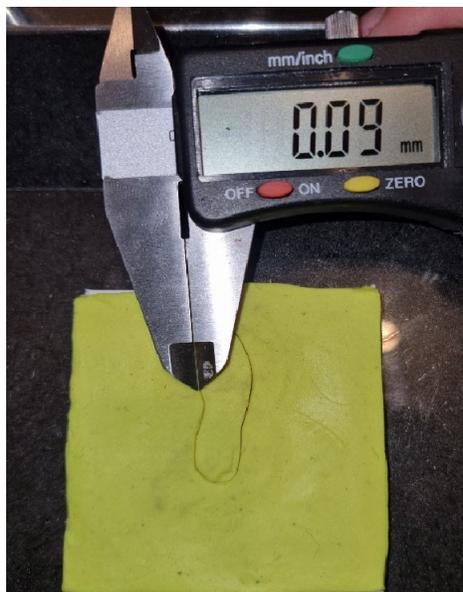
Tercera prueba



Nota. En la Figura 50 se encuentra la tercera prueba de troquelado en donde se puede evidenciar el troquelado de molde en la misma posición realizada las veces anteriores

Figura 51

Tercera prueba molde 1



Nota. En la Figura 51 se observa el desfase que existe entre la primera y la tercera prueba de troquelado en el molde 1, siendo este un valor de 0.09 mm.

Figura 52

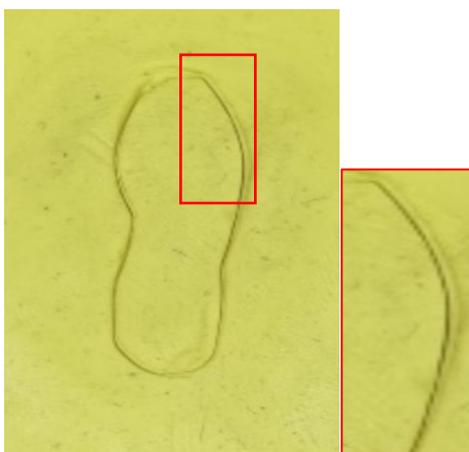
Tercera prueba molde 2



Nota. En la Figura 52 se observa el desfase que existe entre la primera y la tercera prueba de troquelado en el molde 2, siendo este un valor de 0.35 mm por lo que se evidencia un desfase considerable.

Figura 53

Tercera prueba desfase en molde 2



Nota. En la Figura 53 se observa más el desfase que existe en la tercera prueba del molde 2.

Figura 54

Tercera prueba molde 3



Nota. En la Figura 54 se observa el desfase que existe entre la primera y la tercera prueba de troquelado en el molde 3, siendo este un valor de 0.04 mm.

Figura 55

Cuarta prueba



Nota. En la Figura 55 se encuentra la tercera prueba de troquelado en donde se puede evidenciar el troquelado de molde en la misma posición realizada las veces anteriores

Figura 56

Cuarta prueba molde 1



Nota. En la Figura 56 se observa el desfase que existe entre la primera y la cuarta prueba de troquelado en el molde 1, siendo este un valor de 0.02 mm.

Figura 57

Cuarta prueba molde 2



Nota. En la Figura 57 se observa el desfase que existe entre la primera y la cuarta prueba de troquelado en el molde 2, siendo este un valor de 0.17 mm.

Figura 58

Cuarta prueba molde 3



Nota. En la Figura 58 se observa el desfase que existe entre la primera y la cuarta prueba de troquelado en el molde 3, siendo este un valor de 0.01 mm.

Figura 59

Quinta prueba



Nota. En la Figura 59 se encuentra la tercera prueba de troquelado en donde se puede evidenciar el troquelado de molde en la misma posición realizada las veces anteriores

Figura 60

Quinta prueba molde 1



Nota. En la Figura 60 se observa el desfase que existe entre la primera y la quinta prueba de troquelado en el molde 1, siendo este un valor de 0.01 mm.

Figura 61

Quinta prueba molde 2



Nota. En la Figura 61 se observa el desfase que existe entre la primera y la quinta prueba de troquelado en el molde 2, siendo este un valor de 0.02 mm.

Figura 62*Quinta prueba molde 3*

Nota. En la Figura 62 se observa el desfase que existe entre la primera y la quinta prueba de troquelado en el molde 3, siendo este un valor de 0.05 mm.

Pruebas de precisión de troquelado

En esta etapa se lleva a cabo la toma de datos de la primera prueba realizada en donde se registran las mediciones obtenidas del desfase que puede existir al momento de troquelar el molde en la misma posición. Por lo que los datos recopilados son presentados y organizados a continuación para su posterior análisis.

Tabla 24*Prueba de precisión del molde 1*

Molde 1	
Número de prueba	Desface (mm)
1	0.00
2	0.02
3	0.09
4	0.02
5	0.01

Tabla 25*Prueba de precisión del molde 2*

Molde 2	
Número de prueba	Desface (mm)
1	0.00
2	0.02
3	0.35
4	0.17

Número de prueba	Desface (mm)
5	0.02

Tabla 26

Prueba de precisión del molde 3

Molde 3	
Número de prueba	Desface (mm)
1	0.00
2	0.03
3	0.04
4	0.01
5	0.05

Nota. En las Tablas de la 24 a la 26 se puede observar el desface medido con respecto a la primera prueba con lo que se puede obtener cuán lejos se realiza el troquelado luego de efectuarse por primera vez siendo el valor más alto de 0.35 mm encontrado en la tercera prueba del molde 2.

Pruebas de corte de material

En esta etapa se lleva a cabo pruebas para observar el corte que es realizado mediante el sistema de troquelado con el objetivo de revisar si el material se corta en su totalidad o de forma parcial.

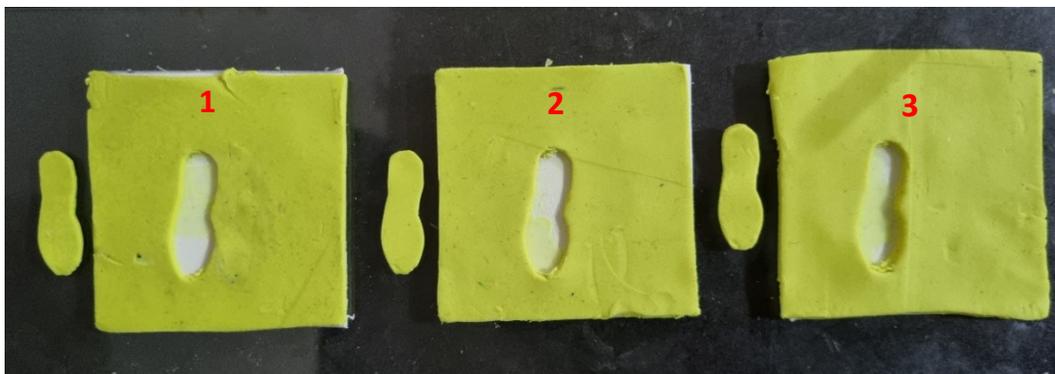
Figura 63*Primera prueba***Figura 64***Segunda prueba*

Figura 65*Tercera prueba***Figura 66***Cuarta prueba*

Nota. En las Figuras de la 63 a 66 se observa el corte del molde realizado en las tres posiciones preestablecidas en donde se evidencia el resultado.

En esta etapa se lleva a cabo las pruebas de corte al momento de troquelar el molde en cada posición. Por lo que los datos recopilados son presentados y organizados a continuación para su posterior análisis.

Tabla 27*Prueba de corte del molde 1*

Molde 1		
Número de prueba	Corte de molde	Falla en el corte
1	Si	No
2	Si	Si
3	Si	No
4	Si	No

Nota. En la Tabla 27 se puede observar los resultados de las pruebas del molde 1 en donde se puede evidenciar que el molde en su segunda prueba tiene una falla al momento de cortar, sin embargo, en todas las pruebas se cortó el molde.

Tabla 28*Prueba de corte del molde 2*

Molde 2		
Número de prueba	Corte de molde	Falla en el corte
1	Si	Si
2	Si	No
3	Si	No

Número de prueba	Corte de molde	Falla en el corte
4	Si	No

Nota. En la Tabla 28 se puede observar los resultados de las pruebas del molde 2 en donde se puede evidenciar que el molde en su primera prueba tiene una falla al momento de cortar, sin embargo, en todas las pruebas se cortó el molde.

Tabla 29

Prueba de corte del molde 3

Molde 3		
Número de prueba	Corte de molde	Falla en el corte
1	Si	No
2	Si	No
3	Si	No
4	Si	No

Nota. En la Tabla 29 se puede observar los resultados de las pruebas del molde 3 en donde se puede evidenciar que el molde se ha cortado de forma correcta y por ende no tiene ninguna falla.

Pruebas de tiempo

En esta etapa se llevó a cabo pruebas para observar el tiempo que se demora el sistema de troquelado al realizarlo de forma automatizada.

Tabla 30*Pruebas de toma de tiempo*

Toma de tiempo	
Número de prueba	Tiempo de recorrido (seg)
1	10.01
2	10.16
3	9.91
4	10.09
5	10.13
6	9.92
7	10.20
8	10.08
9	9.94
10	10.06

Nota. En la Tabla 30 se puede observar los resultados de las pruebas del tiempo que se demora en realizar un recorrido en modo automático, partiendo de izquierda a derecha.

Análisis de resultados

Una vez realizadas pruebas y obtenidos valores necesarios para un estudio más detallado, se utiliza herramientas y técnicas de análisis estadístico para evaluar el funcionamiento correcto del prototipo, así como el tiempo en el cual se desenvuelve sistema de troquelado. Además, se comparan datos obtenidos con la finalidad de determinar la factibilidad del sistema.

Para analizar los datos obtenidos y determinar la validez del proyecto, se realizó un exhaustivo análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de funcionamiento como es un análisis de repetibilidad y troquelado del molde en cuestión. Siendo estos tomados como información útil acerca del rendimiento del proceso, destacar áreas de éxito y realizar mejoras a futuro.

Por medio de la prueba de repetibilidad se puedo evidenciar que el al colocar tres posiciones para el corte del molde, si se desea realizar el troquelado en la misma posición luego de realizarlo por primera vez, se tiene un desplazamiento mínimo, siendo este para el molde 1 de 0.09 mm, para el molde 2 de 0.35 mm y para el molde 3 de 0.05 mm.

Para el molde 1 y 3 el desplazamiento que existe al momento de repetir el troquelado en la misma posición activando el modo automático es mínimo por lo que se puede tomar estos datos como un comportamiento correcto por parte del prototipo.

Por otro lado, para el molde 2 se presentó un desface de 0.35 mm en la tercera prueba y de 0.17 mm en la cuarta prueba, por lo que se indica un posible problema, pero a su vez se evidencia que se empieza a corregir, ya que para la quinta prueba se vuelve a evidenciar un desface de 0.02 mm, por ende, el error no se presenta con frecuencia.

En cuanto se refiere a pruebas de corte de molde, se puedo evidenciar que el corte si se realizó al momento de realizar el troquelado, sin embargo, se presentaron pequeñas fallas, por

ejemplo, en el molde 1 al momento de realizar la segunda prueba se observa que tuvo una pequeña falla al no cortar en su totalidad el molde, pero en las siguientes pruebas no hubo ningún inconveniente y corte del molde fue correcto.

Para el molde 2 se presenta una falla en la primera prueba y al igual que el molde 1 tuvo una pequeña falla en la cual no se cortó de forma correcta, sin embargo, en las siguientes pruebas no tuvo ningún inconveniente por lo que las siguientes pruebas fueron realizadas de forma correcta.

Con el molde 3 se tuvo un correcto funcionamiento del sistema de troquelado, ya que todas las veces se cortó fue de forma correcta, sin presentar inconvenientes con la forma del molde como en los dos casos anteriores.

En cuanto a la implementación de un proceso automatizado que puede ofrecer algunos beneficios con respecto al modo manual en cuanto a mejoras en la producción, reducción de errores, costos operativos, entre otros. Se analiza el tiempo que se demora este sistema en su modo automático.

Tiempo de recorrido automático

Se produce a realizar el promedio de los tiempos de recorrido mediante la siguiente ecuación

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{N}$$

Donde:

N es el número de muestras

X es el valor de cada muestra

\bar{x} es el promedio del tiempo

Reemplazando los valores de tiempo en la ecuación se obtiene el promedio del tiempo.

$$\bar{x} = \frac{10.01 + 10.16 + 9.91 + 10.09 + 10.13 + 9.92 + 10.20 + 10.08 + \dots (seg)}{10}$$

$$\bar{x} = 10.05 \text{ seg}$$

Para poder comprobar la reducción de tiempo en proceso de troquelado, se utiliza el método de T-Student, la cual es una herramienta estadística que permite evaluar si hay una diferencia significativa entre el troquelado de moldes de forma manual con respecto al modo automático, teniendo así un planteamiento de una hipótesis nula y una hipótesis alternativa de la siguiente manera:

- **H0:** El diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático permitirá reducir el tiempo de corte de moldes en arcilla artificial para modelar, utilizados en la creación de souvenirs de resina

$$H_0 = \mu < 12s$$

- **Ha:** El diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático no permitirá reducir el tiempo de corte de moldes en arcilla artificial para modelar, utilizados en la creación de souvenirs de resina

$$H_a = \mu \geq 12s$$

Para la comprobación de la hipótesis se debe calcular el promedio de tiempos, varianza y desviación estándar, por lo cual los datos a utilizarse se presentan a continuación:

Tabla 31*Datos para uso del método T-Student*

x_i	\bar{x}	$(x_i - \bar{x})$	$(x_i - \bar{x})^2$
10.01	10.05	-0.04	0.0016
10.16	10.05	0.11	0.0121
9.91	10.05	-0.14	0.0196
10.09	10.05	0.04	0.0016
10.13	10.05	0.08	0.0064
9.92	10.05	-0.13	0.0169
10.20	10.05	0.15	0.0225
10.08	10.05	0.03	0.0009
9.94	10.05	-0.11	0.0121
10.06	10.05	0.01	0.0001

Nota. En la Tabla 31 se puede observar número de elementos representado por x , el promedio por \bar{x} .

Se realiza la sumatoria de $(x_i - \bar{x})^2$:

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 0.0938$$

Se calcula la varianza:

$$S^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$S^2 = \frac{0.0938}{10 - 1} = 0.0104$$

Cálculo de la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S = \sqrt{\frac{0.0938}{10 - 1}} = 0.0121$$

Se calcula los grados de libertad para obtener t_{α} , por lo tanto, los grados de libertad se calcula de la siguiente manera:

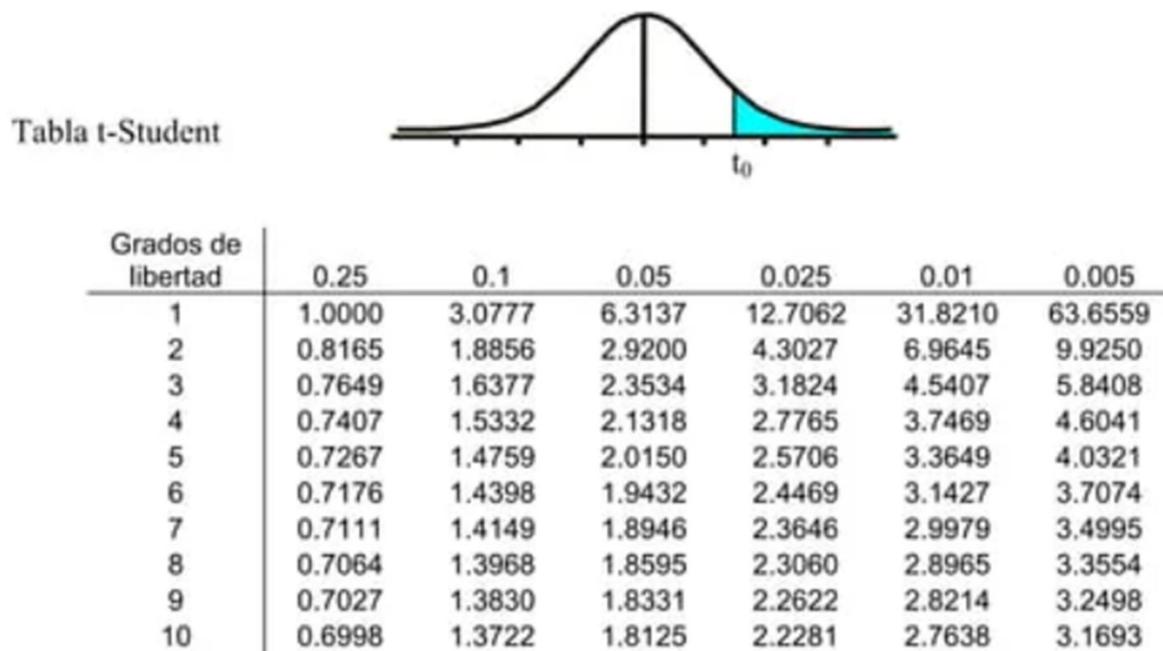
$$gl = n - 1 = 9$$

Para los datos de la Tabla 32 se empleará un nivel de confianza del 90% y un nivel de significancia del 10% por ende se tendrá que:

- $N_c = 90\%$
- $N_s = 10\%$

Figura 67

Tabla T-Student



Nota. En la Figura 67 se da a conocer los puntos de corte para obtener el valor a usarse.

Tomado de Estadística para administración y economía. (Newbold, Carlson, & Thorne, 2008)

Al tener una significancia del 10% y de acuerdo con la tabla t-Student, se tienen que:

$$t_{\alpha} = 1.3830$$

Por lo que aplicando la respectiva formula se tiene que

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{S/\sqrt{n}}$$

Donde:

μ = Valor objetivo

S = Desviación estándar

n = Tamaño de muestra

$$T = \frac{10.05 - 12}{\frac{0.0121}{\sqrt{9}}}$$

$$T = -483.47$$

El método t-Student indica que se debe cumplir la siguiente condición:

$$T < t_{\alpha}$$

$$-483.47 < 1.638$$

Al cumplir la condición ya establecida por parte del método T-Student, se toma la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa, por lo que se cumple que el diseño, construcción e implementación de un sistema de troquelado automático permitirá reducir el tiempo de corte de moldes en arcilla artificial para modelar, utilizados en la creación de souvenirs de resina.

Una vez validada la hipótesis se desarrolla el producto final que es la fabricación de figuras a base de resina utilizando los moldes troquelados, como se puede observar en la Figura 68.

Figura 68

Resultado final



Nota. En la Figura 68 se puede observar el resultado final, comenzando desde la izquierda con la colocación de la resina en el molde troquelado, hacia la derecha culminando con el resultado final.

Este proceso ofrece oportunidades emocionantes para la creatividad y la expresión artística, pero también requiere atención a detalles, precauciones de seguridad y práctica para lograr resultados satisfactorios. Además de explorar nuevas técnicas y aprender de la experiencia puede ser parte integral del proceso.

Trabajar con este tipo de material requiere de práctica y aprendizaje, sin embargo se puede entregar originalidad en el producto por lo que al tener la facilidad de troquelar cualquier forma, se le ayuda al artesano a que pueda realizar una mayor cantidad de modelos sin necesidad de que lo tenga que hacer de forma manual, evitando el cansancio que se puede generar al presionar de forma manual en largo periodo de tiempo.

Luego de validar la hipótesis presentada para el prototipo diseñado, se procede a realizar una estimación en el tiempo que se demoraría un operador en realizar el troquelado en una troqueladora industrial de tipo puente, contra el tiempo que pudo haber sido de haberse automatizado la máquina en cuestión.

Para calcular esto, se estima que el tiempo que se demora un operador en realizar el proceso de troquelado es de aproximadamente 2 minutos en un área de trabajo de 90 cm, el cual también es el recorrido que va a realizar el troquel de izquierda a derecha.

Por lo tanto, la relación de recorrido que existe entre el prototipo y la troqueladora que pudo haber sido automatizada es de:

$$90:30$$

Simplificando se tiene:

$$1:0.33$$

El valor estimado se da mediante el tiempo actual multiplicado por la relación, para obtener de manera aproximada el tiempo que se tardaría en tamaño real.

$$Tiempo\ estimado = \frac{1}{0.33} \times 10.05\ seg$$

$$Tiempo\ estimado \cong 30.15\ seg$$

$$Tiempo\ estimado \cong 31\ seg$$

Se redondea aproximadamente a 31 segundos para una troqueladora lineal de tipo puente con un área de recorrido de 90 cm, basándose en las reglas de proporción, siendo una estimación dado que pueden varias las condiciones y el comportamiento del sistema en diferente dimensionamiento. Sin embargo, estos resultados indican que se pudo haber optimizado el tiempo de producción ya que se tiene una reducción de tiempo considerable en un modo automático, además de un nivel óptimo de precisión y corte.

Análisis de costos

Este análisis implica una examinación de todos los costos involucrados en el desarrollo del sistema de troquelado, desde los costos directos de materiales y mano de obra hasta los costos indirectos.

Costo directo

El costo directo se encuentra relacionado netamente con la actividad de producción y son fácilmente identificables, alguno de los ejemplos de costos directos es: materiales utilizados en la producción del producto, mano de obra directa, costo de fabricación.

Tabla 32*Costos de insumos neumáticos*

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Cilindro ISO D16 mm C50 mm	Unidad	1	77.62	77.62
Electroválvula 5/2 - 1/4", monoestable, 110 VAC	Unidad	1	165.37	165.37
Racor recto 1/4" X 4mm	Unidad	3	4.60	13.80
Silenciador de bronce plano 1/8"	Unidad	2	4.92	9.84
Tubo poliuretano 4X2.25 mm AZUL	Metro	5	2.00	10.00
Mini compresor de aire porte 300W 3.2bar/46psi	Unidad	1	80.00	80.00
Total				356.63

Nota. En la Tabla 32 muestra los materiales con su respectiva cantidad y el costo unitario, a su vez se ha asignado un costo total.

Tabla 33*Costos directos de insumos eléctricos*

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Arduino Nano	Unidad	1	12.00	12.00
Motor NEMA 17 42HSDC 302	Unidad	1	12.00	12.00
Fuente de poder 12V 2A	Unidad	1	7.00	7.00
Modulo relé de dos canales	Unidad	1	3.00	3.00
Placa fenólica de cobre 10 X 10 cm	Unidad	1	1.50	1.50
Pulsador plástico hongo giro/retención roja NC	Unidad	1	2.50	2.50
Luz piloto led verde 24V AC/DC	Unidad	1	1.50	1.50
Controlador A4988	Unidad	1	2.90	2.90
Modulo Bluetooth Hc-05 Para	Unidad	1	6.27	6.27
Módulo final de carrera	Unidad	2	3.50	7.00
Espadin Hembra Pcb Header Socket 20p	Unidad	1	1.00	1.00

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Espadin Macho Pcb Header Socket 20p	Unidad	1	1.20	1.20
Alambre sólido de cobre 1mm	Metro	1	0.50	0.50
TOTAL				58.37

Nota. En la Tabla 33 muestra los materiales eléctricos con su respectiva cantidad y el costo unitario, a su vez se ha asignado un costo total.

Tabla 34

Costos en insumos de impresión 3D, corte Láser y accesorios

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Impresión de acoples	Unidad	3	2	6.00
Corte de recubrimientos	Unidad	1	15.00	15.00
TOTAL				21.00

Tabla 35

Costo asociado a la construcción total de la estructura mecánica

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Construcción de la estructura mecánica	Unidad	1	75.00	75.00
En acero				
Barillas de acero inoxidable	Unidad	1	30.00	30.00
Tornillo sin fin 10mm 4entradas +tuerca+camis 300mm	Unidad	1	26.95	26.95
TOTAL				131.95

Tabla 36

Accesorios para el proyecto

Materiales	Medida	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Troquel	Unidad	3	2	6.00
Arcilla sintética moldeable	Unidad	3	1.25	3.75
TOTAL				9.75

Nota. En las Tablas de la 34 a la 36 muestra los accesorios con su respectiva cantidad y el costo unitario, a su vez se ha asignado un costo total, hay que tomar en cuenta que estos son fundamentales para el proceso de manufactura.

Costos indirectos

Como su nombre lo dice estos costos son gastos relacionados al proceso productivo, pero no están directamente asociados; es decir son aquellos que se pueden atribuir directamente a un producto específico, pero no son necesarios para el funcionamiento general en la ejecución del proyecto.

Tabla 37

Transporte y manufactura del proyecto

Descripción	Actividad	Costo
Transporte	Movilización	50.00
Manufactura implicada (soldadura, pintura y corte)	Mano de obra	50.00
TOTAL		100.00

Nota. En las Tabla 37 se observa el gasto en transporte y manufactura del proyecto.

Costo total

Una vez desarrollado el apartado de costos tanto directos como indirectos desde la parte de diseño del prototipo hasta su implementación total de la máquina, los costos totales se los procede a observar en la Tabla 38, en base a este costo se toma un estimado para el precio de la venta del producto.

Tabla 38*Costo total del proyecto*

Costos	Costo
Costos directos	576.75
Costos indirectos	100.00
TOTAL	676.75

Nota. En la Tabla 38 se puede observar el costo total del prototipo.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se diseñó, construyó e implementó un sistema de troquelado automático para la realización de moldes aplicado a la fabricación de figuras con base en resina mediante compresión neumática aplicando conocimientos de las áreas de la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y programación, logrando una convergencia para brindar soluciones prácticas e innovadoras.
- El diseño mecánico utilizado para el sistema de troquelado automático para moldes ha demostrado ser práctico, presentando un sistema de transmisión de movimiento estable, logrando así, tiempos de trabajo cortos de 10.05 segundos en el trayecto de un extremo a otro, lo que se tiene como resultado un tiempo menor a los 12 segundos que se demoraría una persona en realizar la acción de troquelado de moldes.
- El diseño de la estructura del sistema automático de troquelado y el sistema de transmisión de movimiento basado en un sistema cartesiano de las impresoras 3D en la actualidad, el cual parte del uso de ejes de acero inoxidable AISI 304 y a su vez, una estructura en el mismo material de los ejes permite garantizar la estabilidad, resistencia y durabilidad de la estructura
- El sistema de troquelado automático para moldes ha demostrado ser eficiente y la precisión que tiene es elevada, esto gracias a las pruebas realizadas en donde la máxima desviación al momento de cortar el molde es de 0.35 mm y la mínima es de 0.01 mm. Lo que demuestra que existe un porcentaje alto de acierto al momento de realizar el corte en el mismo punto varias veces.
- La integración de un interfaz fácil de usar para la correcta operación de la máquina troqueladora asegura que el operador pueda interactuar de manera efectiva con el

sistema automatizado, reducir la intervención de forma mínima, con lo cual se puede reducir errores y realizar moldes con mayor facilidad, contribuyendo a la eficiencia y seguridad del operador y la industria.

- Un análisis de resultados en base a diferentes pruebas y de costos ha ayudado a determinar que la inversión que se pudo haber realizado sería viable desde el punto de vista económico de la empresa, ya que se optimiza recursos que hacen que sea rentable.

Recomendaciones

- Mantener un enfoque de mejora continua en el rediseño de la máquina, buscar constantemente oportunidades para optimizar recursos y tiempos de trabajo. La adaptabilidad y evolución del diseño son claves para asegurar que el sistema vaya a la par con las últimas tecnologías.
- Proporcionar capacitación adecuada para el operador, además de establecer un sistema de soporte técnico eficiente para abordar cualquier inconveniente que pueda surgir durante la operación, generando con esto seguridad en el operador ante el uso del sistema de troquelado automático.
- Implementar un monitoreo y seguimiento del rendimiento de la máquina para tener siempre registros que ayuden a realizar un mantenimiento predictivo y evitar posibles problemas que se puedan presentar en su funcionamiento y vida útil.
- Mantener actualizada la interfaz según las necesidades que se puedan ir presentado, pues esto ayuda a mantener altos niveles de eficiencia y seguridad para operador y la empresa.
- Investigar más a fondo partiendo de este proyecto de titulación como una referencia para trabajos futuros.

Bibliografía

- AGC. (2012). *Automatizados Industriales GC*. Obtenido de Máquinas para calzado en Colombia: <https://automatizadosindustr.wixsite.com/automatizadosindustr>
- Aprendiendo Arduino. (24 de Marzo de 2015). *Aprendiendo a manejar Arduino en profundidad*. Obtenido de HW Arduino a Fondo: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/esquemas-electricos/>
- Arduino. (14 de Enero de 2019). *Arduino UNO*. Obtenido de <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Arduino, Genuino. (2 de Marzo de 2016). *Descubrearduino.com*. Obtenido de Arduino Nano, qué es, Pinout y características: <https://descubrearduino.com/arduino-nano-pinout/>
- AREATECNOLOGIA. (2017). *Electricidad*. Obtenido de Contactor: <https://www.areatecnologia.com/electricidad/contactor.html>
- ASHM. (27 de Agosto de 2014). *Aceros y Sistemas Hidráulicos de México*. Obtenido de ¿Qué son las Bombas Hidráulicas?: <https://www.ashm.mx/blog/que-son-las-bombas-hidraulicas/>
- AUTYCOM. (2009). *AUTYCOM Innovación Inteligente*. Obtenido de ¿Qué es un sistema HMI?: <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-hmi/>
- Cruz, J. (2016). *Estudio del proceso de troquelado y su influencia en la producción de calzado en la provincia de Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Diseño Mecánico. Obtenido de Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Maestría en Diseño Mecánico: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24790>

CUID . (08 de Mayo de 2020). *NEMA17-13-04PD-AMT112S*. Obtenido de <https://www.cuidevices.com/>

Diarioelectronicohoy. (2023). *Diario Electronico hoy*. Obtenido de Esquema Controlador A4988: <https://www.diarioelectronicohoy.com/blog/imagenes/2020/07/esquematico-del-a4988.jpg>

ENGINEERING THE WORLD FROM PARAGUAY. (31 de Enero de 2011). Obtenido de Concepto PLC (Controlador Lógico Programable): <https://ramaucsa.wordpress.com/2011/01/31/concepto-plc-controlador-logico-programable/>

GRH. (2015). Obtenido de Motor hidráulico de engranajes: <http://product-hydraulic.com.ar/2-hydraulic-gear-motor.html>

Grupo Novelec. (21 de Septiembre de 2023). *Novelec*. Obtenido de Finales de carrera: Qué son y características principales: <https://blog.gruponovelec.com/blog/finales-de-carrera-que-son-y-caracteristicas-principales/>

Industry Surfer. (2023). *Blog Industrial*. Obtenido de Funcionamiento motores paso a paso:: <https://industrysurfer.com/blog-industrial/como-funcionan-los-motores-paso-a-paso-la-guia-definitiva-2022/>

Ingeniería Mecafenix. (26 de Mayo de 2021). *Ingeniería Mecafenix La enciclopedia de la Ingeniería* . Obtenido de Que es un final de carrera y para que sirve: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/final-de-carrera/>

IONOS. (16 de Septiembre de 2021). *Digital Guide IONOS*. Obtenido de QFD: ¿qué significa Quality Function Deployment?: <https://www.ionos.es/digitalguide/online-marketing/analisis-web/qfd-quality-function-deployment/>

ISSFA. (2018). *ISSFA Servir, Proteger, Innovar*. Obtenido de FAME:

<https://www.issfa.mil.ec/conozcanos/empresas/paquete-accionarial-mayoritario/fame.html>

Laboratorio de Ingeniería Industrial. (2011). *Manual de mantenimiento preventivo de los equipos instalados*. Xalapa: Instituto Tecnológico Superior de XALAPA.

Mena, P. (2015). *Diseño y simulación de una troqueladora semiautomática para corte de cuero de res de una capacidad de cinco toneladas*. Quito.

Montenegro, A. (2015). *Las pequeñas industrias del calzado de Tungurahua y el cambio de la matriz productiva*. Ambato: PUCESA Departamento de investigación y postgrados.

Newbold, P., Carlson, W. L., & Thorne, B. M. (2008). *Estadística para Administración y Economía*. Madrid: Prentice Hall,.

Plan V. (27 de Febrero de 2023). *Plan V hacemos periodismo*. Obtenido de EL CALZADO NACIONAL Y LA DIFÍCIL COMPETENCIA CON LOS BAJOS COSTOS DE PRODUCCIÓN EXTRANJEROS: <https://www.planv.com.ec/historias/economia/el-calzado-nacional-y-la-dificil-competencia-con-bajos-costos-produccion>

Rechner . (2006). *Rechner Sensors*. Obtenido de Sensor inductivo: Detección sin contacto de objetos de metal que se aproximan: https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/sensor-inductivo#C%C3%B3mo_funciona_un_sensor_inductivo

Rechner. (2006). *Rechner Sensors*. Obtenido de Sensor capacitivo: Controles de presencia y mediciones de distancia en espacios reducidos: Sensor capacitivo: Controles de presencia y mediciones de distancia en espacios reducidos

SDI. (2022). *SDI Industrial*. Obtenido de ¿Qué es un PLC, cómo funciona y cuáles son sus ventajas?: <https://sdindustrial.com.mx/blog/que-es-un-plc/>

SEAS . (02 de Enero de 2013). *BlogSEAS*. Obtenido de Sensores inductivos:

<https://www.seas.es/blog/automatizacion/sensores-inductivos/>

Shoptronica. (2022). *Interruptores de Final de Carrera* . Obtenido de

<https://www.shoptronica.com/interruptores-palanca-y-dip-switch/2269-interruptores-de-final-de-carrera-16a-8944748428226.html>

TECOM. (2015). *TECOM MAQUINARIA S.L.U.* Obtenido de TROQUELADORA DE CABEZAL DESPLAZABLE.

Ullman, D. (2010). *The Mechanical Design Process*. New York: The McGraw-Hill Companies.

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos*. México, D.F.: MCGRAW-HILL.

Anexos