



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**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.**

AUTORES:

**MARROQUÍN QUILUMBANGO, FRANCISCO DAVID
PICO GORDÓN, LUCÍA JACQUELINE**

DIRECTOR: ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO

Latacunga, 2024



1. Identificación de necesidades
2. Planteamiento del problema
3. Objetivos
4. Hipótesis
5. Diseño CAD
6. Análisis de la estructura
7. Construcción
8. Pruebas y resultados
9. Validación de la hipótesis
10. Conclusiones
11. Recomendaciones

IDENTIFICACIÓN DE NECESIDADES



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

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

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

- 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, para con ello obtener una alta producción, reduciendo tiempo, minimizando costos y brindando seguridad al operador.

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

- 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.

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 de investigación

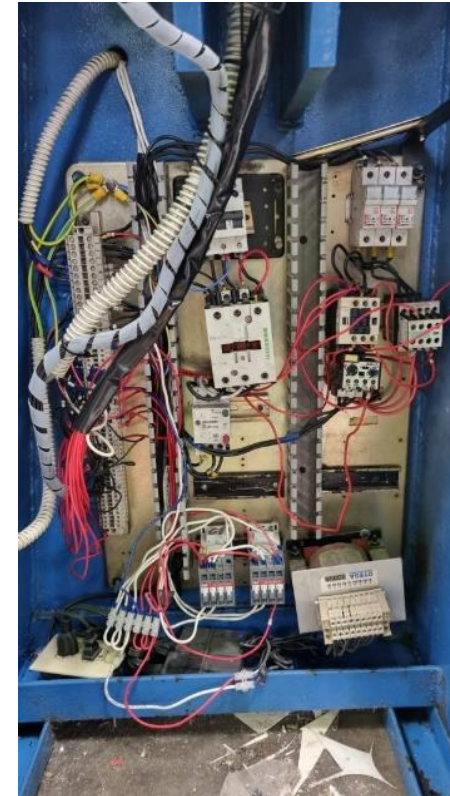
Variable Independiente

Sistema de troquelado automático.

Variable Dependiente

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

Estado de la máquina



Alternativas de automatización

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	



Sistemas de accionamientos

Sistemas de accionamiento							
Factor	Peso	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	



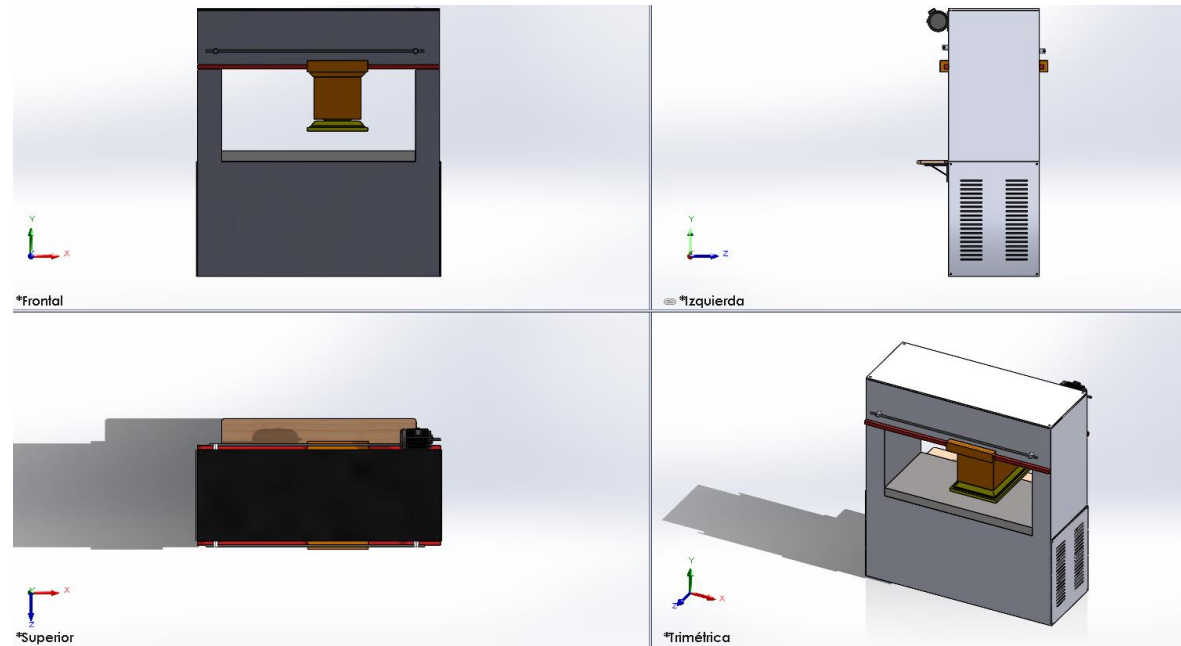
Método de troquelado

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	

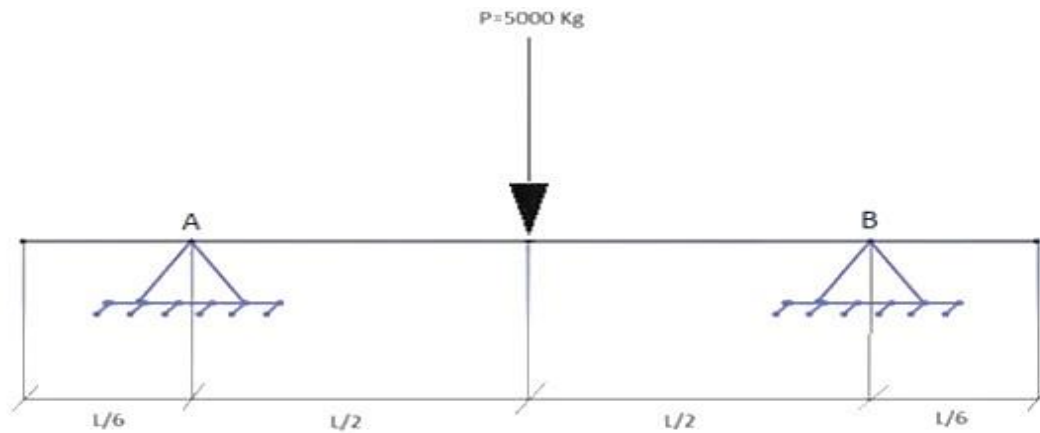
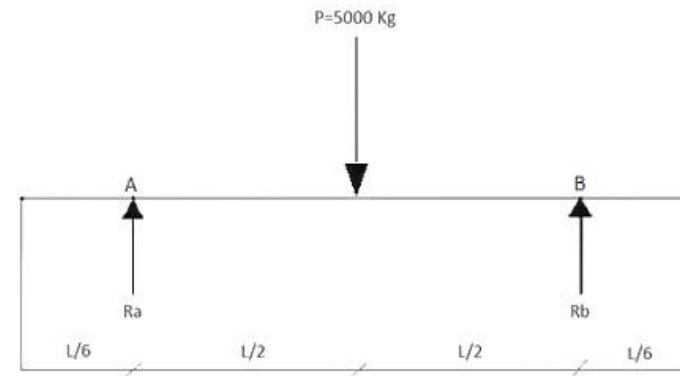
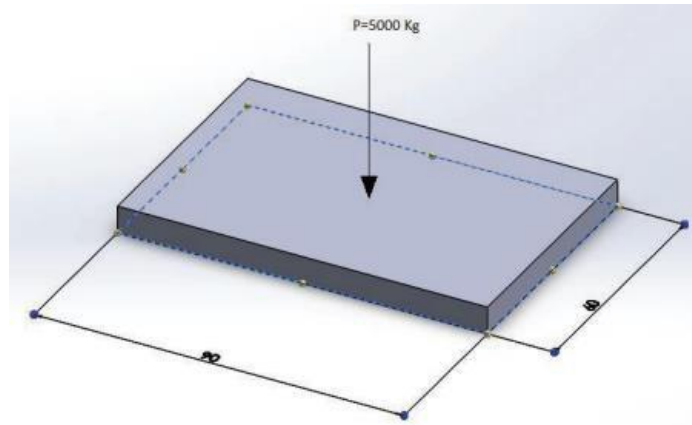


Para obtener un diseño óptimo acorde a las necesidades del cliente se ha tenido que realizar cambios y modificaciones, es por ello por lo que se ha realizado el siguiente diseño

Primer Diseño



Análisis de la mesa de trabajo



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



Parámetros hidráulicos

Cálculo del diámetro del cilindro

Dónde:

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

F= Fuerza de sistema de troquelado 5000 kg

A= Área pistón

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

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

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

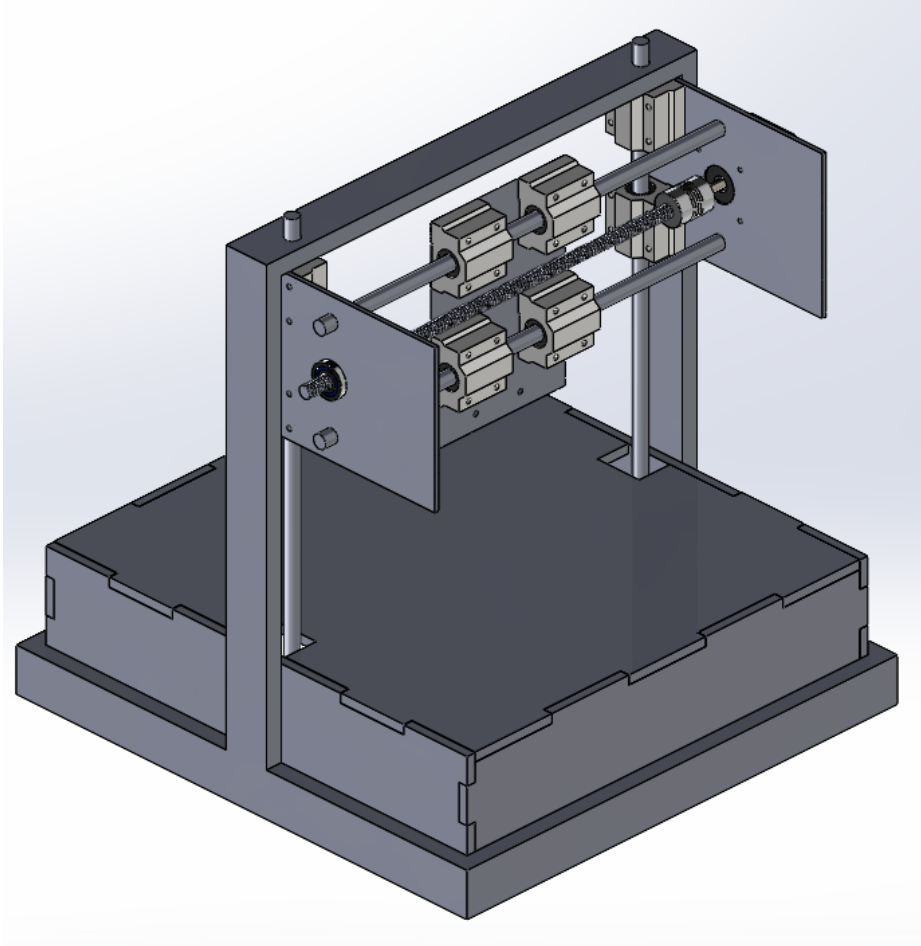
Se obtiene el radio del cilindro:

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

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



Rediseño para prototipo



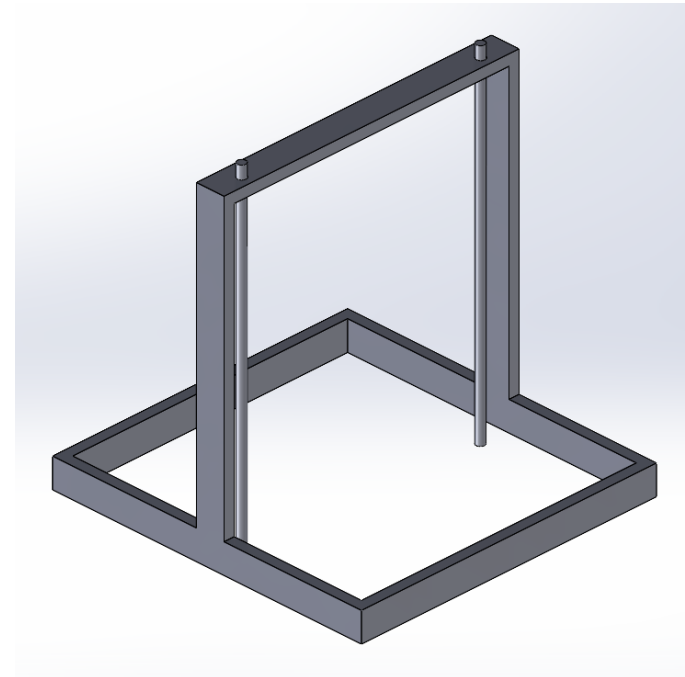
Redimensionamiento de la estructura

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	



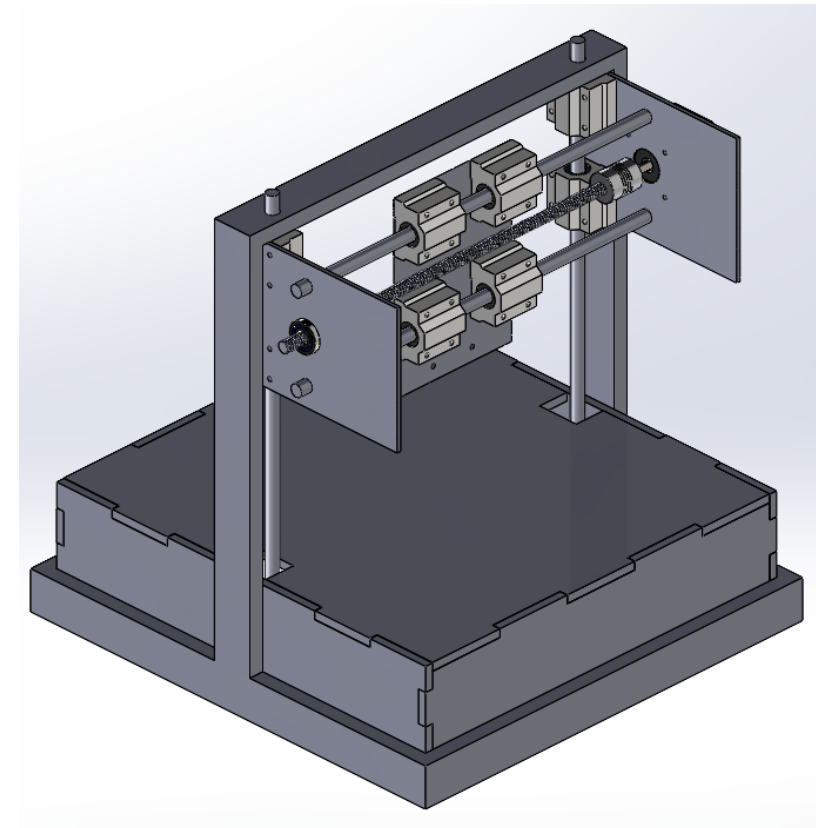
Rediseño de la estructura

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
Total	1	8.6		8.8		7.8		7.8	
Aprobación		NO		SI		NO		NO	



Movimiento rotacional y sistema de transmisión

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	



Selección del pistón

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	



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	

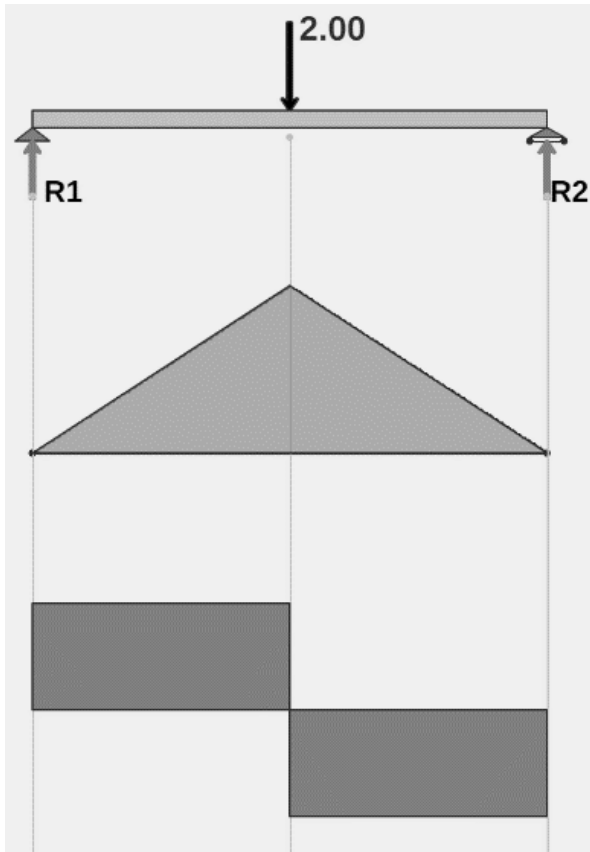


Selección del controlador del prototipo

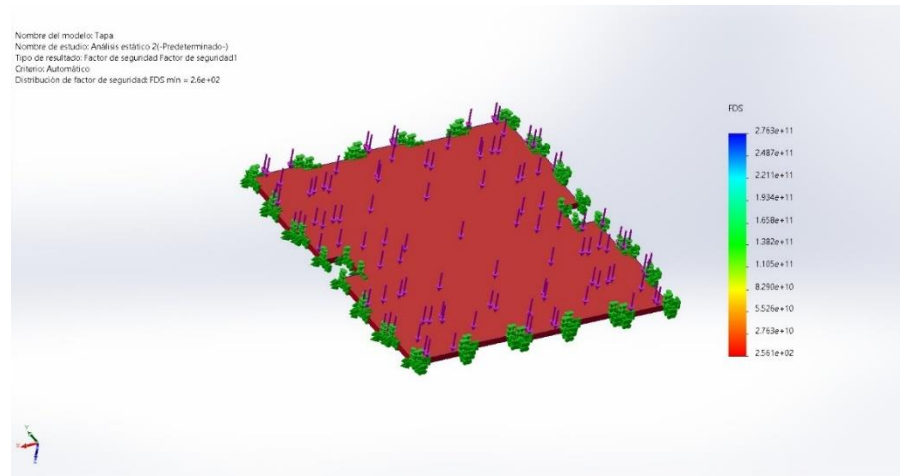
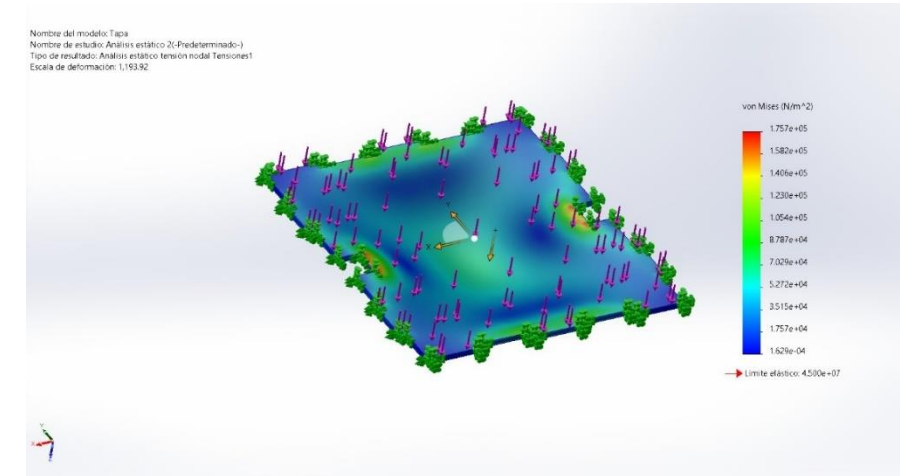
Factor	Peso	Controlador							
		Arduino Nano		Arduino Mega		Raspberry Pi 4 Model B		ESP32	
		Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.	Calif.	Pond.
Es de bajo costo	0,2	9	1.8	7	1.4	5	1.0	7	1.4
Facilidad de uso	0,2	9	1.8	9	1.8	6	1.2	8	1.6
Disponibilidad en el mercado	0,2	9	1.8	9	1.8	6	1.2	7	1.4
Compatibilidad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



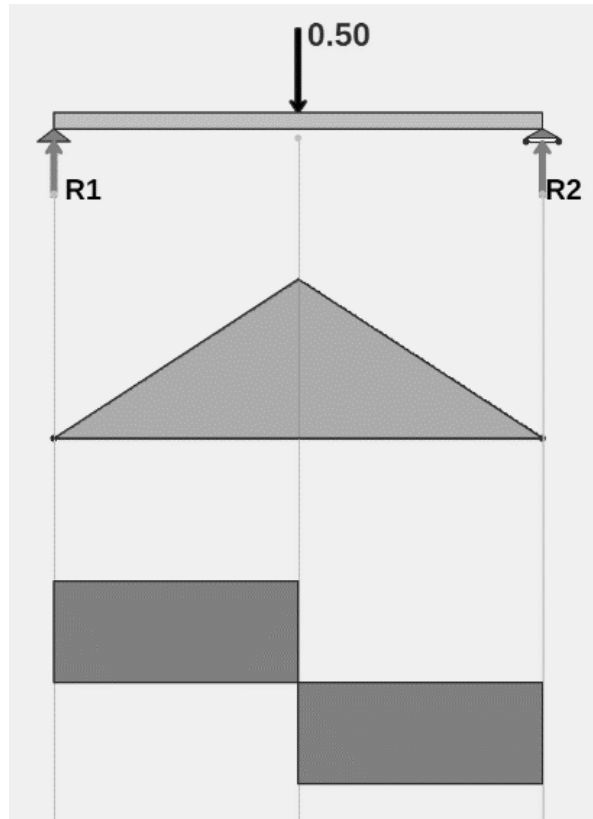
Análisis de la mesa de trabajo



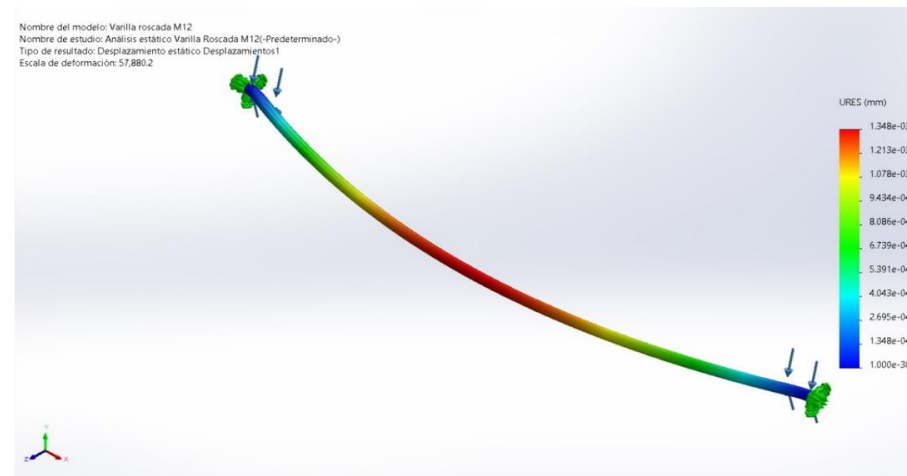
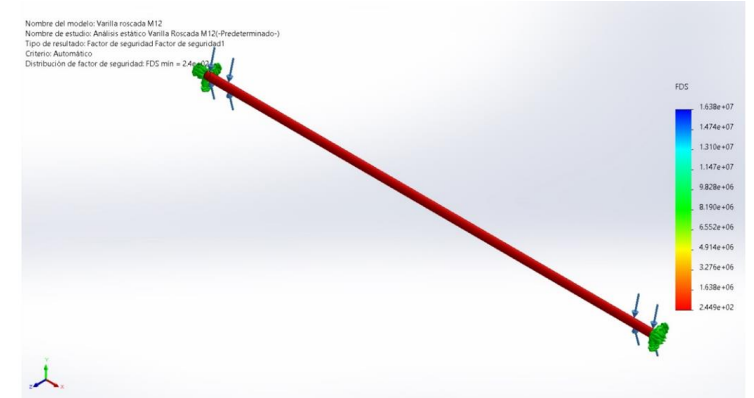
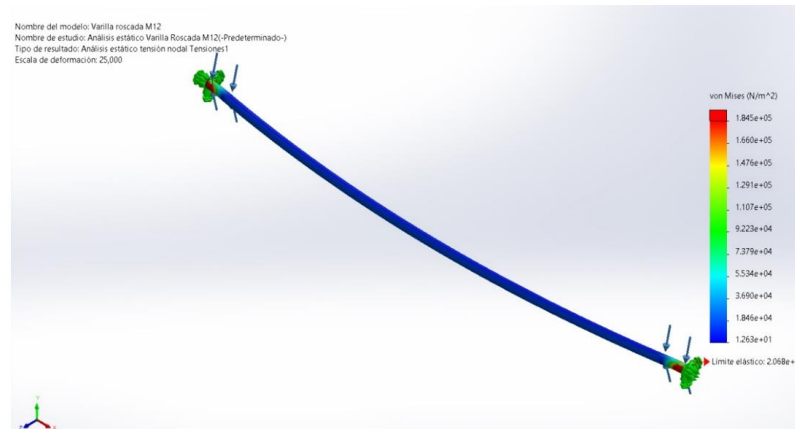
$$R_1 = R_2 = 1 \text{ kg}$$

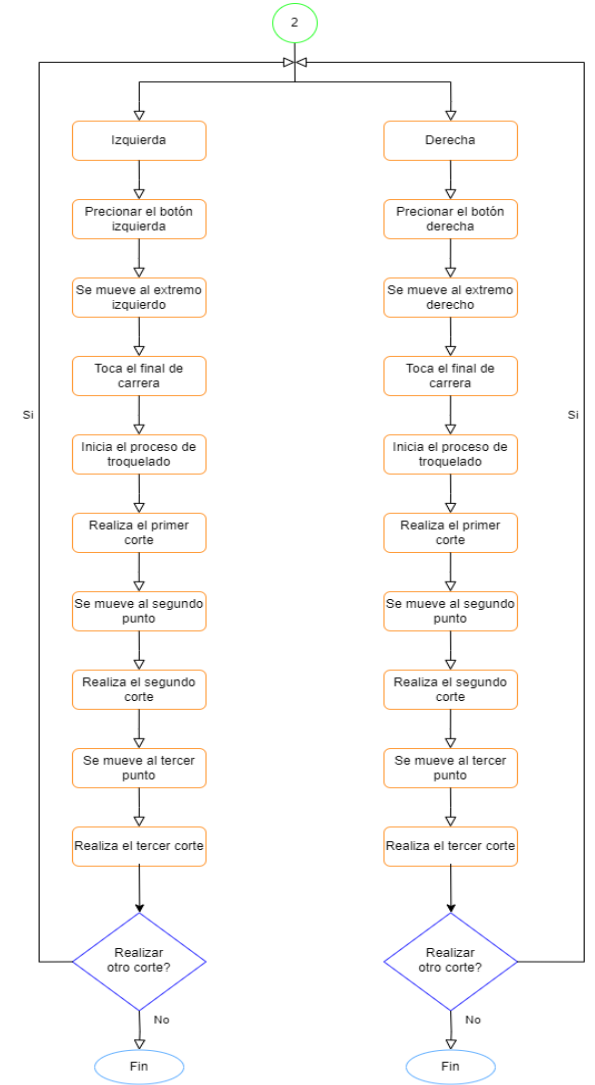
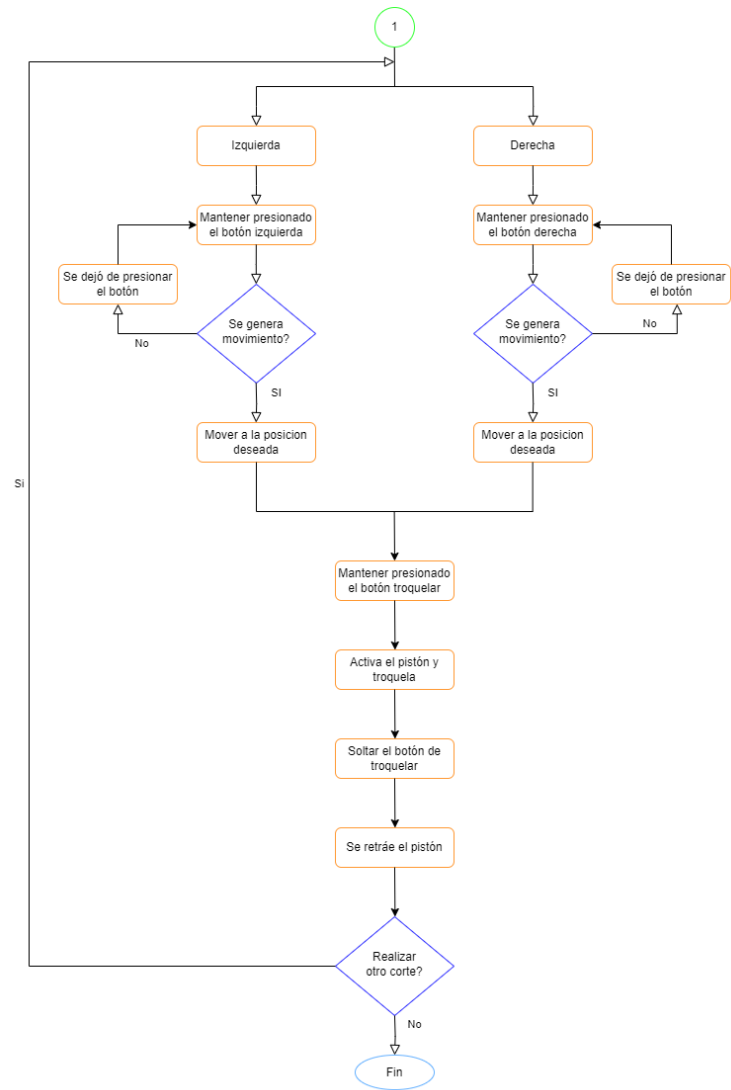
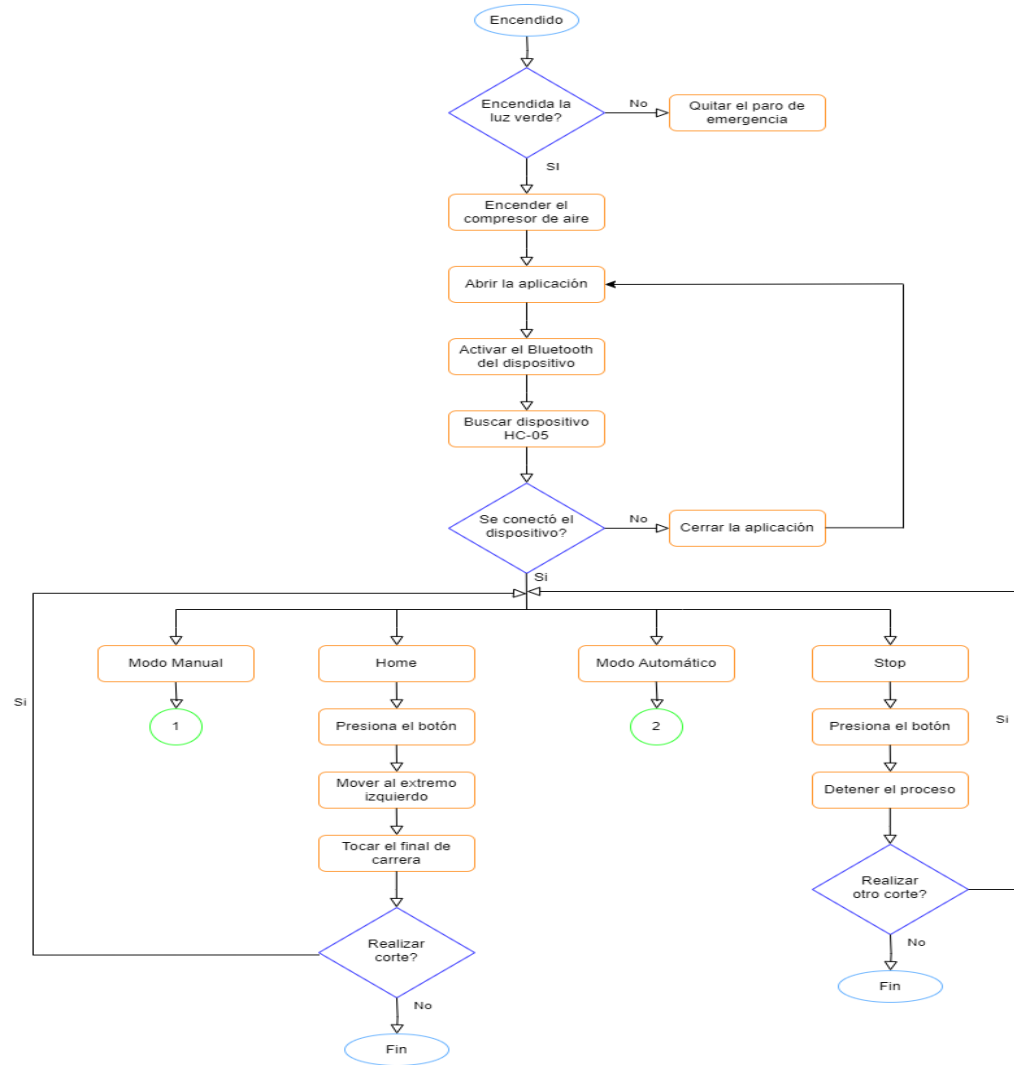


Análisis de las vigas

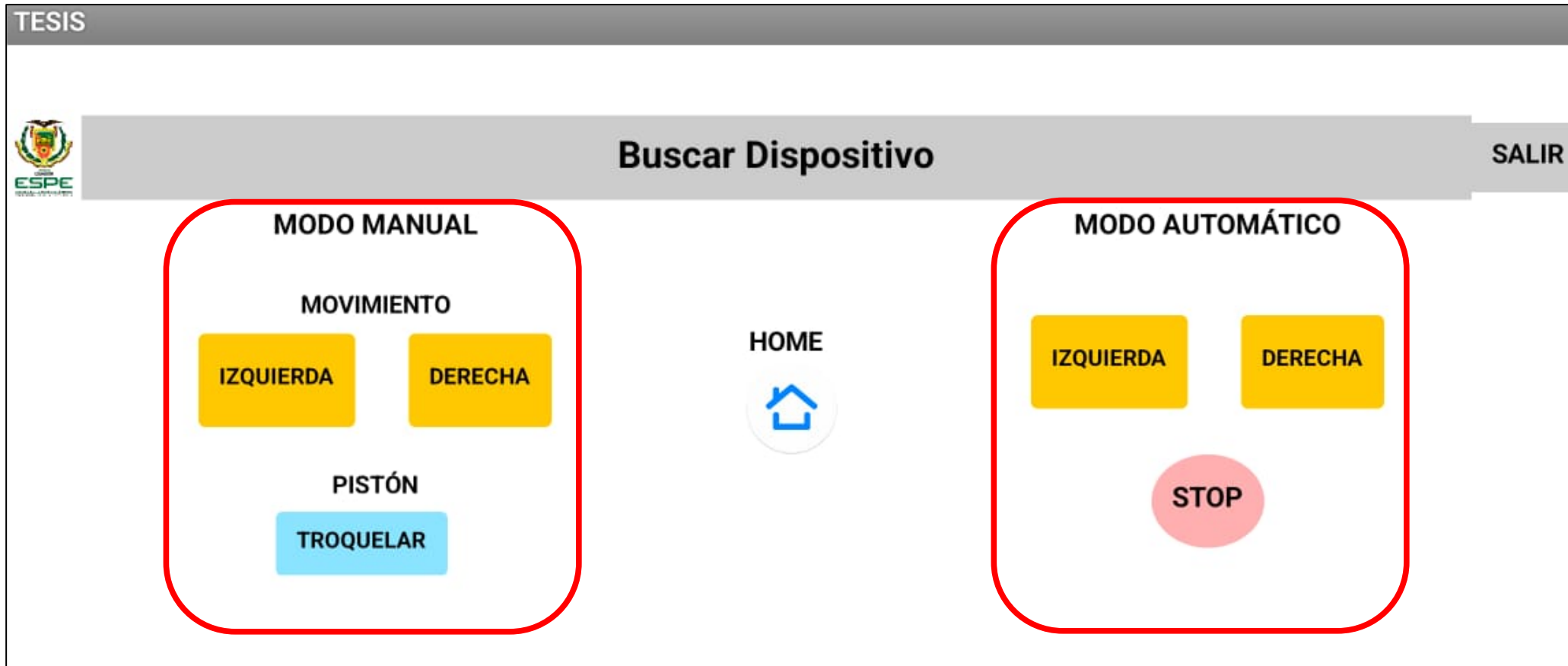


$$R_1 = R_2 = 0.25 \text{ kg}$$



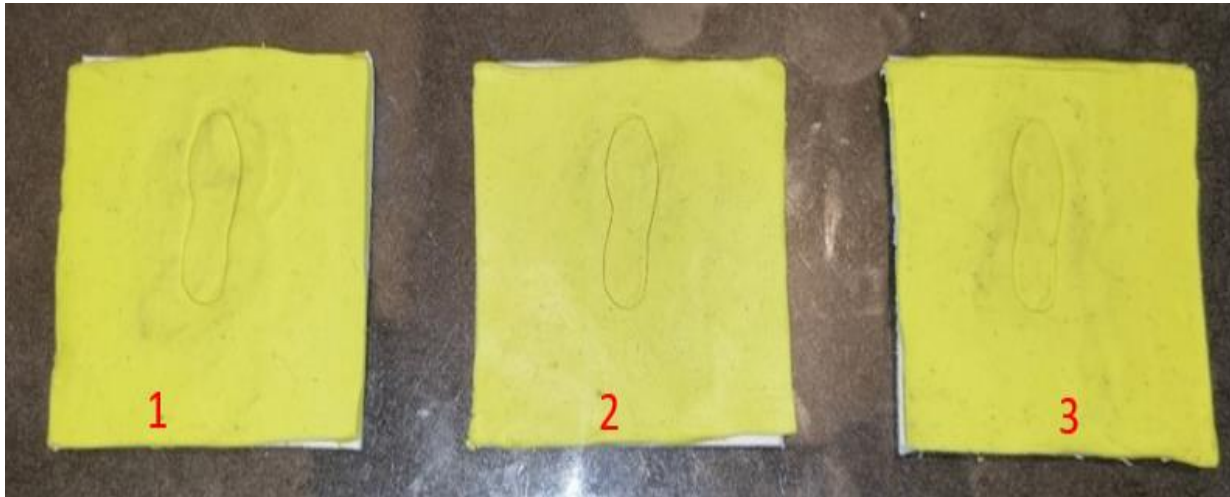


Interfaz entre la máquina procesadora y el operario



Pruebas y Resultados

Pruebas de precisión



Pruebas y Resultados

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

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
5	0.02

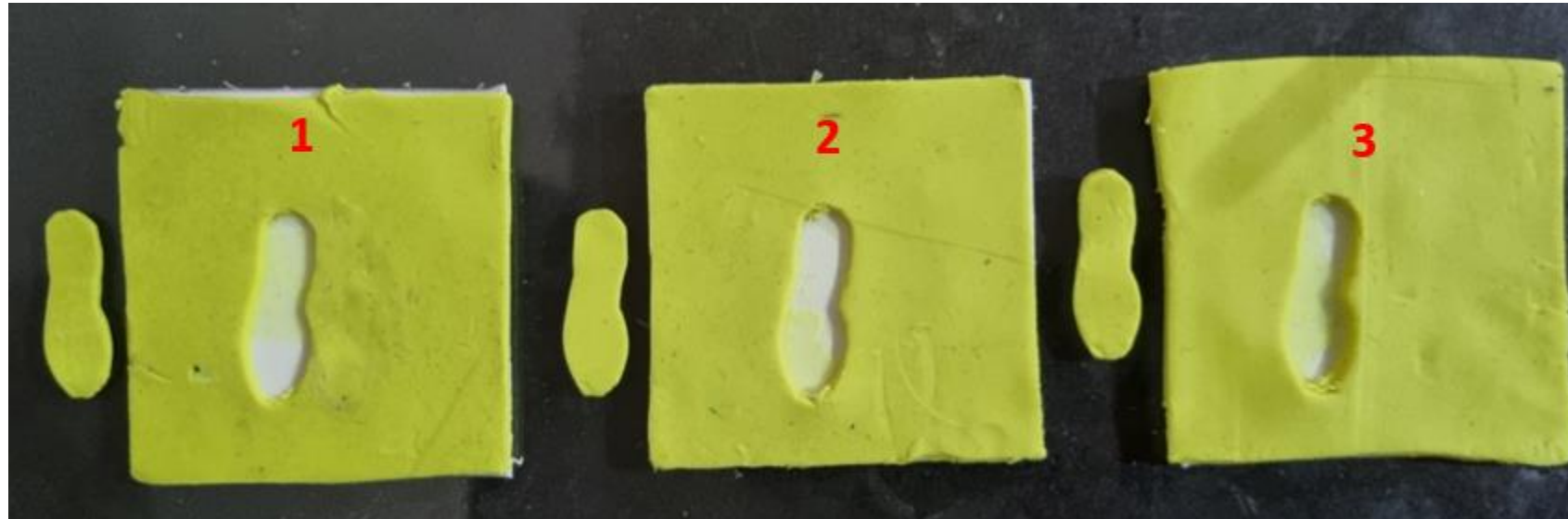
Prueba de precisión del molde 3

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



Pruebas y Resultados

Pruebas de corte



Pruebas y Resultados

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

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
4	Si	No

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



Pruebas y Resultados

Pruebas de tiempo modo automático

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



Validación de la hipótesis

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

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



Resultado Final



- 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
- 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.

- 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.
- Mantener actualizada la interfaz según las necesidades que se puedan ir presentando, pues esto ayuda a mantener altos niveles de eficiencia y seguridad para el operador y la empresa.

Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA