

- 1 • Descripción del proyecto
- 2 • Diseño e implementación
- 3 • Construcción, pruebas y resultados
- 4 • Conclusiones y Recomendaciones

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

- 1.1 • Antecedentes
- 1.2 • Formulación del problema
- 1.3 • Objetivos
- 1.4 • Justificación e importancia



La industria del calzado ha experimentado una evolución desde sus inicios en civilizaciones antiguas hasta la actualidad, donde fusiona moda, tecnología y sostenibilidad. La fabricación de calzado ha pasado de ser artesanal a utilizar maquinaria especializada, incluyendo máquinas de corte, costura, moldeo por inyección, pegado, formado, grabado y acabado, así como tecnologías como CNC y fabricación aditiva para calzado personalizado. En el proceso de emplantillado, se requieren máquinas especializadas, y aunque la automatización es limitada, se está buscando mejorarla para aumentar la eficiencia.



Las deficiencias del proceso manual en la industria del calzado, especialmente en el área de emplantillado. Se identifican varias necesidades de automatización y repotenciación debido a los problemas asociados con la fabricación manual de calzado, como errores humanos que resultan en pérdida de materiales, tiempo de producción y costos adicionales.



Objetivo General

Diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la fabricación de calzado militar en la empresa FAME S.A. del cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha.



Objetivo Específicos

- Analizar los requerimientos de la empresa, sin afectar su producción.
- Diseñar la estructura mecánica del sistema de abastecimiento y distribución tomando en consideración los requerimientos necesarios.
- Diseñar el control eléctrico y electrónico para el manejo de los componentes mecánicos del sistema.
- Seleccionar los materiales mecánicos, eléctricos y electrónicos necesarios para la construcción del sistema automatizado
- Implementar un algoritmo de control mediante el uso de un sistema embebido (Arduino).
- Construir la máquina basándose en el diseño obtenido mediante el análisis y determinación de parámetros requeridos.
- Validar la hipótesis a través de pruebas experimentales.



Justificación

El proyecto se justifica, a través de los procesos realizados, la máquina permitirá de manera automatizada la producción del calzado, facilitando el trabajo del operario y aumentando las líneas de producción de la empresa

Importancia

El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para fijar plantillas en la fabricación de calzado, se considera crucial para reducir tiempos de producción y optimizar la misma.



2.1

- Casa de la calidad (Matriz QFD)

2.2

- Diseño y análisis estructural

2.3

- Diagrama eléctrico electrónico

2.4

- Diagrama neumático



Necesidades del cliente

Núm.	Necesidad	Imp.
1	Fácil de operar	5
2	Piezas de repuesto existentes en el país	5
3	Fácil mantenimiento	4
4	Seguridad para el operador	4
5	Económico	4
6	Accesible para cualquier operador	2
7	Tiene una larga vida útil	4
8	Se ajusta a cualquier tipo de horma	4
9	Colocación de plantillas automáticas	5
10	Mínimo daño al material	2
11	Consistencia en el proceso de grapado	3
12	Durabilidad del grapado	3



Especificaciones técnicas del modelo a escala

Métrica núm.	Núm. de necesidades	Métrica	Imp.	Unidades
1	1,3,6,8	Velocidad de producción	5	m/s
2	1,2,3,	Tiempo de grapado	4	s
3	1,2,3,4,5,6,7	Estructura mecánica	4	#
4	9	Tiempo de preparación de plantilla	4	s
5	9	Frecuencia de cambio de plantillas	3	Hz
6	11	Rechazo de plantillas	3	%
7	5,7,10	Costos de materiales	3	\$
8	6,8,9	Tasa de errores	4	%
9	12,11	Tiempo de ajuste de plantillas	5	s
10	5,10	Cantidad de material utilizado	3	#



Matriz QFD

Núm.	Necesidades	Núm. Imp.	Métricas										Núm.	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Fácil de operar	5	o	o	Δ					Δ				
2	Piezas de repuesto existentes en el país	5	Δ	o					Δ					Δ
3	Fácil mantenimiento	4	o	o	o									
4	Seguridad para el operador	4			o					Δ				
5	Económico	4						Δ	•					•
6	Accesible para cualquier operador	2	o	Δ		Δ	Δ			•	Δ			
7	Tiene una larga vida útil	4			Δ									Δ
8	Se ajusta a cualquier tipo de horma	4	o	o	o			Δ	o	o				
9	Colocación de plantillas automáticas	3	Δ	Δ	•	•	•	Δ		o				
10	Mínimo daño al material	2						o	•					•
11	Consistencia en el proceso de grapado	3		o					•			•		
12	Durabilidad del grapado	3		o								•		
Ponderación Absoluta			53	71	72	29	29	44	71	48	56	63	536	
Ponderación Relativa			9.888	13.25	13.43	5.41	5.41	8.209	13.25	8.955	10.45	11.75	100	
Importancia Relativa			1	11	8	7	2	3	14	4	10	9		

Simbología y valores a utilizar

Relación	Valor	Símbolo
Fuerte	9	•
Mediano	3	o
Débil	1	Δ

Grado de correlación

Correlación	Símbolo
Positivo	+
Negativo	-
Sin correlación	Se deja en blanco

Especificaciones técnicas más importantes arrojadas por la matriz:

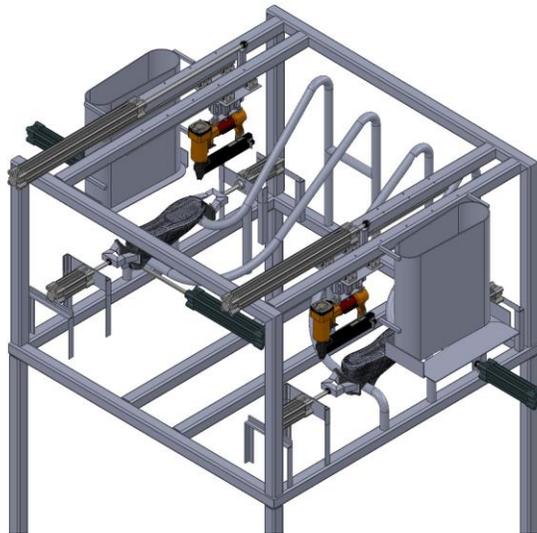
- Estructura mecánica.
- Tiempo de grapado.
- Costo de materiales.
- Cantidad de material utilizado.
- Tiempo de ajuste de plantillas.
- Velocidad de producción.



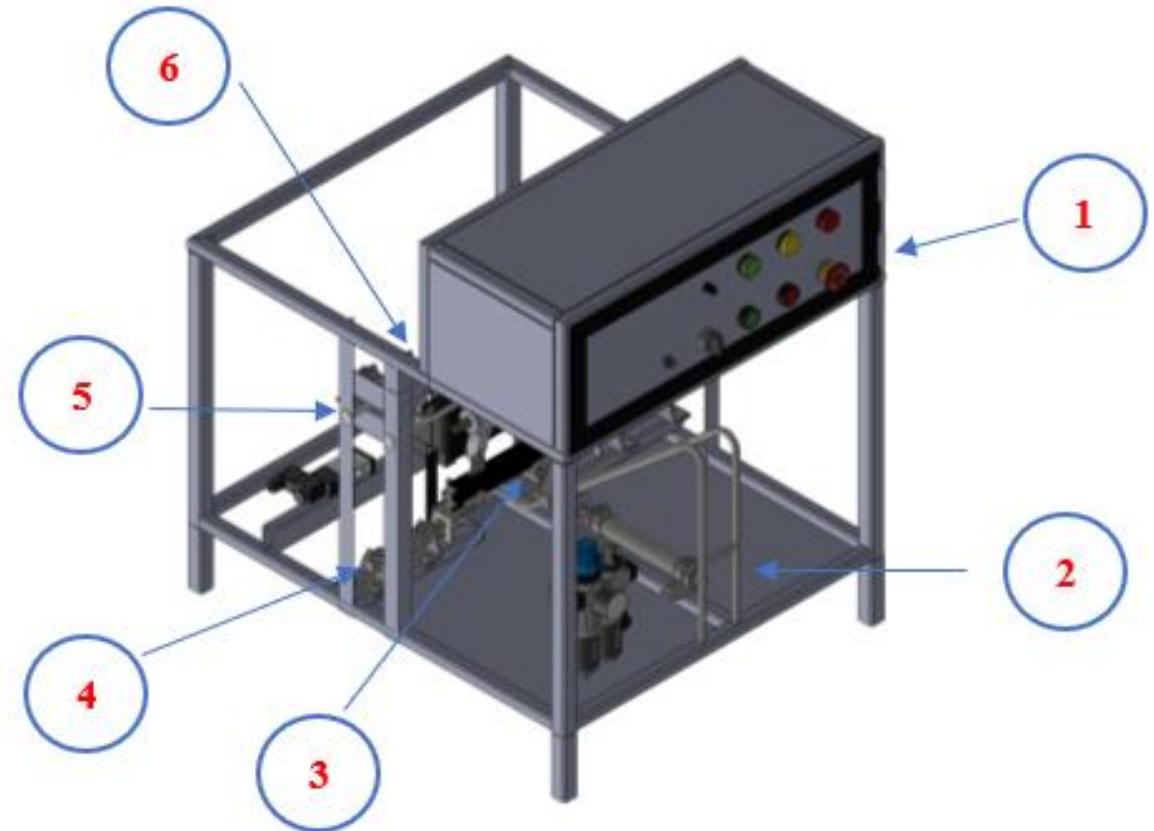
Diseño 1

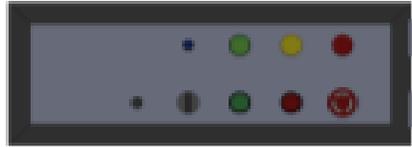


Diseño 2

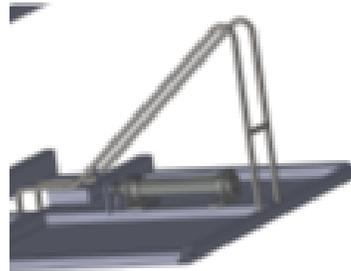


Diseño Final





1. Panel de control



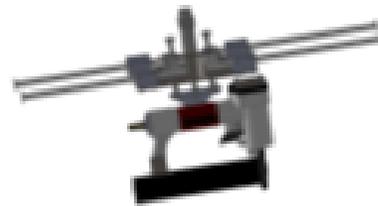
2. Sistema Dispensador de Hormas



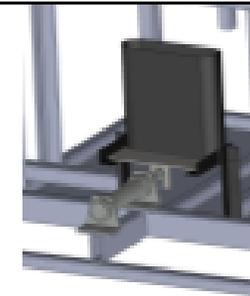
3. Sistema distribuidor de Hormas



4. Sistema de centrado de Hormas y Plantillas



5. Sistema de translación lineal



6. Sistema dispensador de plantillas

Análisis de la estructura mecánica

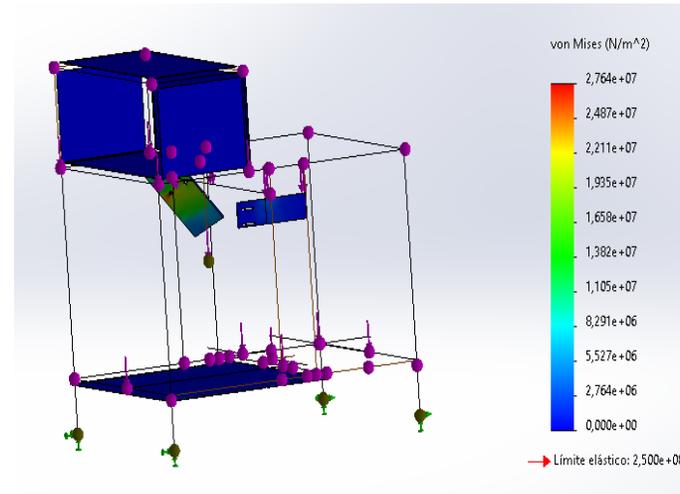
Tipo de elemento	Cantidad	Peso (N)
Sistema de translación Lineal	1	46.42
Micro cilindro camisa de aluminio 20x25	3	16.1865N
Micro cilindro camisa de aluminio 25x50	1	11.772
Micro cilindro camisa de aluminio 25x100	1	14.715
Caja de control	1	39.24

Esfuerzo de diseño máximo

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N} \quad \sigma_d = 100MPa$$

Donde:

- σ_d es el esfuerzo de diseño,
- S_y la resistencia de flexión del acero ASTM A36 igual a 250 MPa y
- N factor de seguridad que se considera de 2.5

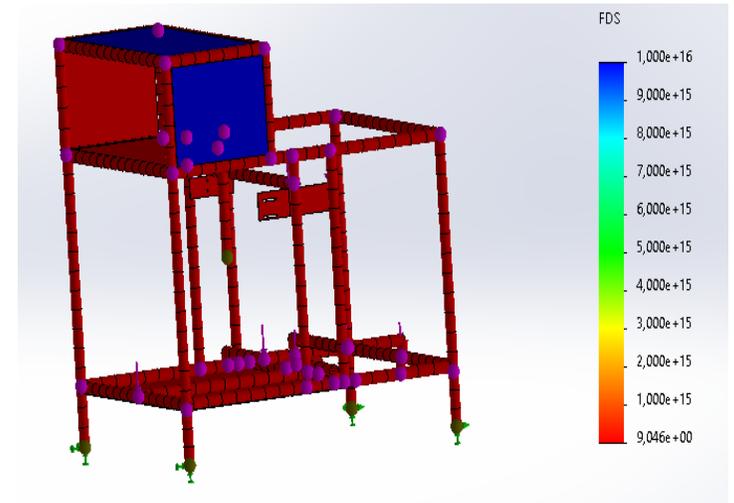


Esfuerzo máximo de diseño

$$\sigma' 27.6 MPa$$

$$\sigma' < \sigma_d$$

$$27.6 MPa < 100MPa$$



Factor de seguridad

$$N = 9$$

Diseño de la placa de selección y soporte de ejes

Tipo de elemento	Cantidad	Masa (Kg)
Pistola Neumática	1	1.7 kg
Placa de sujeción de ejes	1	0.5
Rodamientos SC10UU	4	1.36
Rodamientos SC8UU	2	0.6122
Micro cilindro camisa de aluminio 20x25	1	0.55
Total, de masa (kg)		4.722
Fuerza de masas (N)		46,42

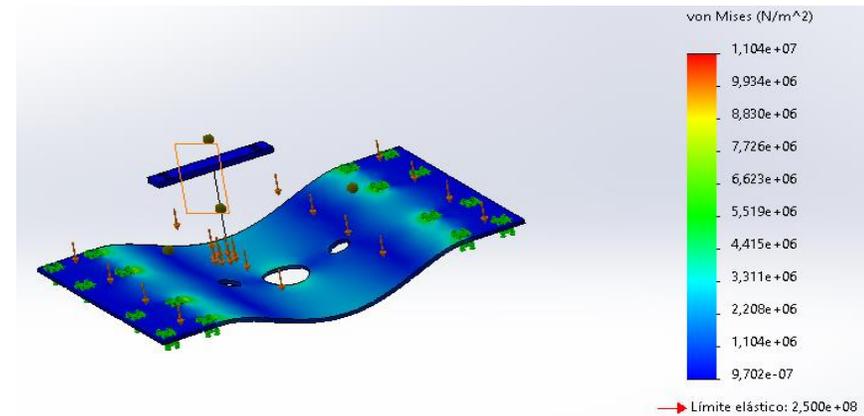
Esfuerzo de diseño máximo

$$\sigma' < \sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_d = 100MPa$$

Donde:

- σ_d es el esfuerzo de diseño
- S_y la resistencia de flexión del acero ASTM A36 igual a 250 Mpa
- N factor de seguridad que se considera de 2.5

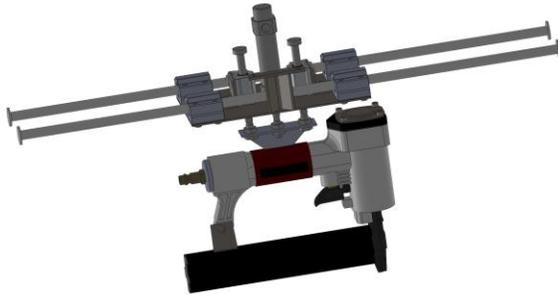


$$\sigma' < \sigma_d$$

$$11.4MPa < 100 MPa$$



Diseño de los ejes de transmisión



Momento flector máximo

$$M = \frac{F * L}{4} \quad M = 3.33 \text{ Nm}$$

Donde:

- W Peso aproximado que soporta el eje es de 46.72 N
- $F=W/2$ es igual 23.375 N.
- $L = 0.57\text{m}$ longitud de desplazamiento total

Cálculo para determinar el diámetro mínimo del eje

$$d \geq \left(\frac{32 * N * M}{\pi * S_y} \right)^{1/3} \quad d \geq 7.2923 \text{ mm}$$

Donde:

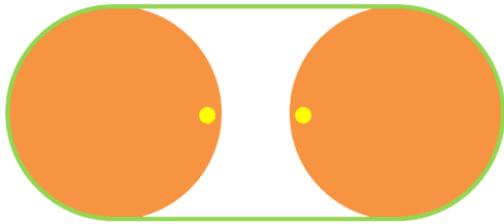
- N se escoge el de 2.5.
- S_y es la resistencia a la fluencia del acero AISI 304 igual a 205 MPa

Denominación	Dinámetro	Peso
	mm	
	a	Kg/m
VRL 3/16	4,76	0,14
VRL 1/4	6,35	0,25
VRL 5/16	7,94	0,39
VRL 3/8	9,52	0,57
VRL 1/2	12,70	1,01



Diseño del Sistema de Transmisión

Cálculo de la fuerza requerida para el movimiento



$$F = N * \left(\frac{v^2}{2 * d * g} + f_r \right) \quad F = 9.26 N$$

Donde:

- N es la fuerza normal de 46.42 N
- v es la velocidad que va funcionar el 0.3926 m/s;
- d la distancia entre las poleas que es igual a 0.46 m;
- g la gravedad de $9.91 m/s^2$;
- f_r es la fuerza de fricción (acero sobre acero) igual a 0.18.

Cálculo del torque del motor

$$T = F * r$$

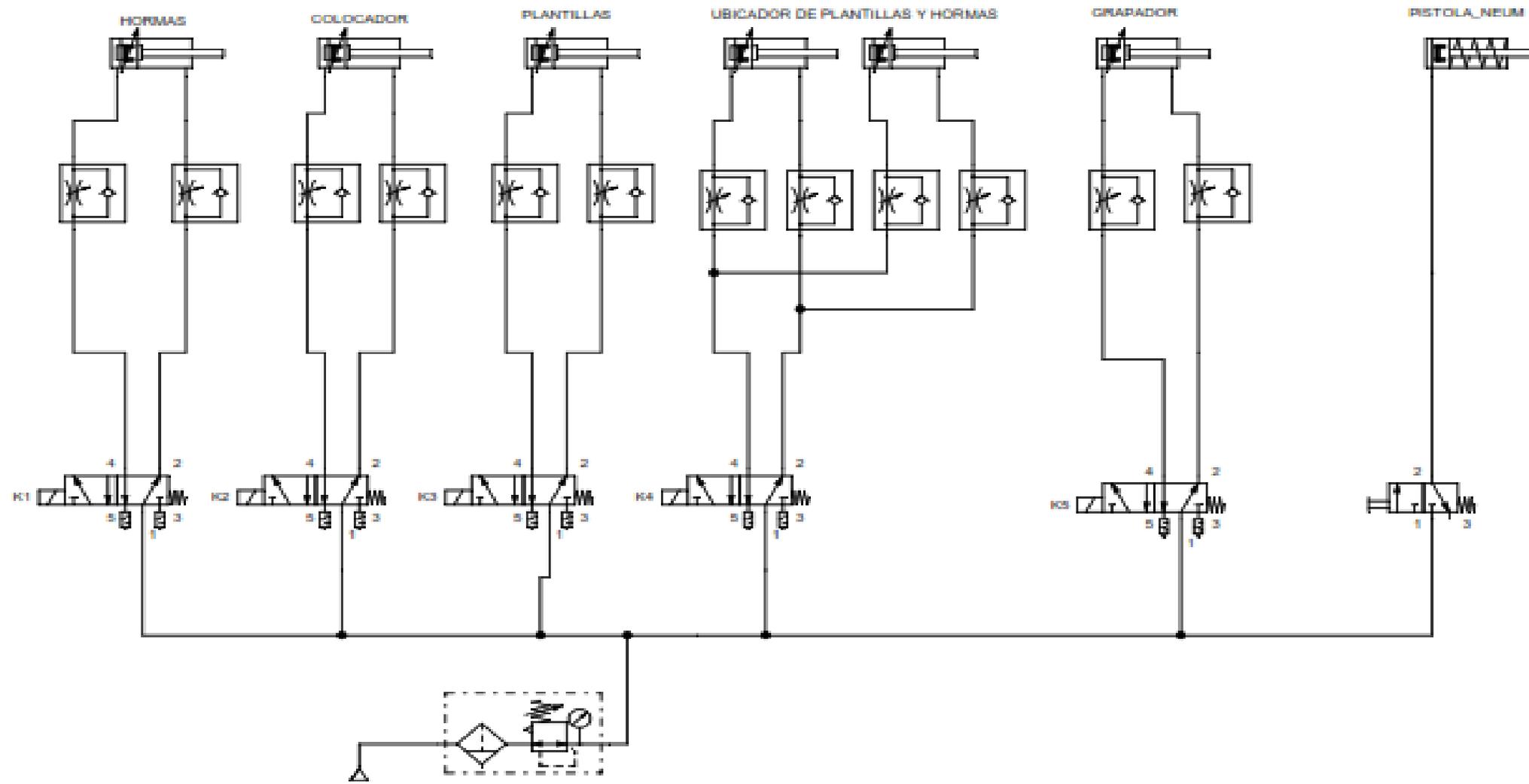
$$T = 9.26 N(0.0075m)$$

$$T = 0.0695 Nm$$

$$T = 0.709 kgcm$$

型号 Model No.	步距角 Step Angle (°)	长度 Motor Length (L)mm	电流 Current /Phase A	电阻 Resistance /Phase Ω	电感 Inductance /Phase mH	静转矩 Holding Torque kg.cm	引线数 # of Leads No.	定位转矩 Detent Torque g.cm	转子惯量 Rotor Inertia g.cm ²	重量 Weight Kg
42HS25-0404	1.8	25	0.4	24	36	1.8	4	75	20	0.15
42HS28-0504	1.8	28	0.5	20	21	1.5	4	85	24	0.22
42HS34-1334	1.8	34	1.33	2.1	2.5	2.2	4	120	34	0.22

Diagrama neumático





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONSTRUCCIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS

3.1

- Construcción del prototipo

3.2

- Pruebas de funcionamiento

3.3

- Obtención de datos

3.4

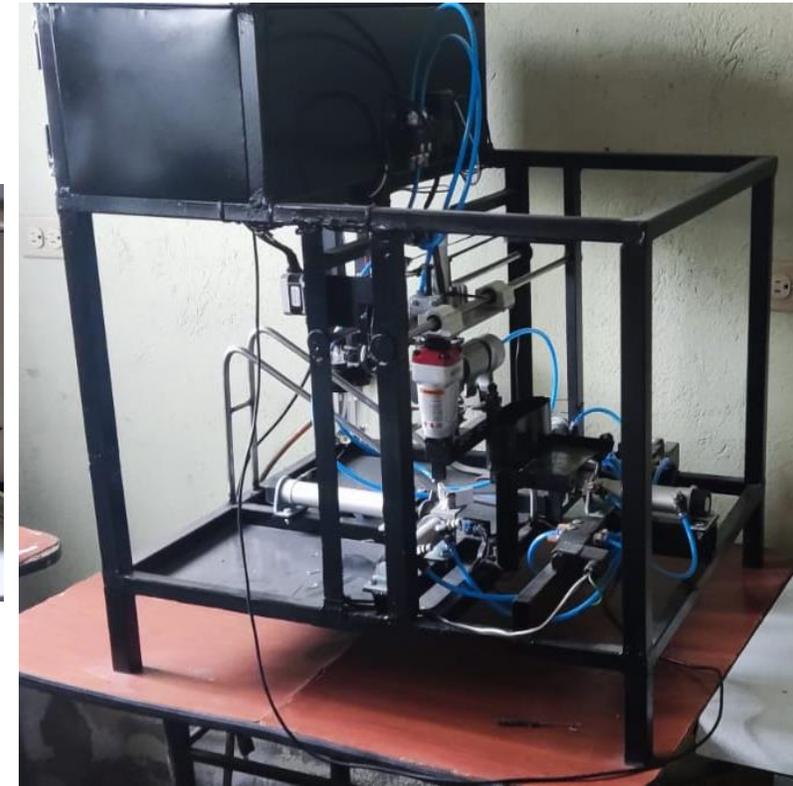
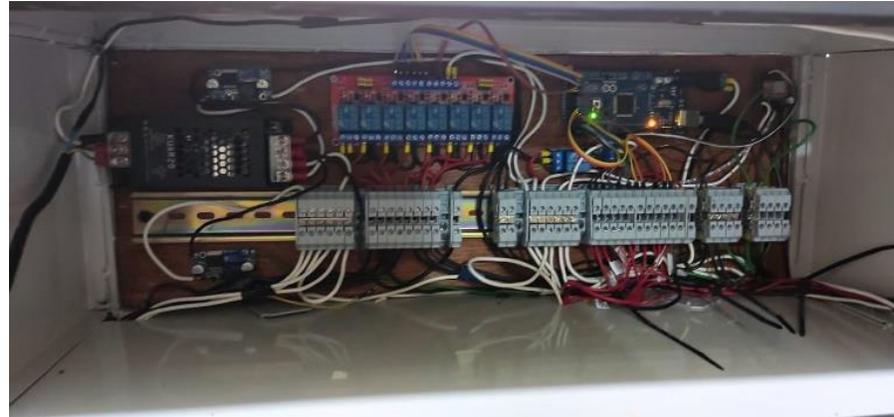
- Validación de la hipótesis



Construcción de la Máquina



Construcción de la Máquina



Pruebas de funcionamiento

Se realizaron 5 sets de pruebas donde se colocaron de forma repetida 10 hormas, para determinar que el sistema se encuentre en óptimas condiciones, donde se podrá utilizar de forma continua y segura.

	Grapado	Caída de más de una horma	Plantilla descentrada	Plantilla colocada de forma errónea	Falla en el despacho	Total, de fallas
Prueba 1	2	0	1	2	2	7
Prueba 2	5	2	0	2	0	7
Prueba 3	5	2	0	1	0	8
Prueba 4	0	0	0	0	0	0
Prueba 5	1	0	0	1	0	2
Total	13	4	1	6	2	24



Pruebas de tiempo

- Se realizaron 4 sets, con 5 repeticiones cada una, esto se lo hizo con la finalidad de comparar el tiempo que se demora una horma en realizar el proceso de fijación de forma manual con respecto a la forma automatizada.
- La forma manual de fijación por horma realizada por un operario tenía una duración de 15s sin contar los contratiempos que puede poseer el operario

	Tiempo de caída de horma	Tiempo de ajuste entre horma y plantilla	Tiempo de grapado	Tiempo del proceso de grapado
Prueba 1	2.4	2.4	5.25	10.25
Prueba 2	2.51	2.9	4.32	9.72
Prueba 3	2.02	2.8	3.8	9.02
Prueba 4	2.6	2.7	4.2	9.5
Promedio total	2.48	2.725	4.35	9.62



La hipótesis que se planteó al inicio del proyecto fue la siguiente

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática permitirá reducir el tiempo de proceso e incrementar la producción de calzado en la empresa FAME S.A. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha?

Variable Independiente

Sistema automatizado para la fijación de plantillas.

Variable Dependiente

Reducir el tiempo de proceso e incrementar la producción en la fabricación del calzado.



Reducción del tiempo en el proceso de fijación de plantillas

Se utilizará una prueba t-Student, la cual es una herramienta que permitirá evaluar si hay una disparidad significativa entre tiempo de fijación de forma automática y de forma manual, planteando una hipótesis nula y una hipótesis alternativa

H0: El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática **permitirá reducir el tiempo** del proceso de fijación de plantillas en la empresa FAME S.A. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha

$$H_0 = \mu < 10s$$

Ha: El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática **NO reducirá el tiempo** del proceso de fijación de plantillas en la empresa FAME S.A. ubicada en el cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha

$$H_a = \mu \geq 10s$$



Al emplear el método estadístico t-Student se utiliza la siguiente ecuación

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

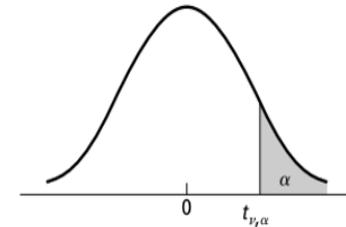
Donde:

- \bar{X} = Medida de la muestra
- μ = Valor objetivo
- S = Desviación estándar
- n = Tamaño de muestra

Parámetros	Tiempo promedio total del proceso
\bar{X}	9.635
μ	10
S	0.514
n	4

Se calcula los grados de libertad para obtener t_α ,

$$gl = n - 1 = 3$$



La tabla muestra, para algunas probabilidades α , los valores de la $t_{v,\alpha}^2$ tales que $P(t_v > t_{v,\alpha}) = \alpha$, donde t_v es una variable aleatoria t de Student con v grados de libertad. Por ejemplo, la probabilidad de que una variable aleatoria t de Student con 10 grados de libertad sea mayor que 1.372 es 0,10.

v	α	α	α	α	α
	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841

Comprobación de la hipótesis

$$T = -1.42$$

$$T < t_\alpha$$

$$-1.42 < 1.638$$

Al tener en cuenta que se cumple la condición establecida por el método t-Student la hipótesis nula se acepta



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1

- Conclusiones

3.2

- Recomendaciones



- Se diseñó, construyó e implementó un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática para la industria del calzado, aplicando el conocimiento en áreas interdisciplinarias como la ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica y la programación de sistemas embebidos, demostrando cómo la convergencia de estos campos puede conducir a soluciones innovadoras y prácticas.
- La implementación de un sistema automatizado para el proceso de fijación de plantillas a compresión neumática ha sido exitosa en la validación de la hipótesis planteada. Utilizando métodos estadísticos (t-student), se ha demostrado que la automatización de este proceso efectivamente reduce el tiempo requerido para la fijación de plantillas, teniendo en cuenta que el operario se demora 15s en realizar todo el proceso de fijación de plantillas mientras que el promedio del sistema automatizado es de 9.635s.



- El sistema automático de fijación de plantillas ha demostrado ser eficiente en la producción de calzado, con una mayor velocidad de operación, precisión en la colocación de las plantillas y reducción del tiempo en el proceso de grapado. De las cinco pruebas realizadas con diez piezas, se registró una mínima falla dando como resultado un 98% de eficacia en su desempeño general por lo tanto el sistema automatizado contribuye a minimizar los errores lo que se traduce en un aumento en la productividad y rentabilidad en la industria.
- El sistema reduce la dependencia humana en ciertas tareas críticas del proceso, se ha mejorado la eficiencia, y consistencia en la fijación de las plantillas, disminuyendo así la probabilidad de errores humanos. Sin embargo, es importante reconocer que, a pesar de la automatización, sigue existiendo una dependencia humana en términos de supervisión, mantenimiento y resolución de problemas. Por lo tanto, aunque la grapadora automatizada ha reducido significativamente esta dependencia en algunas áreas, se debe tener en cuenta que los seres humanos siguen desempeñando un papel crucial en el funcionamiento de esta máquina.



- Tener en cuenta que cuando se vaya a operar el sistema automatizado se debe primero capacitar al personal sobre el manejo adecuado para así poder evitar cualquier incidente que pueda producirse por manejo inadecuado del mismo.
- Antes de empezar el proceso de fijación de plantillas a compresión verificar que la fuente de alimentación neumática a utilizar en el procedimiento supere los dos bares de presión pero que no exceda los cinco bares debido que el funcionamiento de la pistola de grapas se da a partir de tal medida
- Se ha implementado un sistema embebido basado en Arduino para la funcionalidad de la máquina. La programación realizada en este sistema se caracteriza por ser secuencial, lo cual facilita su adaptación a otro sistema de control, como un PLC. Además, la mayoría de las entradas y salidas son compatibles entre ambos sistemas, estas características facilitan la transición entre plataformas



¡Gracias!



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA