



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Ingeniería en Mecatrónica**  
**Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de:**  
**Ingeniero Mecatrónico**

**Tema:** “Diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex del cantón Pelileo provincia de Tungurahua.”

**Autores:** Asitimbay Morocho, Tatiana Nataly

Quinga Morales, Andrés Giancarlo

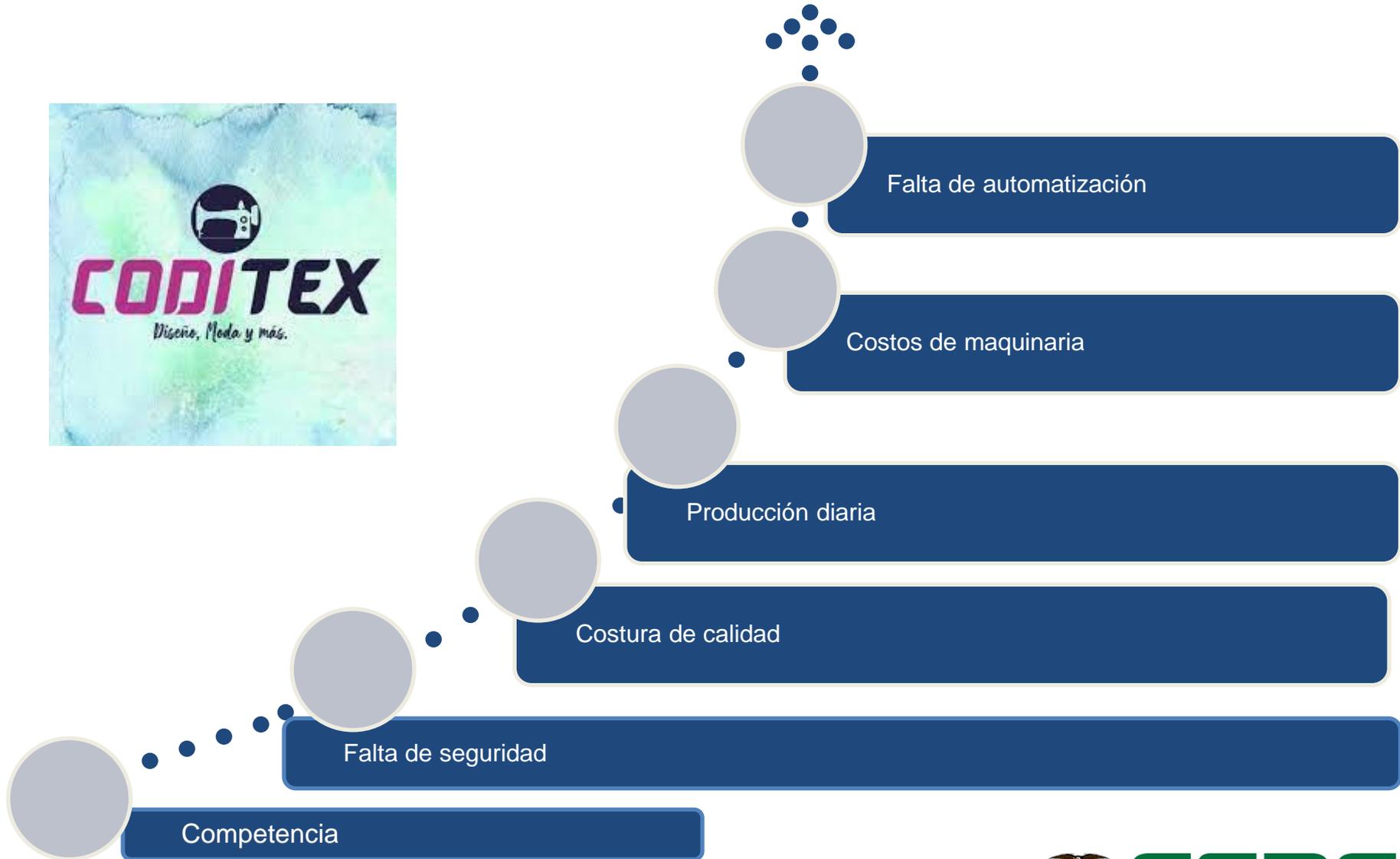
**Director:** Ing. Caizalítín Quinaluisa, Edwin Alejandro

Latacunga, 2023





# Planteamiento del problema



## ***Objetivo general***

Diseñar, construir e implementar un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa CODITEX del cantón Pelileo provincia de Tungurahua.

### ***Objetivos específicos***

- Recolectar información del proceso previo a la implementación del sistema automatizado.
- Diseñar el sistema mecánico para el desplazamiento de los pantalones hacia la sección de parchado.
- Realizar un análisis de esfuerzos con el fin de seleccionar un material adecuado para el sistema.
- Seleccionar e implementar sensores para el control del desplazamiento.
- Implementar un sistema de protección eléctrica para la máquina.
- Implementar el sistema dentro del proceso de producción de pantalones.
- Realizar pruebas de funcionamiento del proceso.



## **Hipótesis**

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automatizado mediante un cabezal de costura en eje eléctrico permitirá la disminución en el tiempo de aplicación de bolsillos a parche en jeans y la monitorización inteligente del producto final en la empresa CODITEX del cantón Pelileo provincia de Tungurahua?

### ***Variable dependiente***

Disminución del tiempo en aplicación de bolsillos a parche en jeans, monitorización del ciclo de producción y reducción de operarios.

### ***Variable independiente***

Sistema automatizado mediante cabezal de costura en eje eléctrico.

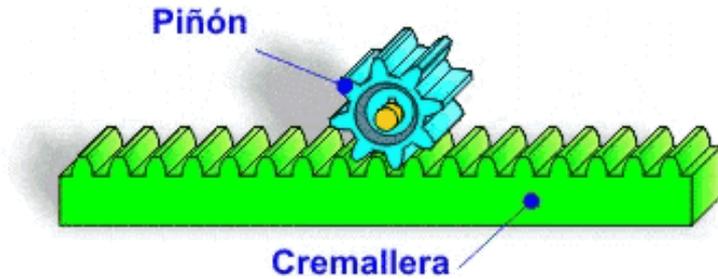


## Máquina de coser recta industrial



Característica	Valor
Lubricación	Automática
Materiales	Livianos/medianos/pesados
Velocidad de costura	5.500 ppm
Longitud de puntada	5 mm
Sistema de aguja	DB×1

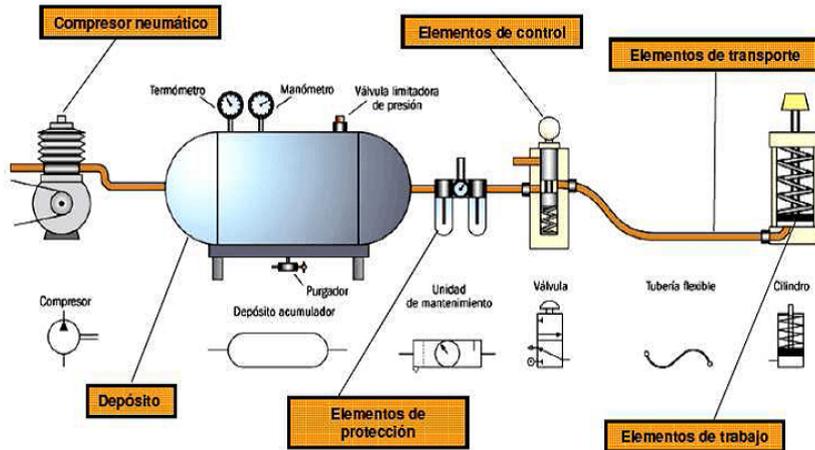
## Mecanismo piñón-cremallera



## Correas dentadas



## Sistema neumático



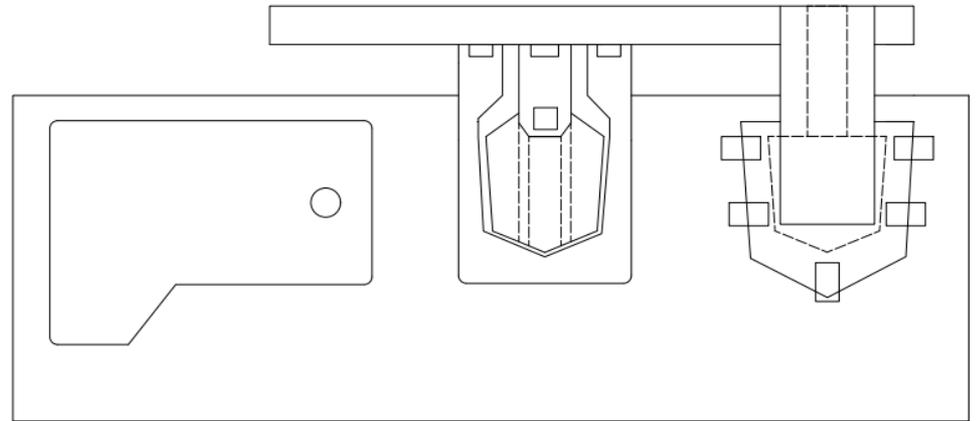
## Motor paso a paso de bucle cerrado



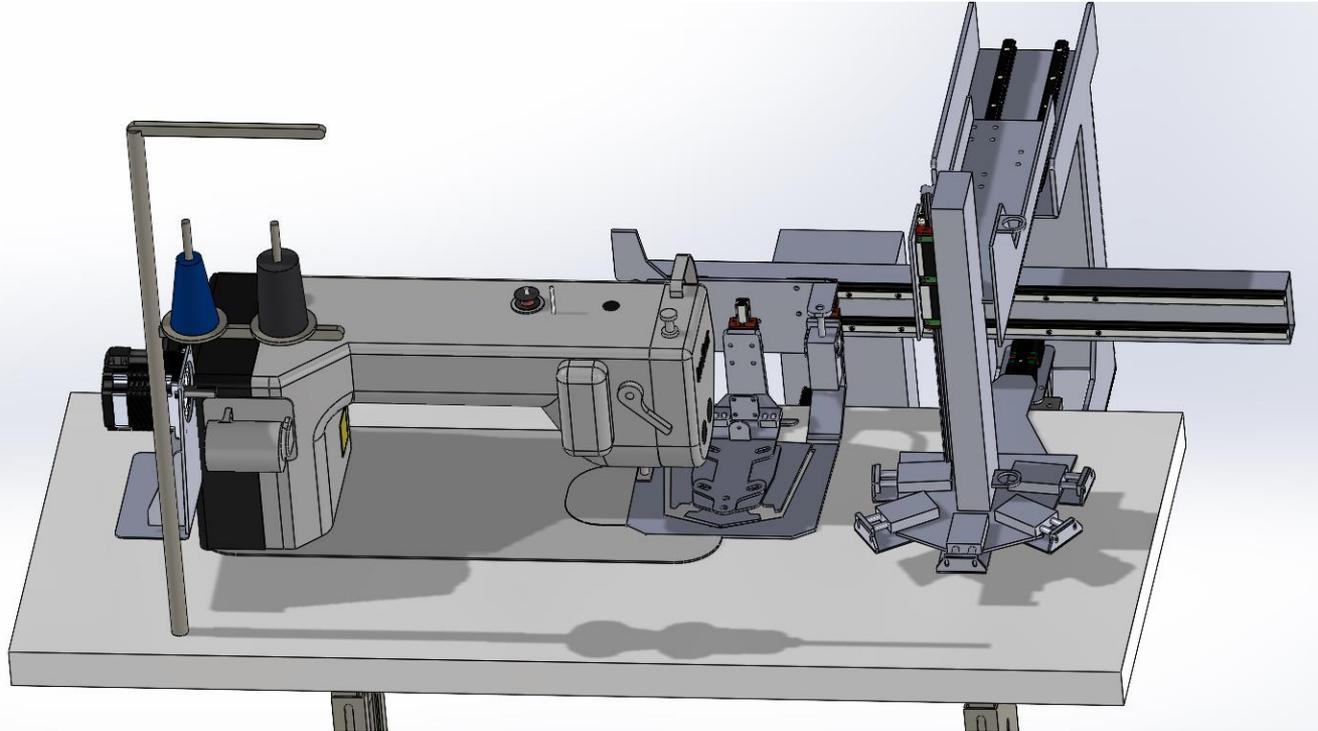


# Desarrollo del concepto

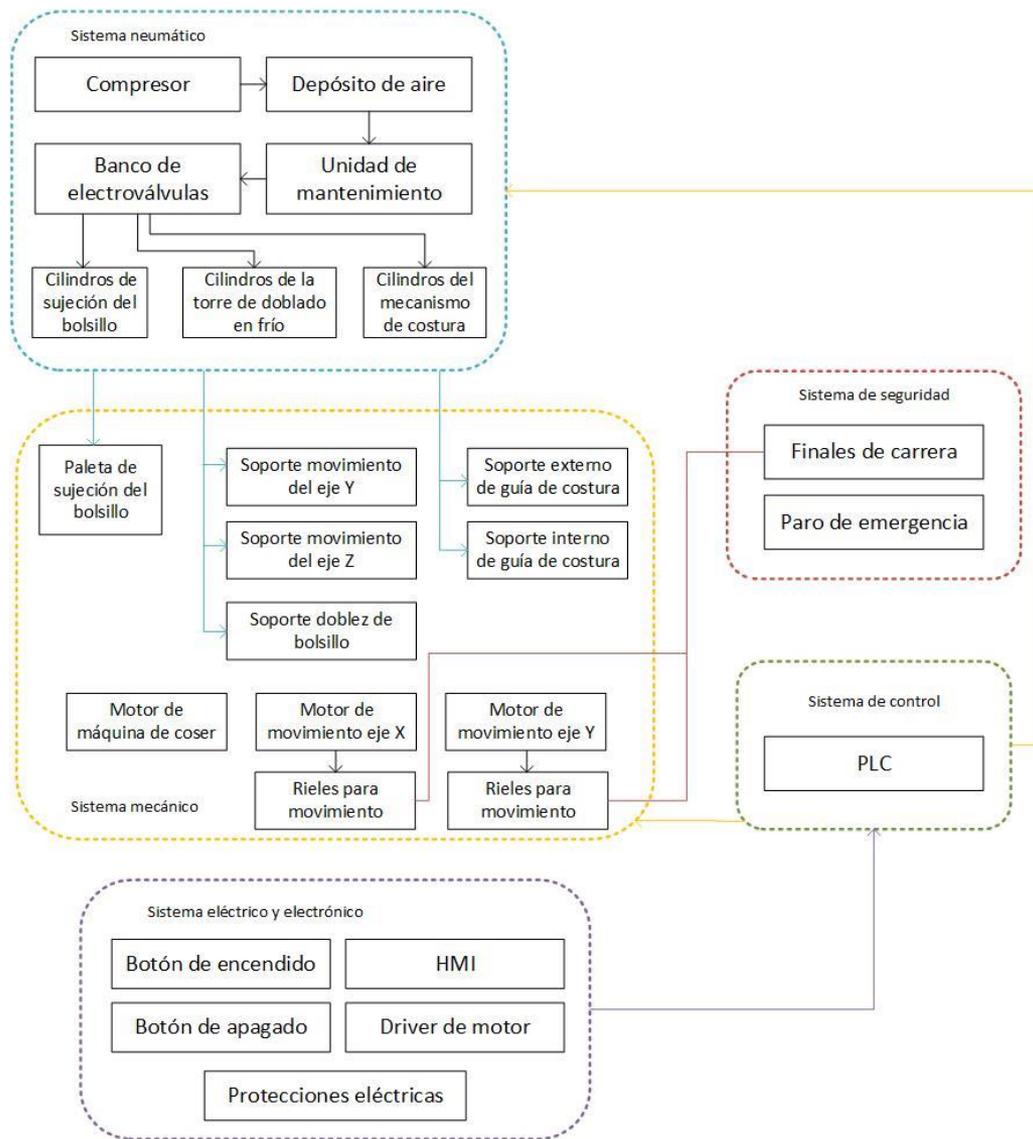
1. Ejes móviles
2. Programación de trayectorias de costura
3. Sistema de control
4. Control automático del eje de costura
5. Sistema neumático
6. Costo de producción
7. Factor de seguridad
8. Sistema de interfaz Hombre-Máquina
9. Base de datos de la producción
10. Tiempo de trabajo
11. Manual de usuario



# Diseño mecánico CAD



# Diagrama de bloques de la máquina



# Análisis estructural

## Datos:

- Acero ASTM A36
- Carga aplicada = 141.7 N

$$\sigma_d = 165 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 8.502 \text{ MPa}$$

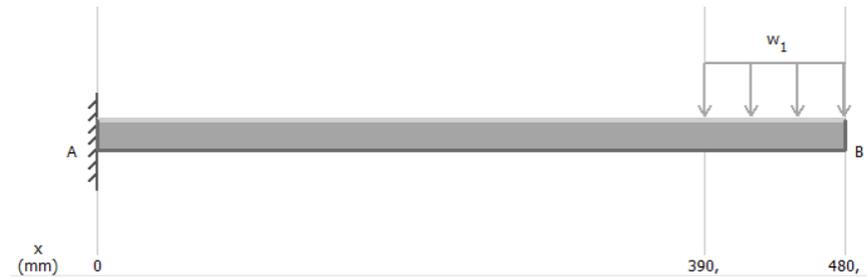
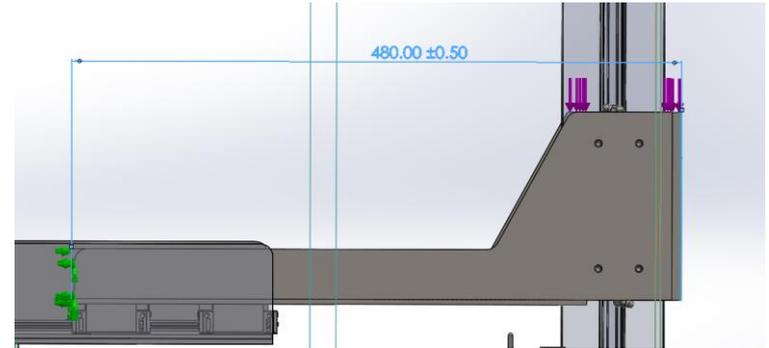
$$y_{m\acute{a}x_d} = 1.33 \text{ mm}$$

$$y_{m\acute{a}x} = 0.09 \text{ mm}$$

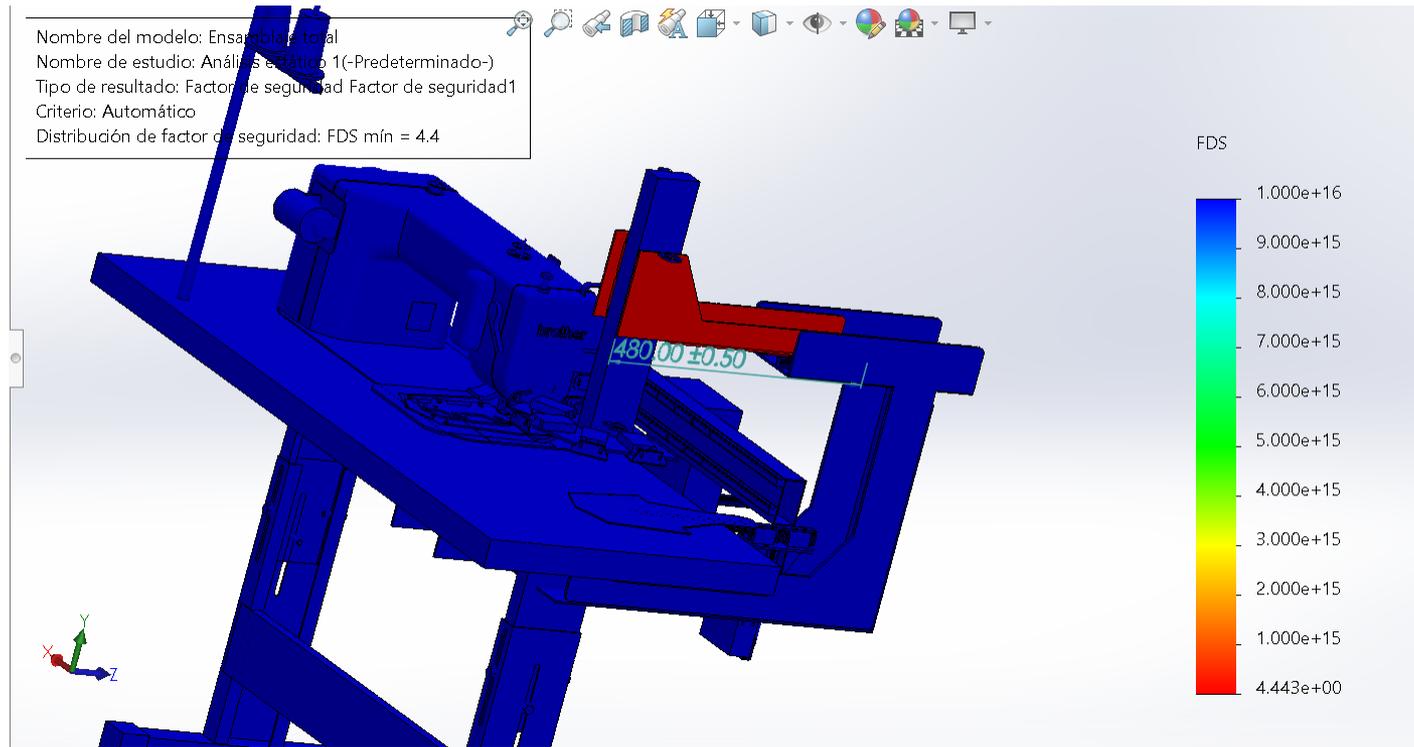
$$F.S = 4,2$$

$$\sigma_{real} < \sigma_d$$

$$y_{m\acute{a}x_{real}} < y_{m\acute{a}x_d}$$



# Análisis estructural mediante software



Factor de seguridad obtenido es de 4,4

Esfuerzo de Von Mises es de  $5,62 * 10^7$

Limite elástico para acero A36 es de  $2,5 * 10^8$



## Movimiento de ejes X,Y

**Datos:**

$$W = 4.13 N$$

$$T_{req} = 3799.6 Nmm$$



Característica	Valor
Modelo	24HE40-5004D-E1000
No. Fase	2
Corriente nominal/Fase	5 <u>A</u>
Par de retención	4,0 Nm
Resistencia de fase	0,6 ohmios ± 10%
Ángulo de paso	1.8
Diámetro del eje	10 mm
Tipo de circuito de salida	Tipo diferencial
Tipo de codificador	Óptico incremental

### Encoder

Voltaje de conducción	5 V
Corriente de salida	55 mA
Resolución	1000ppr
Señal de salida	2 canales
Frecuencia de salida	≤1MHz
Velocidad de funcionamiento	≤5000 rpm
Protección IP	IP20



## Movimiento de máquina de coser



Característica	Valor
Modelo	86A4ED
No. Fase	2
Corriente nominal/Fase	5 <u>A</u>
Par de retención	4,0 Nm
Resistencia de fase	0,8 ohmios $\pm$ 10%
Ángulo de paso	1.8
Diámetro del eje	14 mm

# Selección del sistema de control

## PLC

Características	XDM60T4E	S7-1200
Entradas/salidas	+	-
Conectividad	-	+
Precio	+	-
Mayor calidad	0	+
Más seguridad	0	0
Nivel de utilidad	+	+
Suma +	3	3
Suma -	1	2
Suma 0	2	1
Evaluación neta	2	1
Posición	1	2



Características	Valor
Serie	XDM
Puntos de entrada/salida	36 entradas/24 salidas
Tipo de salida	Salida de transistor
Número de pulsos	4 salidas de pulso
Fuente de alimentación	120 V



# Selección de actuador lineal

## Datos:

- $F = 141.7 \text{ N}$
  - $A = 490.625 \text{ mm}^2$
- $p = 41.89 \text{ psi}$



Características	Valor
Carrera	25 mm
Rango de presión	0.1-1 Mpa.
Tamaño del puerto	G1/8 pulgadas
Rosca del vástago del pistón	M10x1.0.984 in



## Pantalla táctil TG765-MT



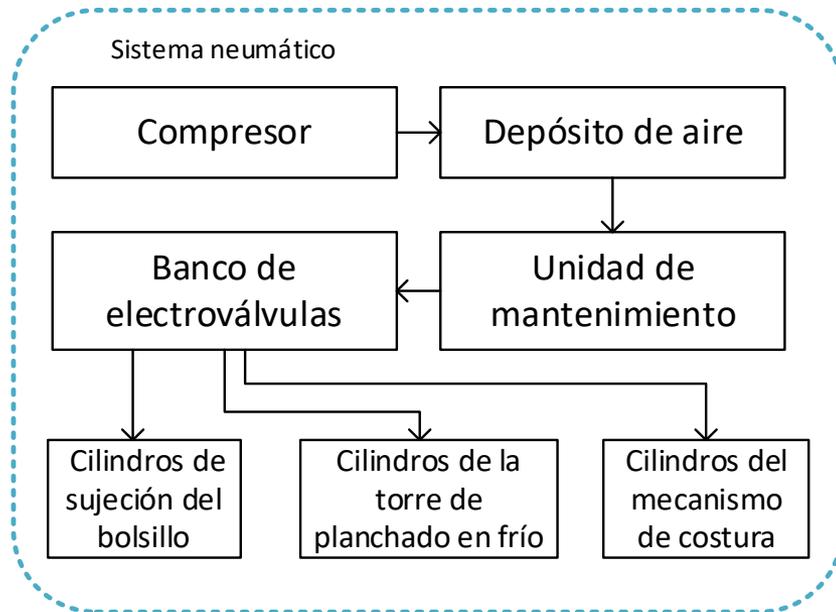
Características	Valor
Resolución	800 x 480 pixeles
Memoria	128 MB
Alimentación	24 VDC
Puerto de descarga	RS232
Puerto para PLC	RS232
Protección	IP65



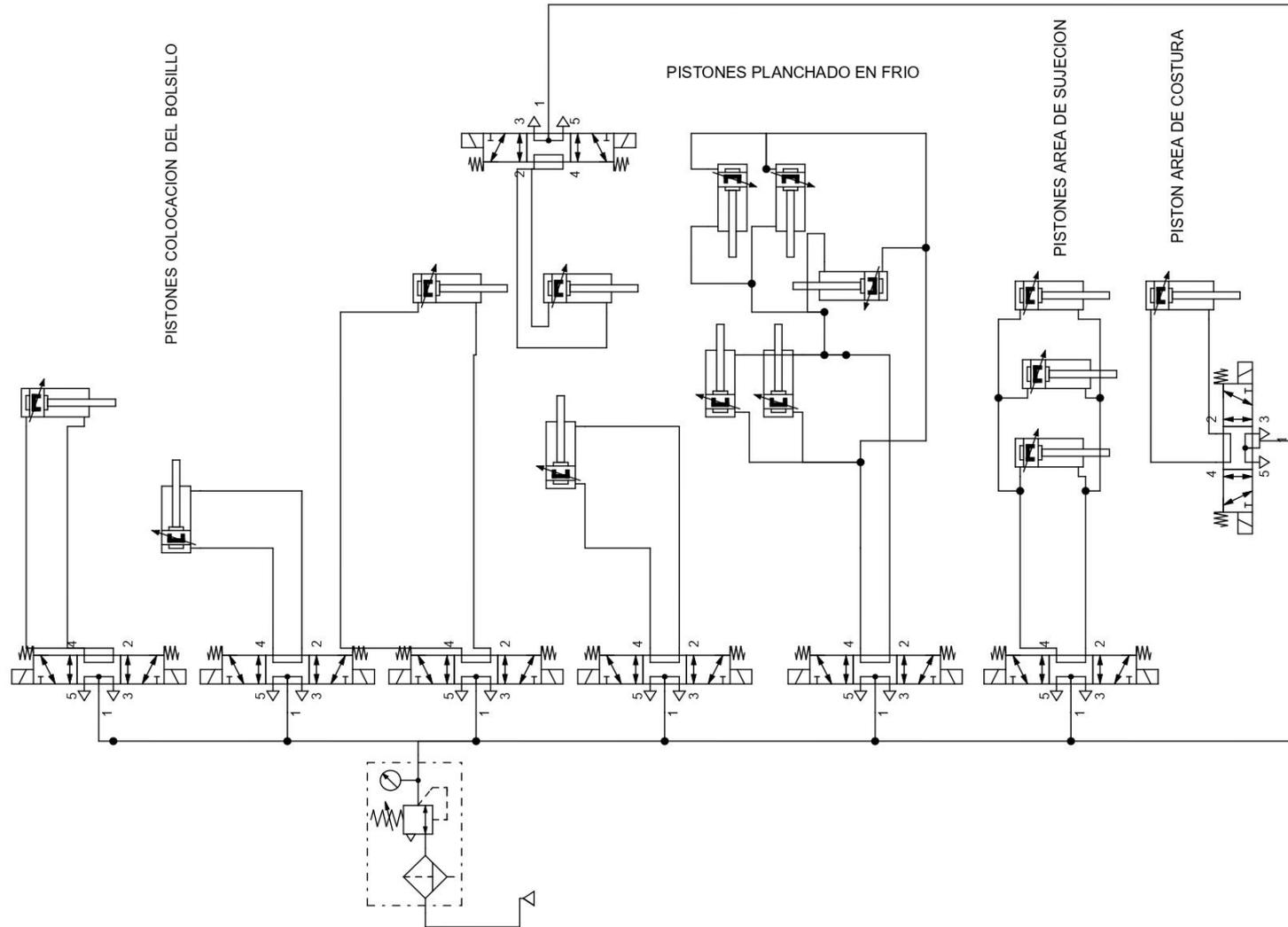
## Sistema mecánico



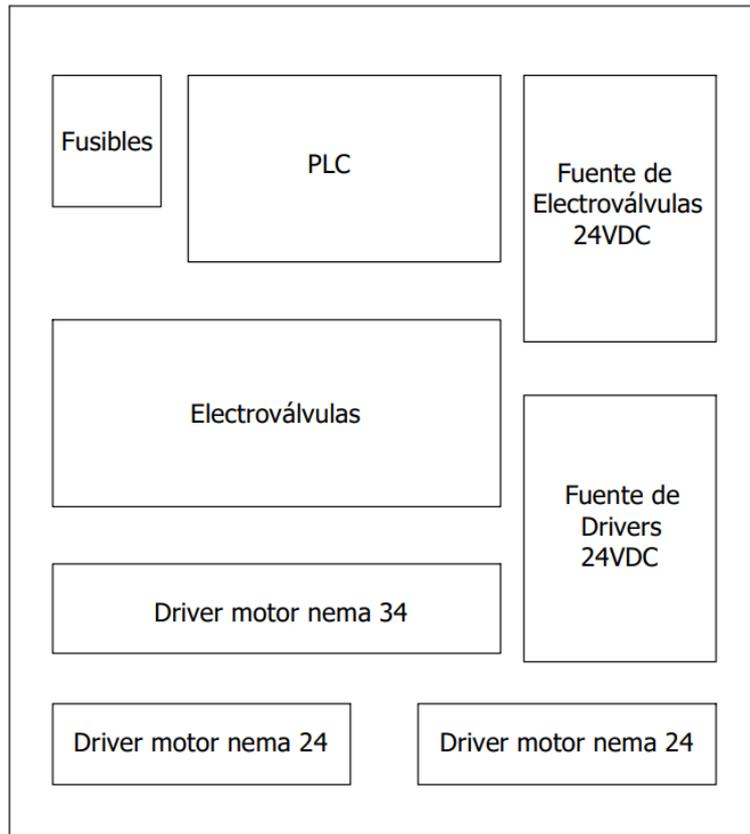
## Sistema neumático



# Conexión neumática



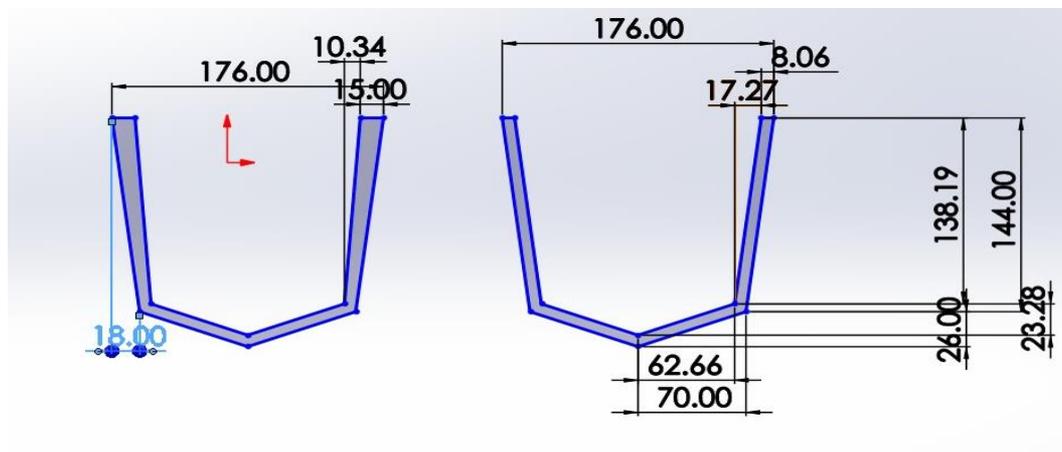
## Tablero Eléctrico



## Pantalla HMI



## Sistema de control



Puntos del modelo 1		Puntos del modelo 2	
X	Y	X	Y
0	0	0	0
-18	144	18	144
-70	26	70	26
-70	-26	70	-26
-18	-144	18	-144
15	0	-8.06	0
10.34	138.19	-17.27	138.19
62.66	23.28	-62.66	23.28
62.66	-23.28	-62.66	-23.28
10.34	-138.19	-17.27	-138.19
15	0	-8.06	0



## Datos calculados Modelo 1

X	Y	Pulsos X	Pulsos Y	Velocidad (mm/min)	T (min)	Velocidad X (mm/min)	Velocidad Y (mm/min)	Pulsos/seg X	Pulsos/seg Y
0	0	-	-	1000					
-18	144	-4,235.29	60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	992.28	-486.41	6,890.82
-70	26	-16,470.59	10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	348.19	-3,676.18	2,417.96
-70	-26	-16,470.59	-10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	-348.19	-3,676.18	-2,417.96
-18	-144	-4,235.29	-60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	-992.28	-486.41	-6,890.82
15	0	3,529.41	-	1000	0.015	1,000.00	-	3,921.57	-
10.34	138.19	2,432.94	57,579.17	1000	0.138576303	74.62	997.21	292.61	6,925.09
62.66	23.28	14,743.53	9,700.00	1000	0.06684485	937.39	348.27	3,676.06	2,418.54
62.66	-23.28	14,743.53	-9,700.00	1000	0.06684485	937.39	-348.27	3,676.06	-2,418.54
10.34	-138.19	2,432.94	-57,579.17	1000	0.138576303	74.62	-997.21	292.61	-6,925.09
15	0	3,529.41	-	1000	0.015	1,000.00	-	3,921.57	-



## Datos calculados Modelo 2

X	Y	Pulsos X	Pulsos Y	Velocidad mm/min	T (min)	Velocidad X mm/min	Velocidad Y mm/min	Pulsos/seg X	Pulsos/seg Y
0	0	-	-	1000					
-18	144	-4,235.29	60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	992.28	-486.41	6,890.82
-70	26	-16,470.59	10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	348.19	-3,676.18	2,417.96
-70	-26	-16,470.59	-10,833.33	1000	0.074672619	-937.43	-348.19	-3,676.18	-2,417.96
-18	-144	-4,235.29	-60,000.00	1000	0.145120639	-124.03	-992.28	-486.41	-6,890.82
8.06	0	1,896.47	-	1000	0.00806	1,000.00	-	3,921.57	-
17.27	138.19	4,063.53	57,579.17	1000	0.13926496	124.01	992.28	486.31	6,890.84
62.66	23.28	14,743.53	9,700.00	1000	0.06684485	937.39	348.27	3,676.06	2,418.54
62.66	-23.28	14,743.53	-9,700.00	1000	0.06684485	937.39	-348.27	3,676.06	-2,418.54
17.27	-138.19	4,063.53	-57,579.17	1000	0.13926496	124.01	-992.28	486.31	-6,890.84
8.06	0	1,896.47	-	1000	0.00806	1,000.00	-	3,921.57	-



## Motores

### Eje X

Característica	Valor
Vueltas por revolución	20000
Resolución del encoder	1000ppr
Avance por pulso	0.0045mm
Frecuencia máxima de trabajo	100kHz

multi section pulse output

data start address: HD0 user params address: D100 system params: K1 output: Y0

mode: relative start execute section count: 0 Config

Add Delete Upwards Downwards

	frequency	pulse count	wait condition	wait register	jump register
▶ 1	120	99999	EXT signal	X4	K0
2	200	-773	pulse sending complete	K0	K0

used space: Read From PLC Write To PLC OK Cancel

### Eje Y

Característica	Valor
Vueltas por revolución	20000
Resolución del encoder	1000ppr
Avance por pulso	0.0024mm
Frecuencia máxima de trabajo	100kHz

multi section pulse output

data start address: HD29 user params address: D103 system params: K1 output: Y1

mode: relative start execute section count: 0 Config

Add Delete Upwards Downwards

	frequency	pulse count	wait condition	wait register	jump register
▶ 1	150	99999	EXT signal	X5	K0
2	210	-820	pulse sending complete	K0	K0

used space: HD29-HD58,D103-D106 Read From PLC Write To PLC OK Cancel



## Monitoreo Inteligente

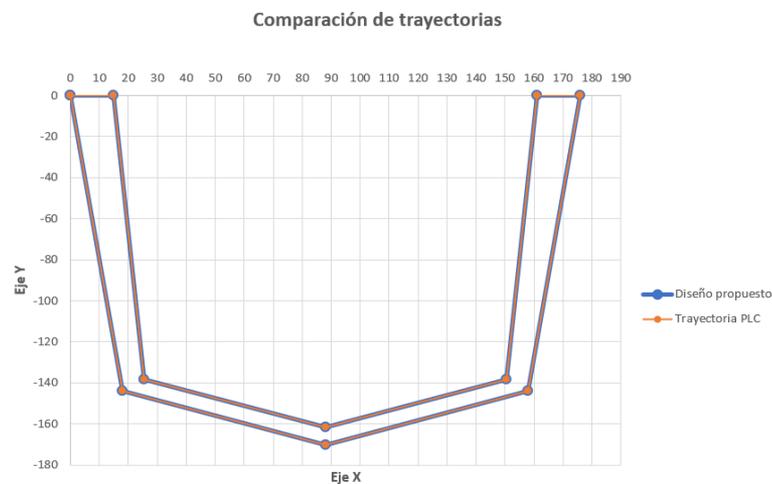
1. Hora y fecha de entrada-salida del operario
2. Producción diaria de los modelos programados
3. Fallos de motores
4. Fallo por corte de hilo
5. Fallo por mal posicionamiento de aguja



## Prueba del sistema de control

- *Trayectoria del modelo 1*

Distancia X	Distancia Y	Distancia PLC X	Distancia PLC Y
0	0	0	0
18	-144	17,9988	-144,0000
88	-170	88,0005	-169,9992
158	-144	158,0023	-144,0000
176	0	176,0010	0
161	0	161,0028	0
150,66	-138,19	150,6625	-138,1896
88	-161,47	88,0005	-161,4696
25,34	-138,19	25,3385	-138,1896
15	0	14,9983	0
0	0	0	0

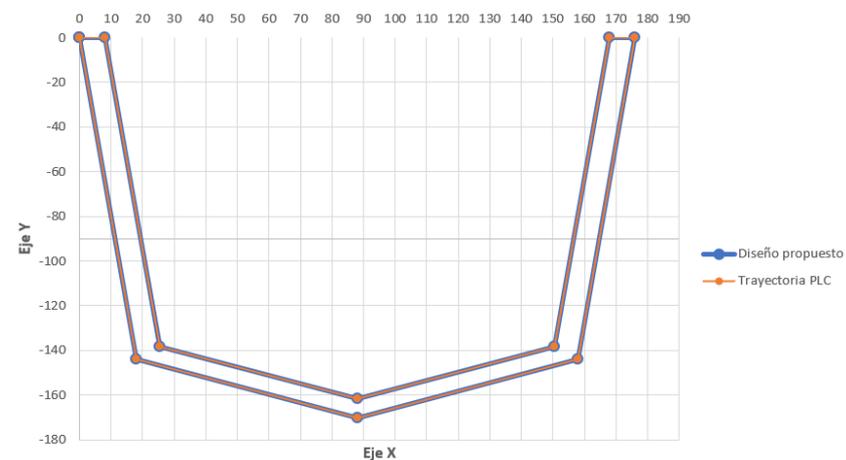


## Prueba del sistema de control

- *Trayectoria del modelo 2*

Distancia X	Distancia Y	Distancia PLC X	Distancia PLC Y
0	0	0	0
18	-144	17,9988	-144,0000
88	-170	88,0005	-169,9992
158	-144	158,0023	-144,0000
176	0	176,0010	0
167,94	0	167,9430	0
150,67	-138,19	150,6710	-138,1896
88,01	-161,47	88,0090	-161,4696
25,35	-138,19	25,3470	-138,1896
8,08	0	8,0750	0
0,02	0	0	0

Comparación de trayectorias

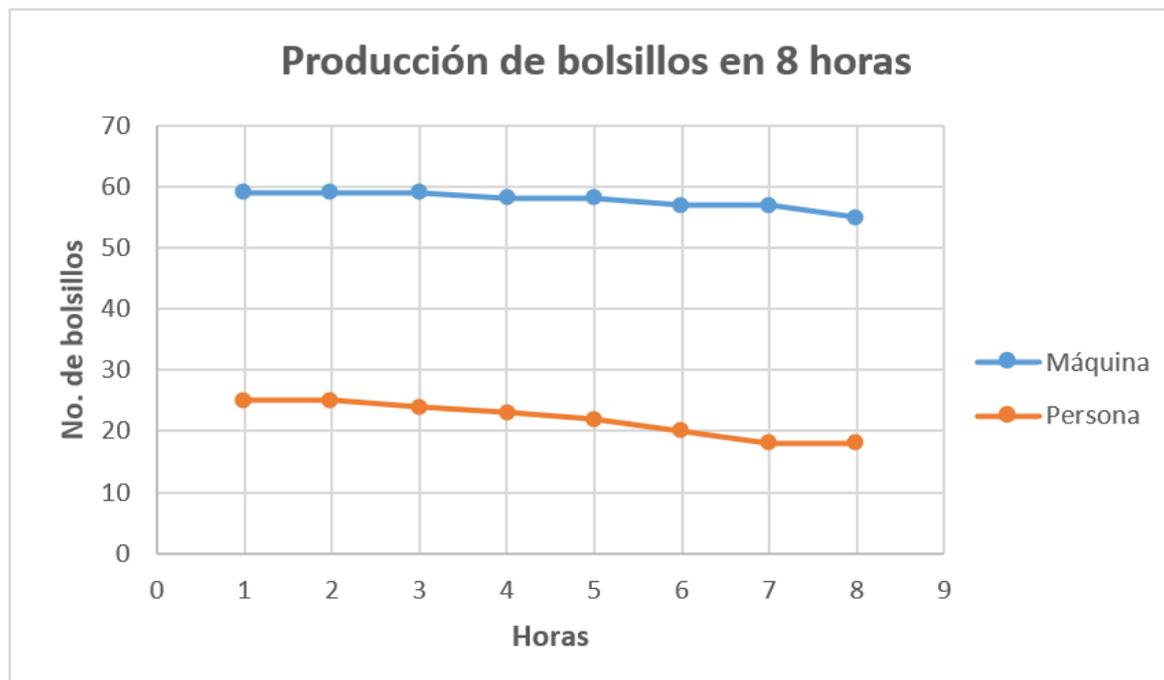


## Prueba de monitoreo inteligente

Operario	Hora	Fecha	Producción	Motor eje X	Motor eje Y	Motor eje Z	Corte de hilo	Posicionamiento de aguja
Andrés	10:08:00	27/7/2023	1	0	0	0	0	0
Andrés	10:10:32	27/7/2023	2	1	0	0	0	0
Andrés	10:13:04	27/7/2023	3	0	1	0	0	0
Andrés	10:15:36	27/7/2023	4	0	0	1	0	0
Andrés	10:18:08	27/7/2023	5	0	0	0	1	0
Andrés	10:20:40	27/7/2023	6	0	0	0	0	1
Andrés	10:23:12	27/7/2023	7	0	1	0	0	1
Andrés	10:25:44	27/7/2023	8	0	1	0	1	0
Andrés	10:28:16	27/7/2023	9	1	0	1	0	0
Andrés	10:30:48	27/7/2023	10	0	1	1	0	0



## Prueba de tiempo de producción



## Método T-Student

Realizamos esta validación con el 99% de confiabilidad, a continuación, se presentan las diferentes hipótesis:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo con la máquina para aplicación de bolsillos en pantalón jean es menor a la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo hecho manualmente.
- Hipótesis alternativa ( $H_1$ ): la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo con la máquina para aplicación de bolsillos en pantalón jean es mayor a la eficiencia en el tiempo de producción de un bolsillo hecho manualmente.



# Validación de Hipótesis

No. de prueba	Tiempo máquina (s)	Tiempo persona (s)	Diferencia
1	60	145	85
2	59	148	89
3	62	143	81
4	61	144	83
5	60	141	81
6	59	146	87
7	60	143	83
8	58	144	86
9	61	142	81
10	62	150	88
11	61	151	90
12	59	148	89
13	63	147	84
14	65	144	79
15	59	143	84
16	61	148	87
17	63	142	79
18	60	147	87
19	58	149	91
20	66	152	86

*Resultados :*

$$DE = 3,598$$

$$t = 105.65$$

$$g.l = 19$$

- Como se estableció una confiabilidad de 99%, el valor t obtenido por tabla es de 2.539

$$105.65 > 2.539$$



## Conclusiones

- Se diseñó, construyó e implementó un sistema automatizado para la aplicación de bolsillos a parche en jeans mediante un cabezal de costura en eje eléctrico y monitorización inteligente en la empresa Coditex, con un aumento de la producción diaria en la costura de bolsillos en pantalones del 136%, con esto se tiene que el tiempo de producción por cada bolsillo se redujo, el promedio de tiempo de aplicación por cada bolsillo es de 60.85 segundos, por lo que es un resultado favorecedor para la producción de cada lote.
- Las pruebas del sistema neumático aplicado en la máquina nos arrojaron un 100% de efectividad al trabajar a una presión de 60 psi, esta presión es mayor a la calculada para poder garantizar el funcionamiento adecuado de los cilindros de doble efecto.
- Se seleccionó el acero ASTM A36 para la estructura se verifica que su resistencia a la tracción, elasticidad y dureza cumplen con las características necesarias para realizar el trabajo propuesto, con un contenido de carbono máximo de 0.29% se considera un acero suave, de acuerdo al análisis de esfuerzos realizados para este material el esfuerzo máximo de diseño es de 165 MPa y el esfuerzo flexionante real es de 8.05 MPa, por lo que el material no puede deformarse.



# Conclusiones y recomendaciones

- Mediante pruebas realizadas en la máquina determinamos que tiene una eficiencia de 97.7% en el eje X y una eficiencia del 99% en el eje Y, con una precisión de la máquina de 0.5 mm, con un driver controlado a 20000 pulsos por revolución, el cual nos brinda una seguridad al cumplir la trayectoria.
- Se obtuvo el promedio de tiempo que toma el proceso de doblado y costura de un bolsillo con la máquina, de este cálculo se alcanza el valor de 60,85 segundos por bolsillo, por otra parte, el promedio del mismo proceso hecho a mano es de 145,85 segundos, esto significa que hay un aumento de 58,28% en el tiempo de producción de un bolsillo, también logrando reducir el número de operarios a la mitad para el proceso de aplicación de bolsillos.
- En las pruebas de los sistemas de seguridad como el botón de paro de emergencia, finales de carrera y posicionamiento de la aguja se alcanzó una efectividad del 100%.



## Recomendaciones

- Para el diseño de un mecanismo automatizado que se acoplará a una máquina de coser hay que tomar en cuenta el tipo de mecanismo de costura, la velocidad de avance y la velocidad de penetración de la aguja.
- Para la implementación del sistema neumático es indispensable tomar en cuenta los cálculos de diseño y lo disponible en la fábrica donde se implementará la máquina.
- Al implementar los ejes X e Y, para el movimiento de la costura debemos tomar en cuenta las relaciones de los mecanismos implementados en cada eje para realizar una trayectoria eficiente.
- Al momento de programar los motores de los ejes debemos tomar en cuenta la configuración de los drivers de acuerdo a la precisión requerida por la empresa.
- Al ser el sistema de control un PLC debemos tomar en cuenta que la configuración de los motores viene dada por la cantidad de pulsos necesarios y la frecuencia requerida para enviar pulsos, estos datos se obtienen al programar una velocidad determinada de avance.
- El PLC al aceptar valores enteros, en configuración baja de pulsos en los drivers ocasiona una descoordinación entre los ejes, por lo cual, hay que establecer una configuración en los drivers de 20000 pulsos por revolución.
- Para el encendido de la máquina se recomienda utilizar velocidades bajas para la búsqueda de los límites de los ejes X e Y, los cuales permiten con finales de carrera posicionar a la máquina en su cero máquina.
- La implementación del HMI, debe tomar en cuenta todas las especificaciones necesarias requeridas por la empresa para poder seleccionar un modelo adecuado.



# GRACIAS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA