



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

TEMA: Diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. En la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui.

AUTOR: CAMPAÑA RAMÍREZ, JEAN CARLOS
CEVALLOS ORTIZ, PATRICIO MARCELO

DIRECTOR: ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO

LATACUNGA, AGOSTO 2023



- 1. OBJETIVOS**
- 2. HIPÓTESIS Y VARIABLES**
- 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**
- 4. SELECCIÓN DE COMPONENTES**
- 5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**
- 6. PRUEBAS Y RESULTADOS**
- 7. CONCLUSIONES**
- 8. RECOMENDACIONES**



Objetivo general

- Diseñar, construir e implementar un sistema automático para la verificación de medidas de patrones, previo a la elaboración de prendas, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Objetivos específicos**
- Recopilar información acerca de la visión artificial, función, operaciones, parámetros necesarios para la elaboración de un programa de verificación de medidas de patrones textiles.
- Diseñar un sistema mecánico para el correcto movimiento de los ejes de traslación de la máquina.
- Diseñar un sistema eléctrico, electrónico con los sensores y actuadores necesarios para el funcionamiento del posicionamiento de la cámara dentro del área de trabajo.
- Desarrollar el algoritmo de procesamiento de imágenes y comunicación mediante el uso de Software libre para proceso de verificación de medidas en patrones de tela.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- **Objetivos específicos**
- Desarrollar el algoritmo de posicionamiento de la cámara en cuanto a los ejes de la máquina.
- Construir el sistema de visión artificial considerando los diseños mecánicos, eléctricos - electrónicos planteados previamente.
- Implementar en la empresa FAME S.A. en la estación de verificación de medidas el sistema desarrollado.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento de la maquina dentro del entorno industrial para validar el correcto funcionamiento de esta.



HIPÓTESIS Y VARIABLES

Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas en patrones, previo a la elaboración de prenda, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial permitirá reducir los tiempos en la estación de verificación de medidas en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui?

Variables

Variable Independiente

La implementación del sistema automático para la verificación de medidas de patrones mediante el uso de un sistema de posicionamiento y visión artificial.

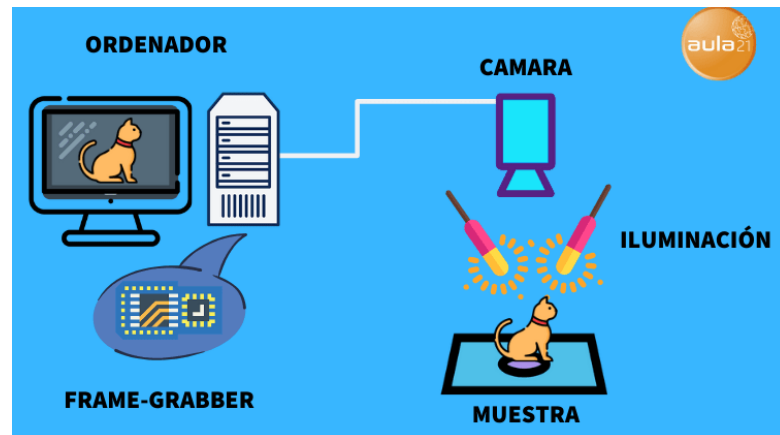
Variable Dependiente

El tiempo asociados con la verificación de medidas de patrones en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, Cantón Rumiñahui.



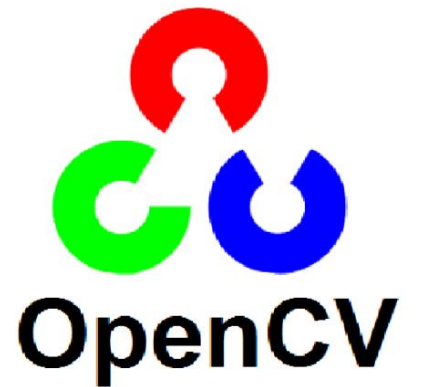
Visión Artificial

Es un campo inteligente artificial que, mediante la utilización de las técnicas adecuadas, nos permite la detección de defectos, la colocación y medición de piezas, es decir, identifica, clasifica y rastrea productos.



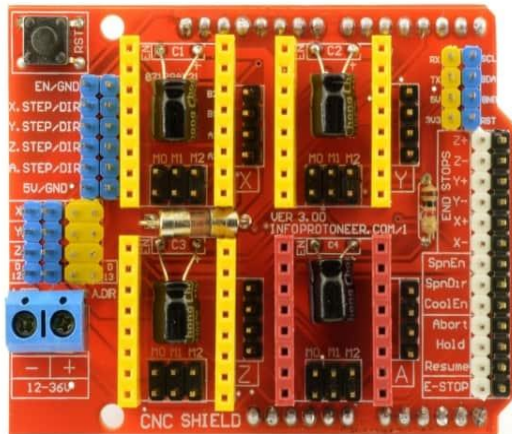
Open CV

Consiste en ser una biblioteca de software visual artificial y un aprendizaje automático de código abierto. Nos permite realizar aplicaciones visuales artificiales como la detección y el reconocimiento de objetos, monitorear objetos móviles, reconocimiento facial, calibración de cámaras, etc.



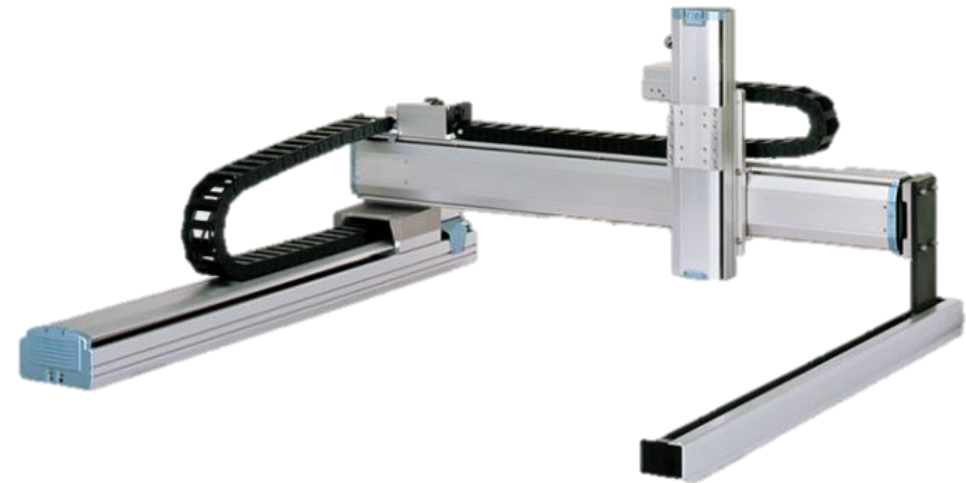
CNC Shield V3

Es un escudo Arduino UNO o Mega que se puede conectar fácilmente a un controlador de motor paso a paso como A4988.



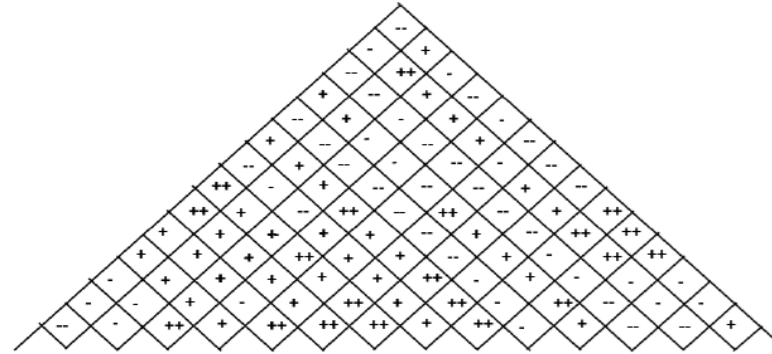
Robot Cartesiano

Los robots de tipo cartesiano, conocidos como robots lineales, los cuales son máquinas que se desplazan a lo largo de tres ejes cartesianos (X, Y, Z).



SELECCIÓN DE COMPONENTES

Matriz de calidad o QFD



Núm.	Necesidades	Métricas Núm. Imp.	Métricas															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	Ubicación de los sistemas	3	•		○	○					Δ	○	○	Δ		Δ		
2	Economía	4	○	•		Δ	•	•	•	○	•	Δ		•	•	○		
3	Diseño multifuncional	2	Δ	Δ	Δ	Δ	○	○	○	○	○	○	Δ		○	•		
4	Adquisición de datos	5	○		Δ	•				Δ		○	•	Δ		•		
5	Fácil mantenimiento	2	○	○	○	○	Δ	○	○	○	○	•	Δ	Δ		○		
6	Bajo consumo energético	3	Δ			Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		•		Δ		
7	Repuestos en el mercado nacional	5	○	Δ		•	○		Δ	Δ	○	Δ	Δ					
8	Monitoreo de las medidas	5		○	Δ	Δ				•	Δ		Δ		○	○		
9	Facilidad de operación	3	○	•	○	•	Δ	Δ	Δ	○	○	•	Δ		○	○		
10	Dimensiones	4	•	○	○	○	○	•	•	•	•	•	Δ	•	Δ	○		
11	Adaptación de motores	2	•		Δ	Δ			○	○	Δ	•		Δ	•	Δ		
12	Variedad de cámaras	2		Δ	○	Δ			Δ	Δ	•		•	Δ	•	•		
13	Programación en diferentes lenguajes	3		•	Δ	Δ			Δ	•	○	Δ	○	Δ	Δ	Δ		
14	Adquisición de la imagen	5	Δ	○	○	○			Δ	○	•	Δ	○	•	Δ	•		
15	Diseño de la estructura	4	•	○	•	•	•	•	•	•	Δ	•	○	○	Δ	○		
16	Control producto	4	○		•		Δ	○		•	•	•	Δ	•	Δ	•		
17	Dúctil	3	•	○			○	Δ	Δ	Δ	○		○		○			
Ponderación Absoluta			205	159	146	237	122	141	144	165	263	240	147	161	144	184	222	2680
Ponderación Relativa			7.65	5.93	5.45	8.84	4.55	5.26	5.37	6.15	9.81	8.955	5.48	6	5.37	6.86	8.28	100
Importancia Relativa			5	9	11	3	15	14	13	7	1	2	10	8	12	6	4	



SELECCIÓN DE COMPONENTES

Matriz de selección de conceptos

Criterios de selección	Conceptos			
	Opción A (Hierro)	Opción B (Aluminio)	Opción C (Acero)	Opción D (Cobre)
Es de bajo costo	+	-	+	-
Es de alta resistencia	+	0	0	-
Peso	-	+	+	-
Es de alta durabilidad	-	+	+	-
Facilidad de Manufactura	0	+	-	0
Suma "+"	2	3	3	0
Suma "0"	1	1	1	1
Suma "-"	2	1	1	4
Evaluación total	0	2	2	-4
Posición	2	1	1	3
¿Continuar?	No	Si	Si	No

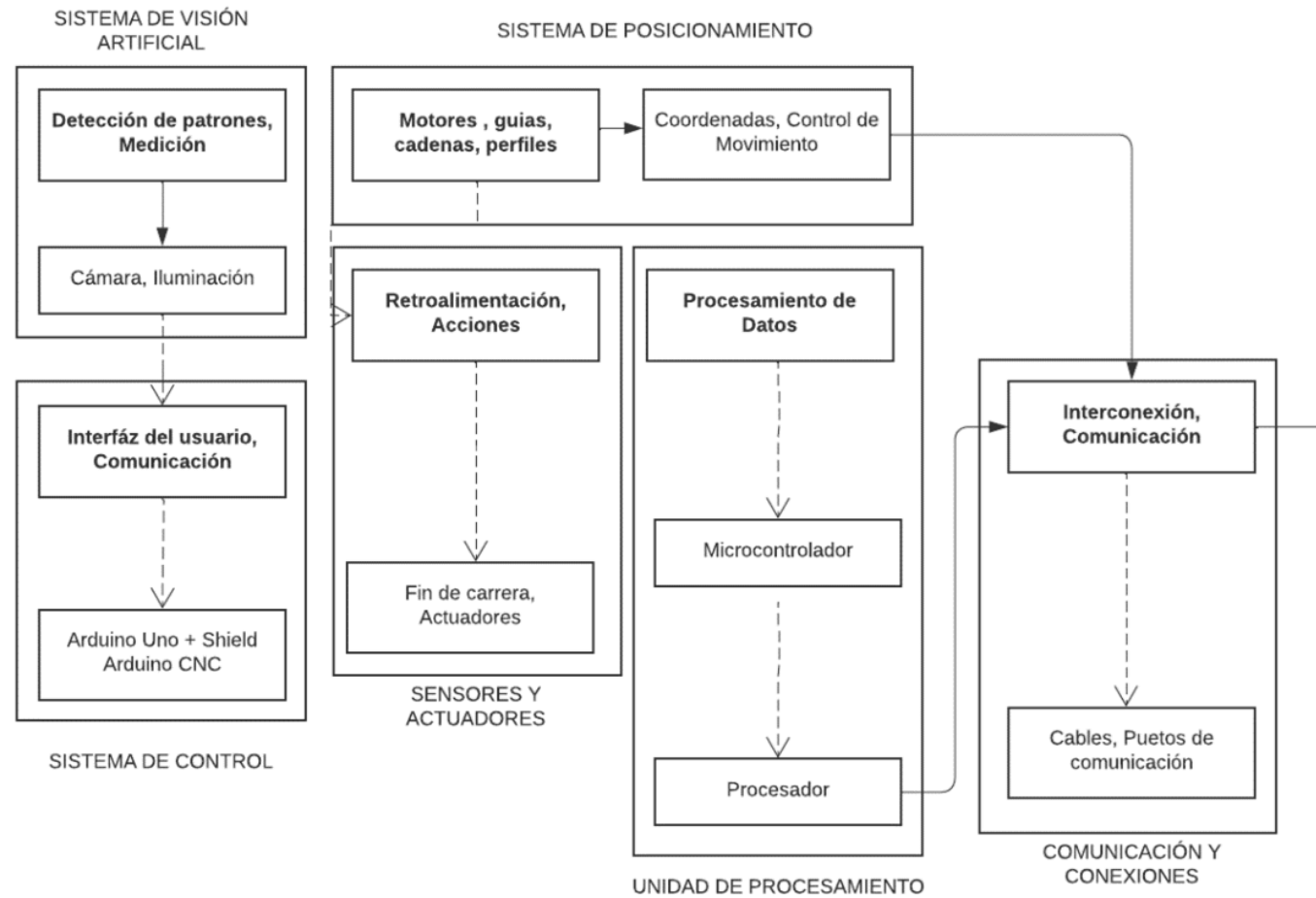
Valoración de conceptos

Criterios de Selección	Conceptos				
	Opción B (Aluminio)			Opción C (Acero)	
	Peso	Calificación	Evaluación Ponderada	Calificación	Evaluación Ponderada
Es de bajo costo	25%	4	1	5	1,25
Es de alta resistencia	15%	3	0,45	3	0,45
Peso	20%	5	1	4	0,8
Es de alta durabilidad	15%	4	0,6	4	0,6
Facilidad de Manufactura	25%	5	1,25	4	1
Total, Puntos			4,3		4,1
Lugar			1		2
Resultado			Desarrollar		No

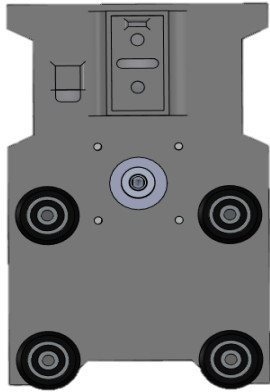


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

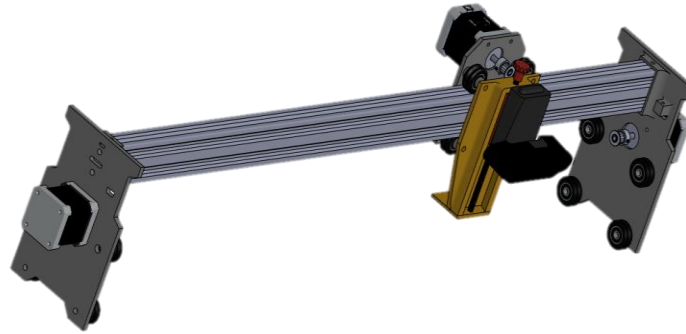
Agrupación de los elementos a del sistema de control de la máquina



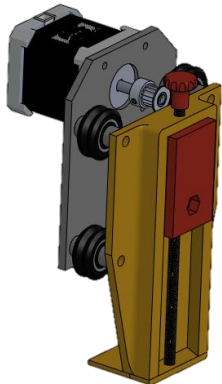
Modelado CAD



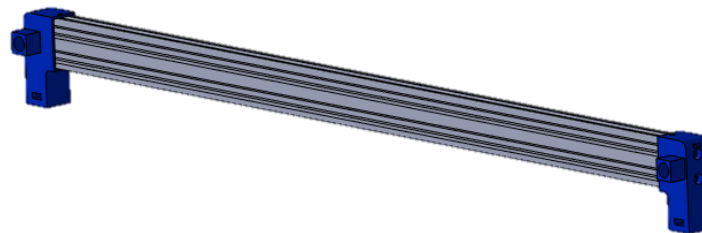
Carro de los ejes



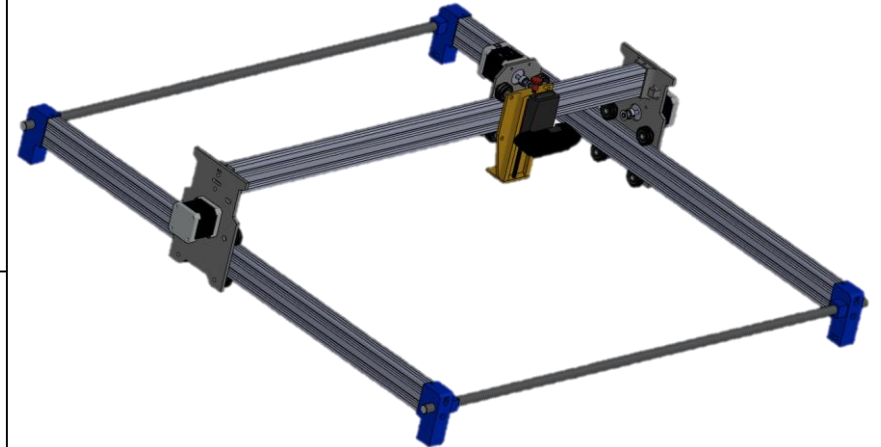
Eje de transmisión en "y"



Soporte de la cámara

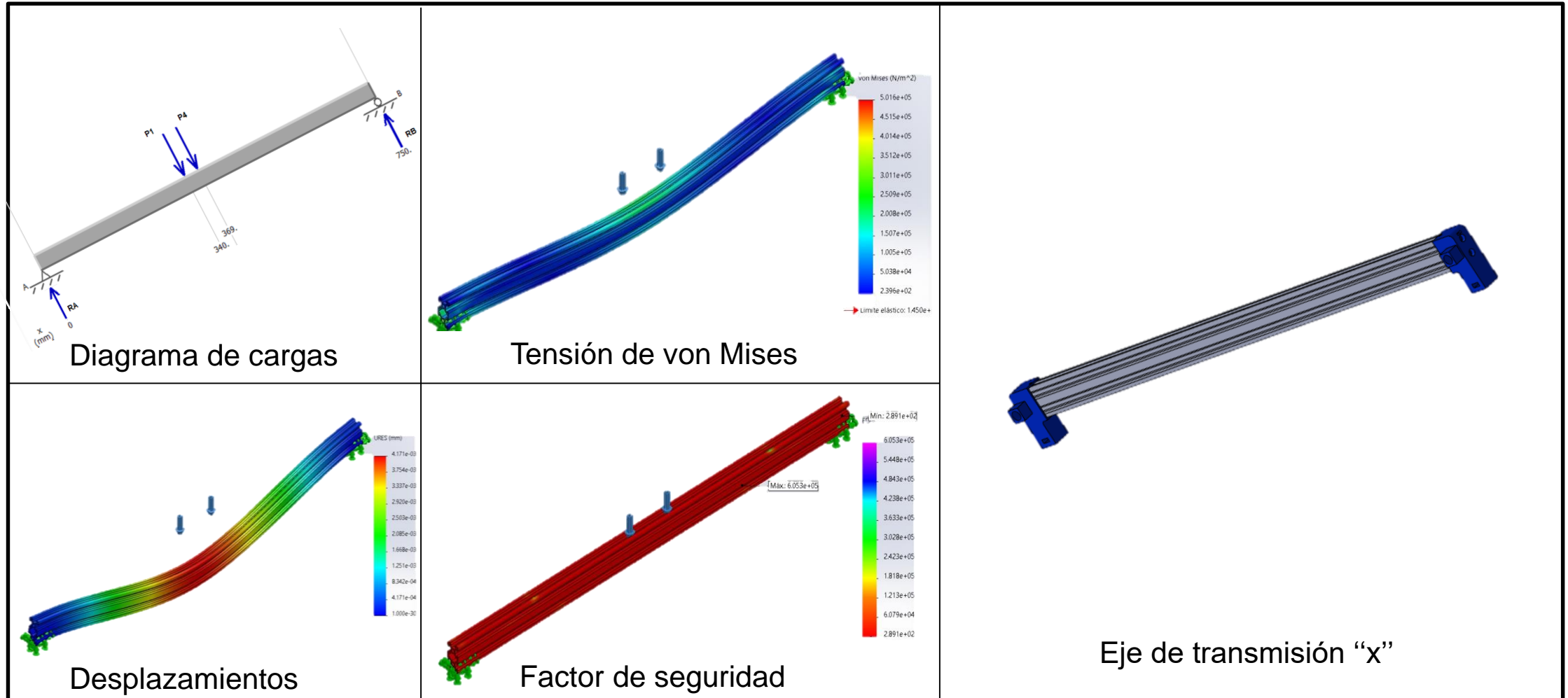


Eje de transmisión en "x"

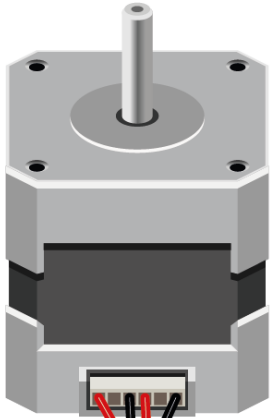


Diseño de la estructura

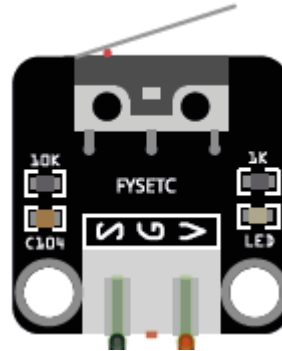
Modelado CAD Simulación



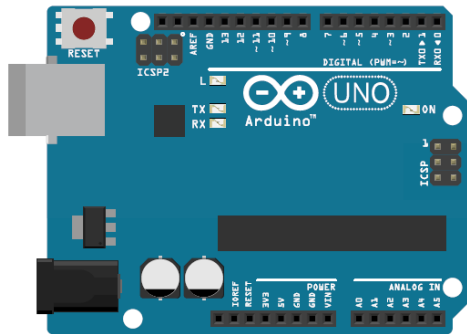
Diseño eléctrico - electrónico



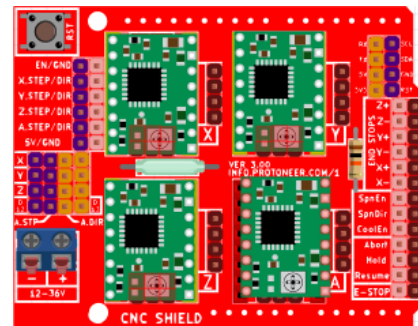
Motor paso a paso



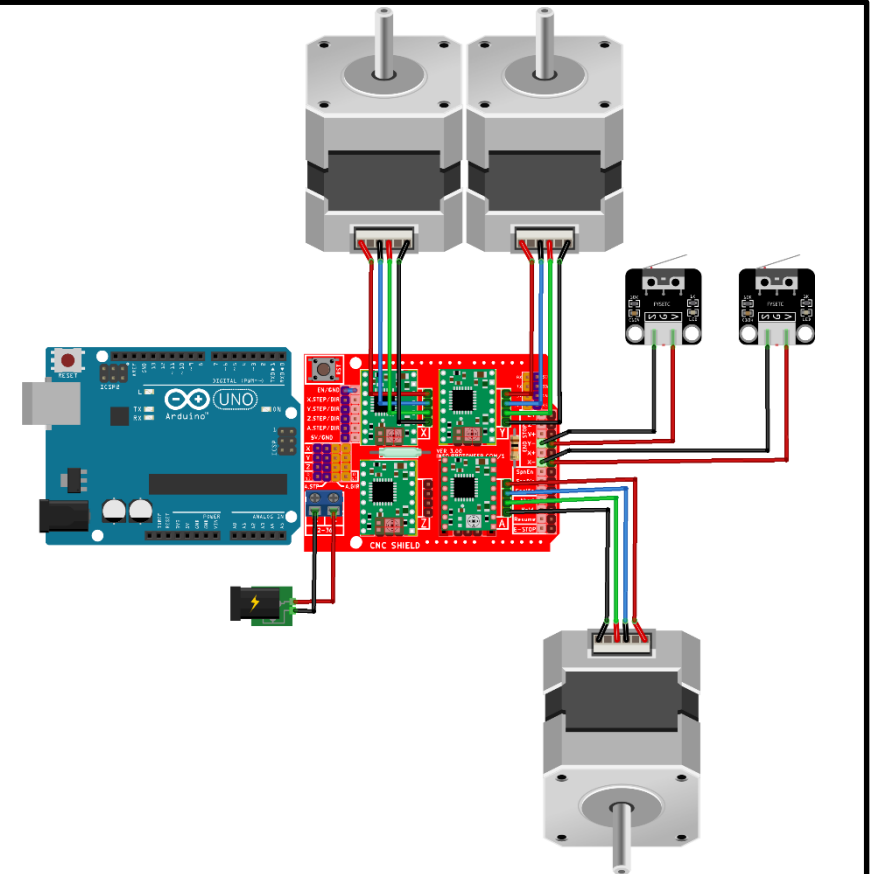
Final de carrera



Arduino Uno R3



Placa de control CNC Shield V3



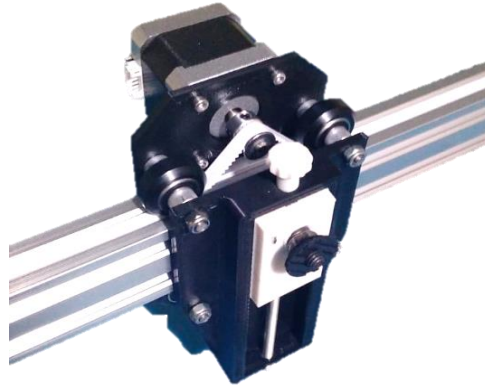
Diseño eléctrico - electrónico

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Construcción del sistema mecánico y eléctrico - electrónico



Eje "x" y "y" unidos



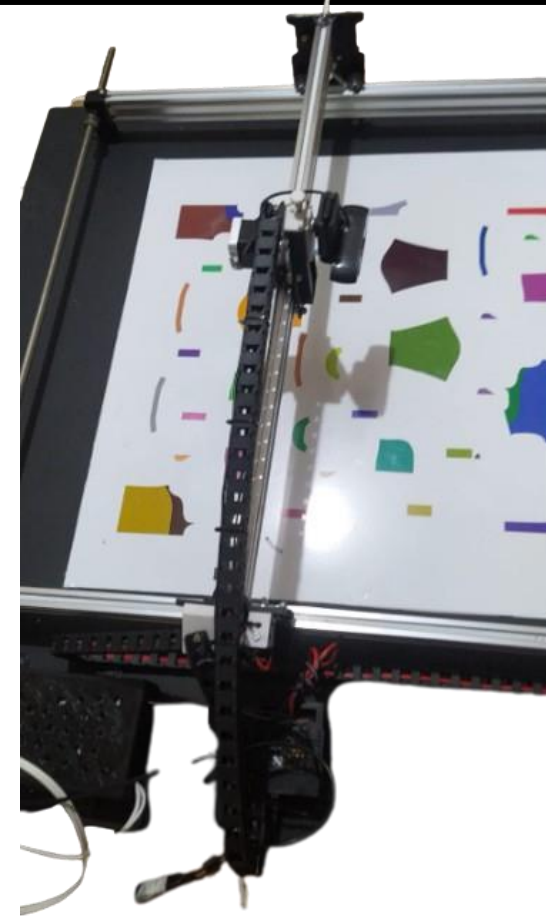
Carro y soporte de la cámara



Arduino Uno + Shield CNC



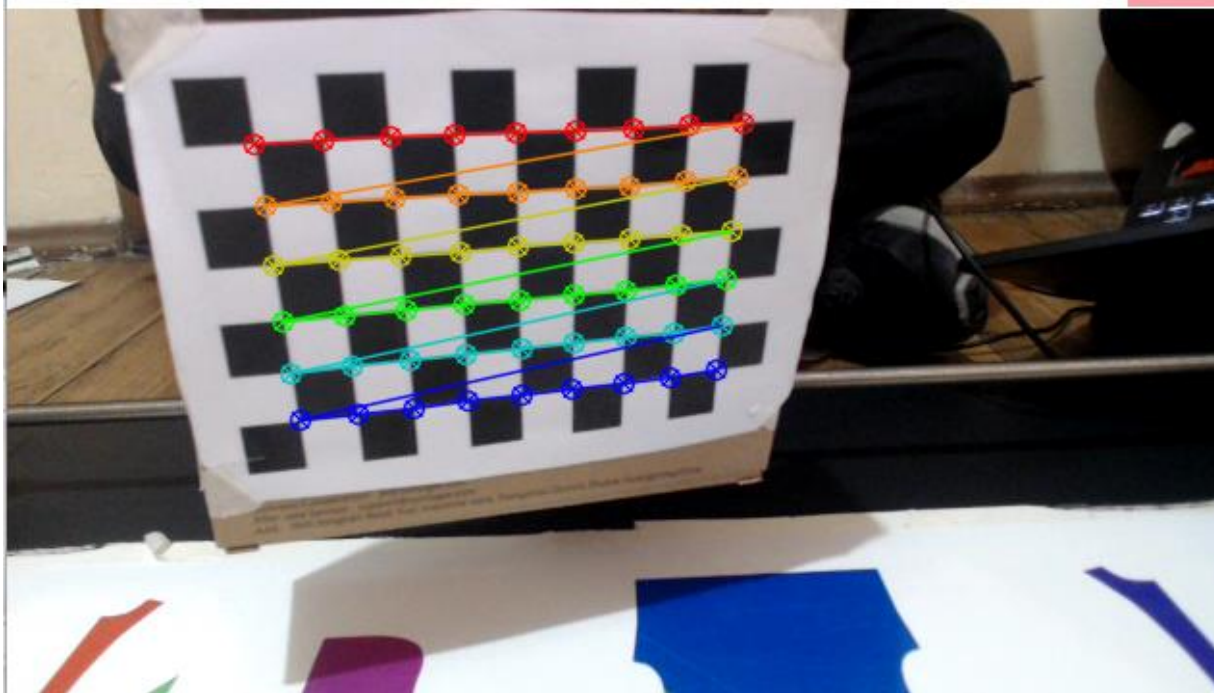
Fuente, motores y cadena



Sinergia de las partes mecánica y eléctrica



Calibración de la cámara



```
img_dir = "./pic/RGB_camera_calib_img"  
shape_inner_corner = (9,6)  
size_grid = 0.018
```

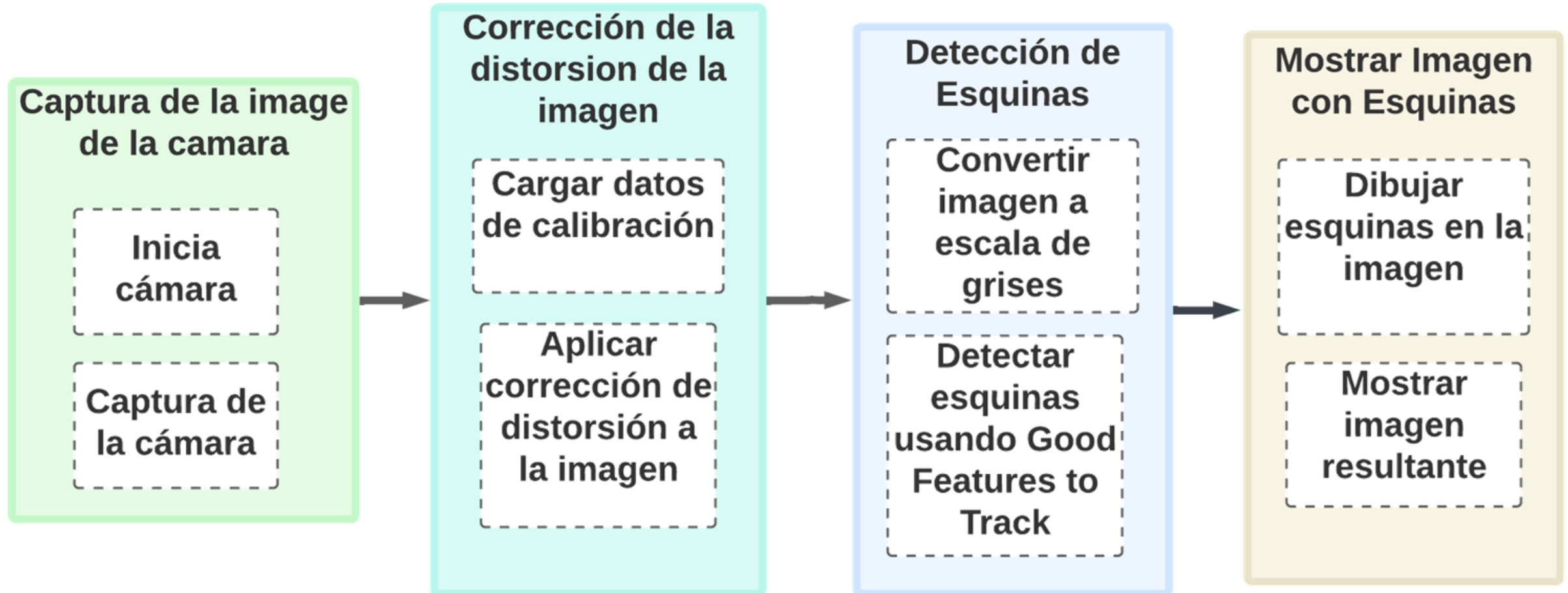
Zhengyou Zhang

```
In [4]: runfile('C:/Users/patic/Desktop/tesis/  
PythonApplication1/image_example.py', wdir='C:/  
Users/patic/Desktop/tesis/PythonApplication1')  
[[468.66162328  0.          315.15873926]  
 [  0.          468.62275559 171.7253879 ]  
 [  0.           0.           1.          ]]
```

```
[[ 3.03850858e-02 -2.36904587e-01 -7.86618592e-03  
-1.61728321e-04  
 2.61558207e-01]]
```



Algoritmo de visión artificial



Configuración del firmware

$$\frac{\text{Pasos}}{\text{mm}} = \frac{(\text{Pasos del motor})(\text{Micropasos})}{(\text{Separacion de dientes de correa})(\#\text{Dientes polea})}$$

$$\frac{\text{Pasos}}{\text{mm}} = \frac{(200)(4)}{(2)(16)}$$

$$\frac{\text{Pasos}}{\text{mm}} = 25$$

Valores ingresados en el Grbl

\$100 = 25.000 (X-axis travel resolution, step/mm)

\$101 = 25.000 (Y-axis travel resolution, step/mm)

\$22 = 1 (Homing cycle enable, boolean)

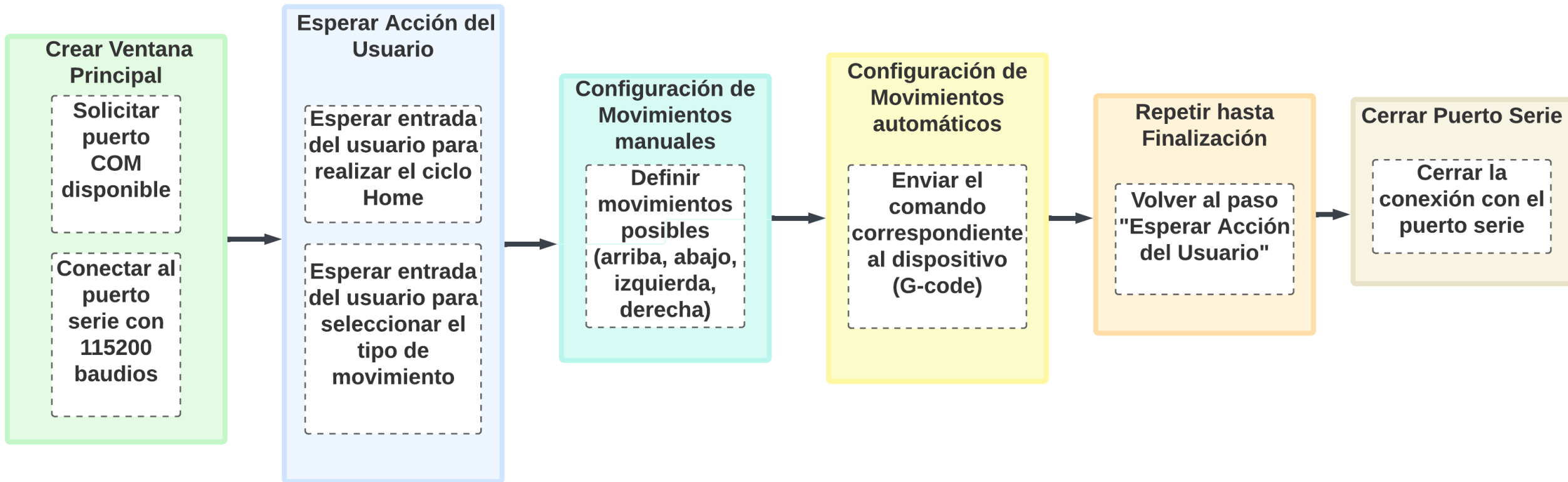
\$23 = 3 (Homing direction invert, mask)

\$24 = 500.000 (Homing locate feed rate, mm/min)

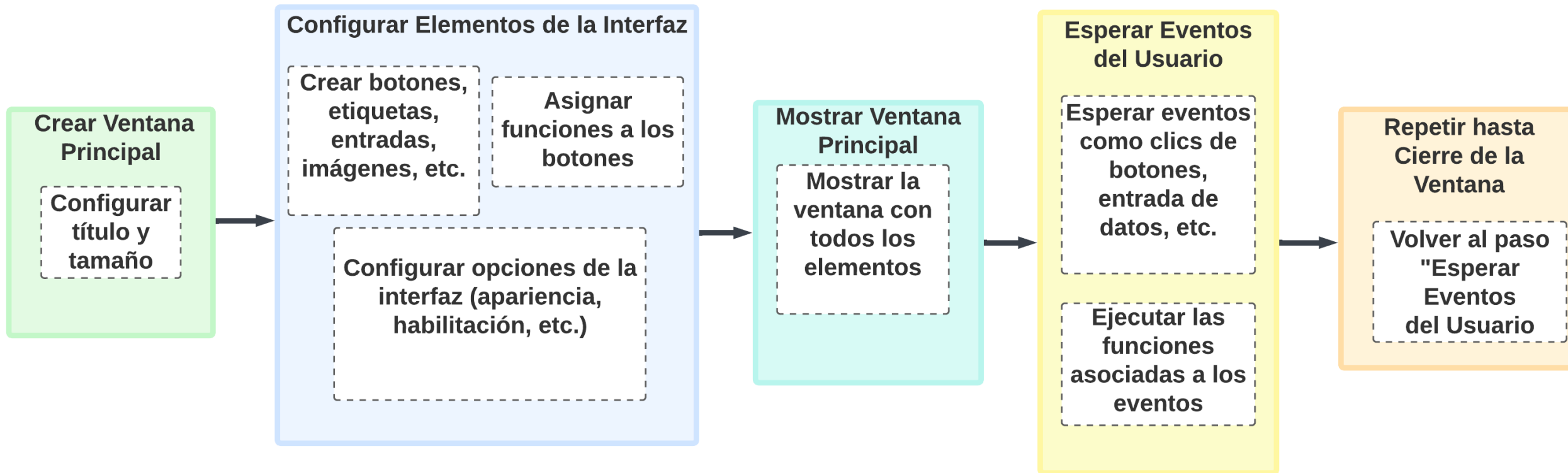
\$25 = 5000.000 (Homing search seek rate, mm/min)



Algoritmo de posicionamiento



Creación de la interfaz grafica



Interfaz grafica

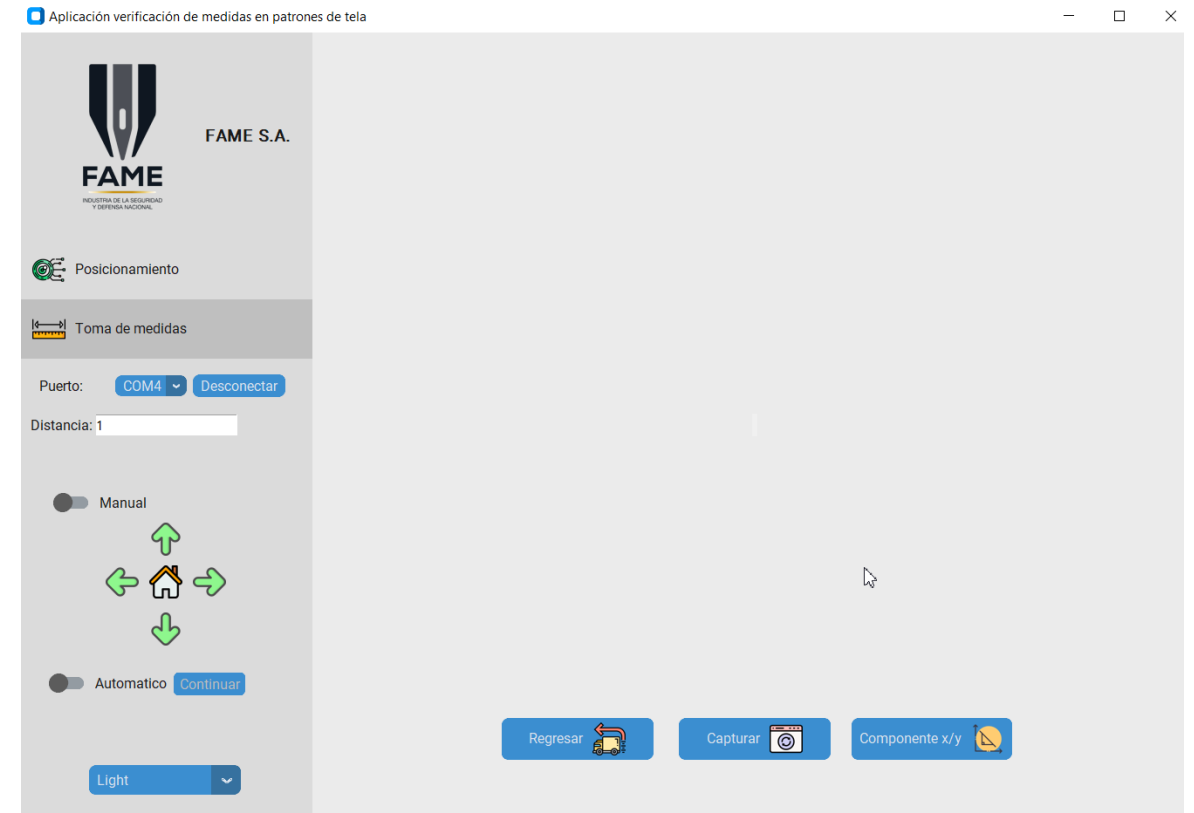
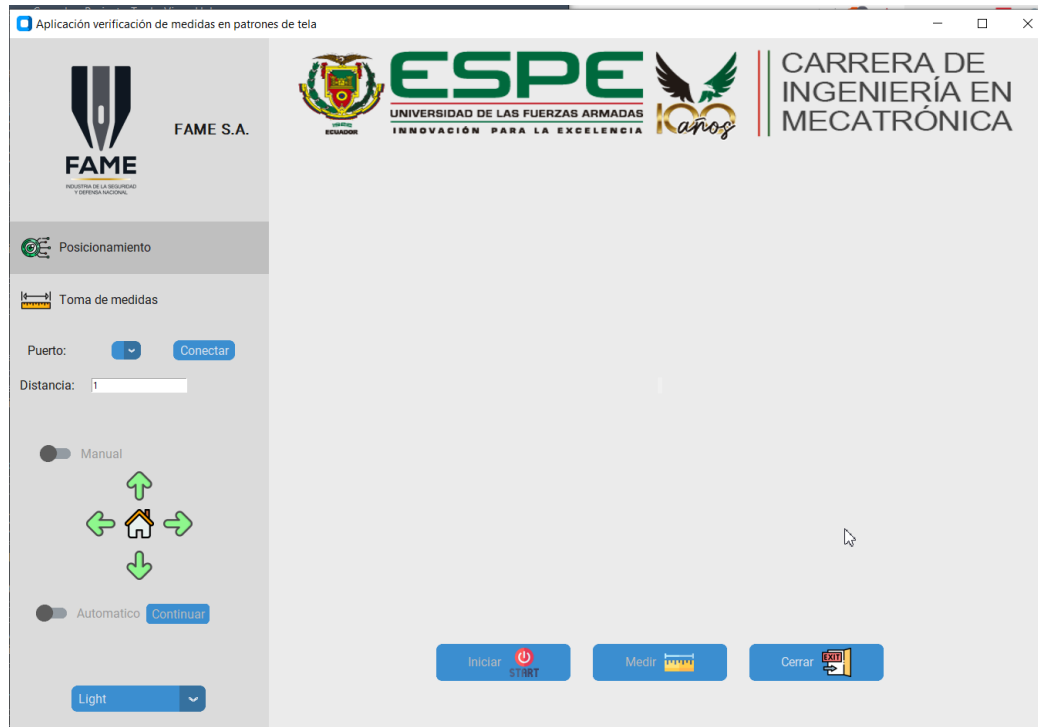
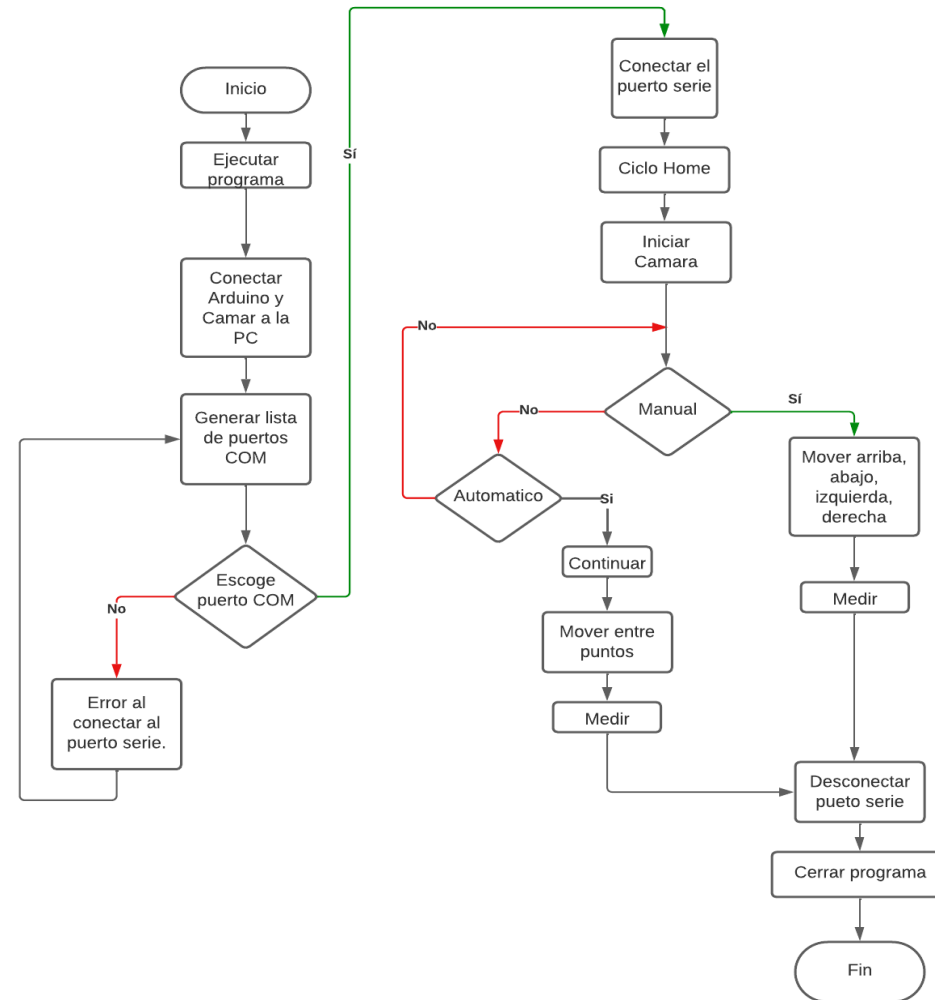
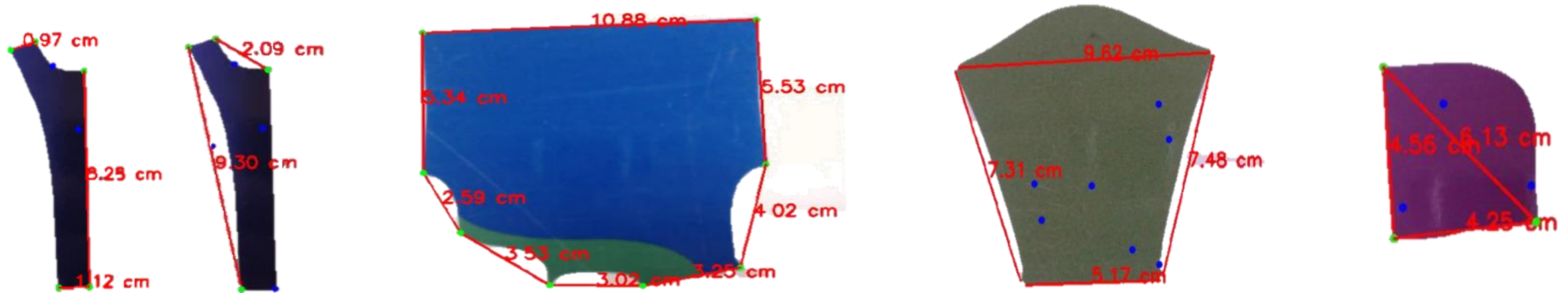


Diagrama de funcionamiento del algoritmo de visión y posicionamiento



Pruebas Funcionales

Para ello se empieza a tomar pruebas de medición de los patrones, para tomar las medidas y encontrar el margen de error, entre varias mediciones en el mismo patrón en diferentes horas del día.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Recolección de datos Visión Artificial

Se lleva a cabo la recolección de datos durante el funcionamiento del sistema. Se registran las mediciones obtenidas por la cámara y los sensores de final de carrera, así como las medidas obtenidas por el programa.

Prueba 1 Patrón 4		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
4.6	4.56	0.877193
4.3	4.25	1.1764706
6.2	6.13	1.141925

Prueba 1 Patrón 3		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
9.6	9.62	0.207900208
5.25	5.17	1.547388781
7.4	7.48	1.069518717
7.3	7.31	0.136798906

$$\text{Error absoluto\%} = \left| \frac{\text{Medición Real} - \text{Medición Verdadera}}{\text{Medición Verdadera}} \right| \times 100\%$$

Prueba 1 Patrón 2		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
10.75	10.88	1.194852941
5.5	5.53	0.542495479
4	4.02	0.497512438
3.3	3.24	1.851851852
3.05	3.02	0.993377483
3.65	3.57	2.240896359
2.6	2.55	1.960784314
5.4	5.34	1.123595506

Prueba 1 Patrón 1		
Medición Real	Medición Verdadera	% Error
8.3	8.28	0.241545894
1.15	1.12	2.678571429
1	0.97	3.092783505
2	2.09	4.306220096
9.35	9.3	0.537634409



Recolección de datos Recorrido Automático

Se lleva a cabo la recolección de datos de los tiempos en recorrer todos los patrones, en el modo automático.

Pruebas	
N°	Tiempo (minutos)
1	5.18
2	5.27
3	5.12
4	5.30
5	5.21
6	5.08
7	5.25
8	5.15
9	5.35
10	5.20
11	5.10
12	5.28
13	5.23
14	5.18
15	5.32



Análisis de datos

Para analizar los datos recopilados y determinar la validez del proyecto, se realizó un exhaustivo análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de medición de los patrones

Error Promedio Absoluto (MAE)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Medición Real_i - Medición Verdadera_i|$$

Error Cuadrático Medio (MSE)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Medición Real_i - Medición Verdadera_i)^2$$

Error Porcentual Promedio (MAPE)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Medición Real_i - Medición Verdadera_i|}{Medición verdadera_i} \times 100$$

Desviación Estándar del Error

$$D. E. = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Medición Real_i - Medición Verdadera_i)^2}$$



PRUEBAS Y RESULTADOS

Valores de los patrones del sistema de Visión Artificial

Patrón 1			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
1.029	2.688	2.712%	1.347

Patrón 3			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
0.427	0.2353	1.057%	0.485

Patrón 2			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
0.673	0.771	1.123%	0.483

Patrón 4			
MAE	MSE	MAPE	Desviación Estándar
0.516	0.2913	1.100%	0.540



Valores del tiempo de recorrido automático

Se procede a realizar el promedio de los tiempos en la superficie de la máquina, mediante la siguiente ecuación:

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

Procedemos a reemplazar los valores de los tiempos en la ecuación, sobre N que es la suma de las pruebas realizadas.

$$\bar{x} = \frac{5.18 + 5.27 + 5.12 + 5.30 + 5.21 + 5.08 + 5.25 + 5.15 + \dots (\text{min})}{15}$$

$$\bar{x} = 5.20 \text{ min}$$



Valores del tiempo de recorrido automático

Para calcular el tiempo que se estima que recorrerá las dimensiones de 2 metros^2 , hacemos uso de una regla proporcional, la cual relaciona la superficie por la altura sobre las dimensiones que buscamos.

$$2: 0.75$$

$$\textit{Tiempo estimado} = \frac{1}{0.375} \times 5.20 \text{ min}$$

$$\textit{Tiempo estimado} \cong 14 \text{ min}$$

Estos resultados indicaron que se mantiene en niveles manejables y no excesivos, indicando que el sistema de visión artificial para verificar las medidas de los patrones ha logrado un buen nivel de precisión y el de posicionamiento optimiza el tiempo de llegada.



Validación de la Hipótesis

¿El diseño, construcción e implementación de un sistema automático para la verificación de medidas en patrones, previo a la elaboración de prenda, mediante la aplicación de un sistema de posicionamiento y visión artificial permitirá reducir los tiempos en la estación de verificación de medidas en la empresa FAME S.A. en la provincia de Pichincha, cantón Rumiñahui?



PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de la Hipótesis

Se puede separar en dos aspectos fundamentales:

- La reducción de tiempos en la estación de verificación.
- La correcta medición de los patrones.

Patrón N°	1	2	3	4
Valor obtenido	2.712 %	1.123%	1.057%	1.100%
Margen de error	5%	5%	5%	5%
¿Valido?	Si	Si	Si	Si

Teniendo en cuenta todos los factores y resultados en el sistema de posicionamiento para la verificación de medidas en patrones, se ha logrado validar la hipótesis planteada en la investigación, dado que el valor que arroja nuestro sistema es de promedio 5.20 minutos en todo el trayecto, dando un valor aproximado de 14 minutos, a escala real. Tomando en consideración los datos obtenidos con la empresa el tiempo en cada verificación es de 30 minutos, reduciendo el tiempo de producción en menos de la mitad que normalmente se hace del método manual.



Conclusiones

- El sistema desarrollado ha demostrado ser altamente eficaz y preciso en la verificación de medidas en patrones, los resultados de las pruebas muestran una correspondencia cercana entre las medidas obtenidas por el sistema y las medidas reales, lo que garantiza una alta calidad.
- La implementación del sistema ha permitido optimizar el uso de recursos, reduciendo el tiempo requerido para el proceso de verificación de medidas. Esto se traduce en una mayor eficiencia y rentabilidad para la empresa.
- La automatización del proceso de verificación de medidas ha eliminado la dependencia de varios operadores humanos, reduciendo la posibilidad de errores y mejorando la precisión en la toma de medidas. Esto ha contribuido a la mejora de la calidad del producto final.



Conclusiones

- El diseño de la estructura y la integración de tecnologías como la visión artificial y el posicionamiento han brindado al sistema una mayor adaptabilidad y flexibilidad para su uso en diferentes tipos de patrones y prendas de vestir. Esto permite una mayor versatilidad en la producción y facilita futuras expansiones y mejoras.
- El análisis de costos ha demostrado que la inversión realizada en la implementación del sistema automatizado es altamente viable desde el punto de vista económico. Los beneficios obtenidos en términos de reducción de costos de producción, mejora de la calidad y optimización de recursos, hacen que el proyecto sea financieramente sostenible y rentable para la empresa.



Recomendaciones

- A pesar de los resultados positivos obtenidos, se sugiere seguir buscando oportunidades de optimización y mejora del sistema, puede incluir la exploración de nuevos algoritmos de visión artificial, la incorporación de sensores adicionales para mejorar la precisión y la implementación de técnicas de control avanzadas.
- Para garantizar el óptimo funcionamiento y mantenimiento del sistema, se recomienda brindar capacitación y formación adecuada al personal encargado de operar y mantener el sistema automatizado.
- La investigación y desarrollo en el campo de la visión artificial, la automatización y la robótica continúan avanzando rápidamente. Se sugiere seguir manteniéndose actualizado con los avances tecnológicos y considerar la posibilidad de incorporar futuras mejoras y actualizaciones en el sistema.



Recomendaciones

- Antes de implementar el sistema en una escala más amplia, se recomienda realizar una evaluación cuidadosa de su escalabilidad. Esto incluye considerar la capacidad del sistema para manejar un mayor volumen de producción, así como la posibilidad de integrarlo con otros procesos de la empresa.
- Una vez que el sistema se encuentre plenamente operativo, se sugiere establecer un sistema de monitoreo y seguimiento continuo para evaluar su desempeño y detectar posibles problemas o áreas de mejora. Esto asegurará que el sistema funcione de manera óptima y cumpla con los objetivos establecidos.





**“EL ÉXITO NO ES EL FINAL, EL FRACASO NO
ES FATAL: LO QUE CUENTA ES TENER EL
CORAJE DE CONTINUAR”
WINSTON CHURCHILL**

Muchas gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA