

**Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica**  
**Carrera de Mecatrónica**  
**Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del**  
**título de Ingeniero en Mecatrónica**

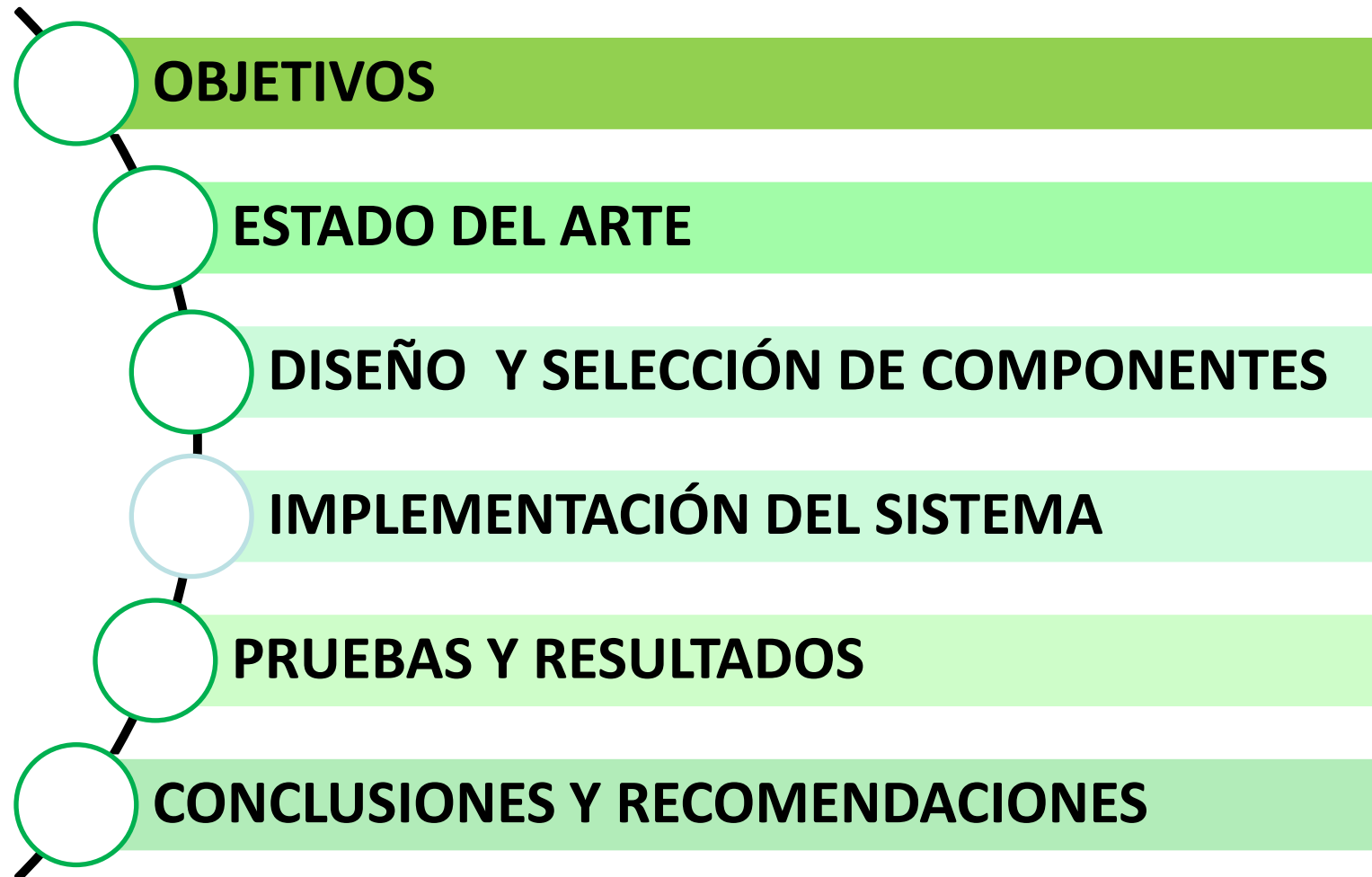
**Tema: Diseño e implementación de un sistema de Control de Calidad por Visión Artificial, indexada al CIM como estación de control de calidad.**

**Autor:** Calero Romo, Edson Ariel

**Director:** Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

**Latacunga, Agosto 2023**





---

## Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema de Control de Calidad por Visión Artificial, indexado al CIM como estación de control de calidad.

---

## Objetivos específicos

Analizar información preliminar y la línea base del proyecto.

---

Analizar las alternativas de solución y Determinar los parámetros de diseño.

---

Diseñar el sistema mecatrónico de la estación de control y la selección de los componentes que la conforman.

---

Construcción e Implementación del sistema de Control de Calidad por Visión Artificial y Realizar pruebas del funcionamiento.

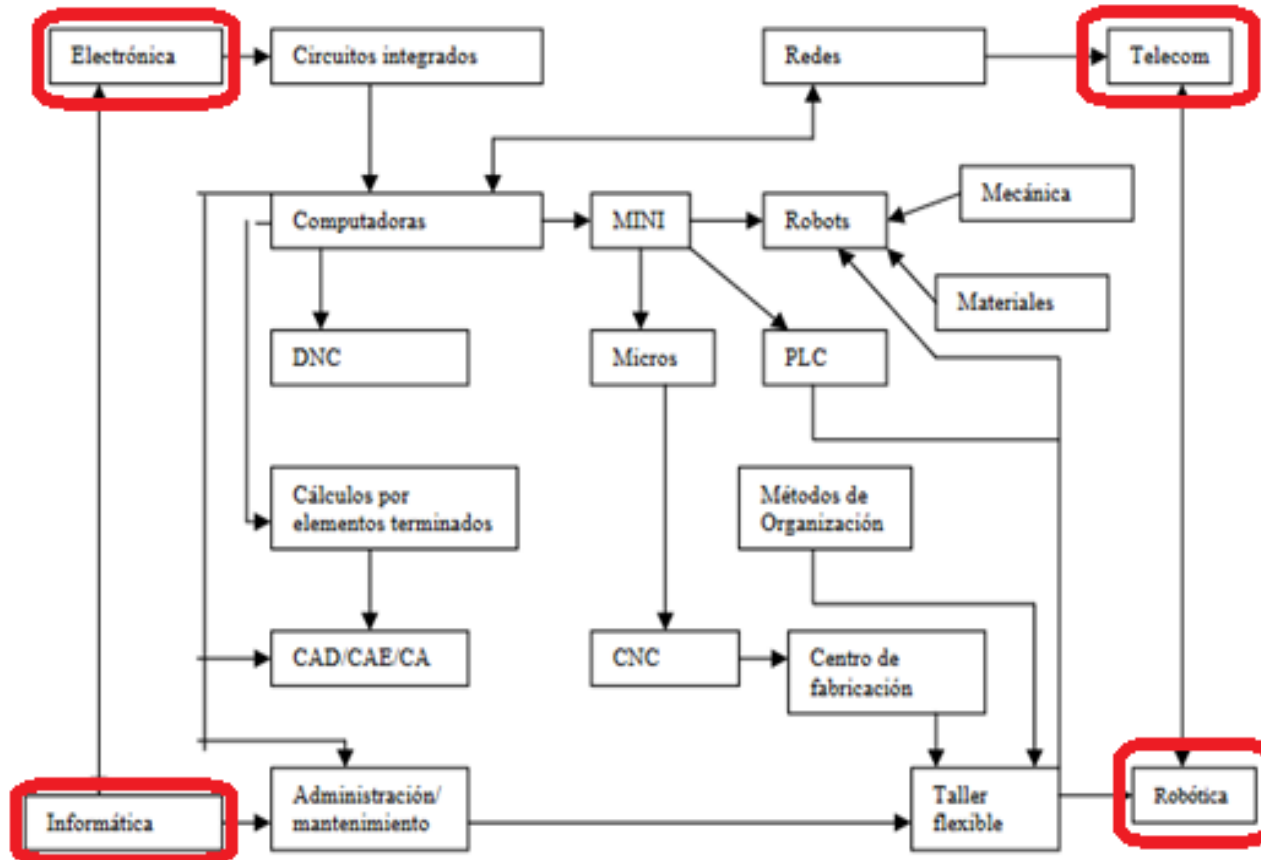
---

Realizar la operación de la estación de forma independiente e indexadas al CIM y la elaboración de las guías de prácticas.

---



## Manufactura integrada por computador CIM



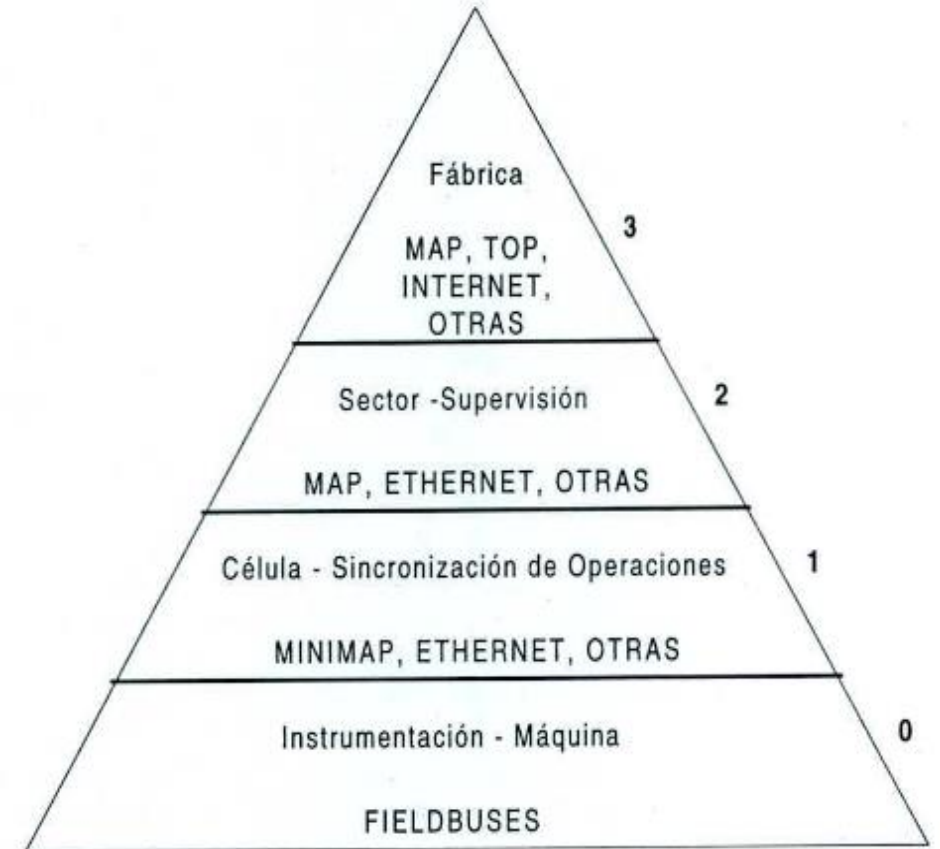
Centrada en la integración de tareas dentro y fuera de la empresa.

La forma que se comunican los elementos por vehículos guiados con trayectorias infinitas.

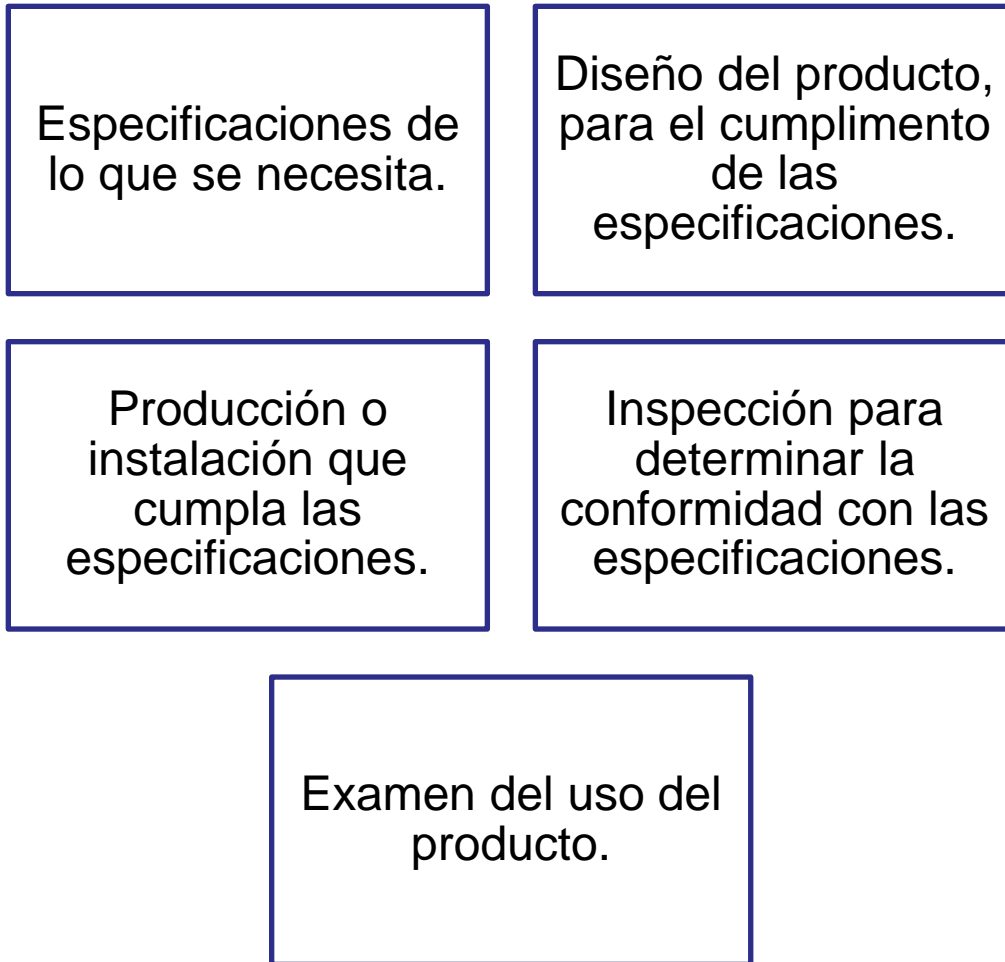
No se tiene una forma característica.

## Manufactura integrada por computador CIM

Ingeniería Asistida por Computador (CAE)		Bosquejo del producto
Manufactura Asistida por Computador (CAM)	Diseño Asistido por Computador (CAD)	Diseño
	Plan Asistido por Computadora (CAP)	Plan del proceso
		Programación NC
		Control de las maquinas NC, CNC, DNC y Robots.
		Control del Montaje
		Mantenimiento
	Calidad Asistida por Computador (CAQ)	Garantía de la Calidad

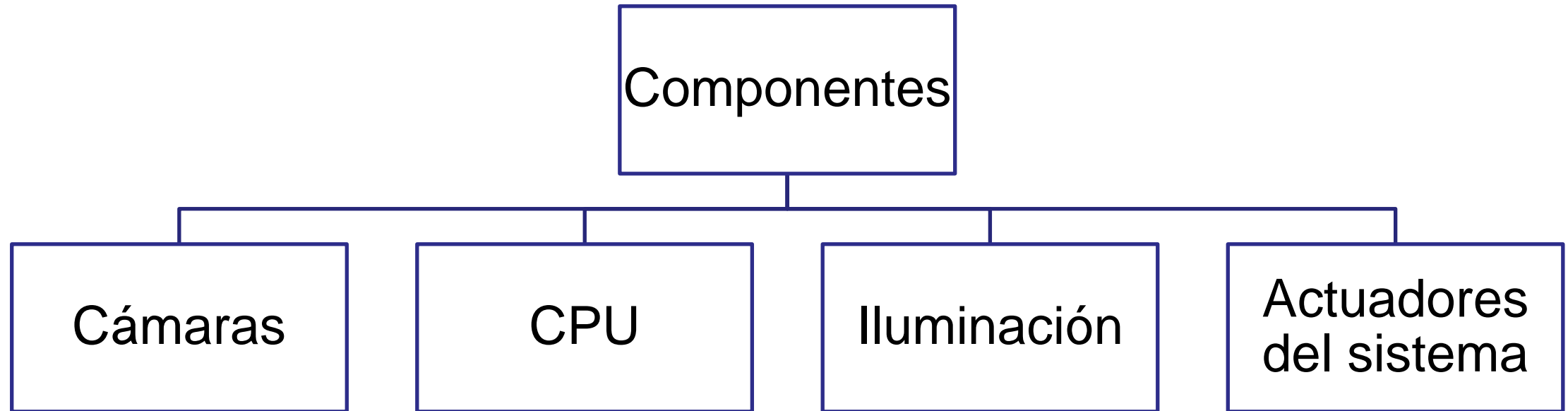


## Control de calidad por visión artificial



<b>Módulo de digitalización</b>	Convierte la señal de la cámara a una señal digital, con la finalidad de poder realizar procesamiento.
<b>Memoria de imagen</b>	Almacena la salida de digitalización para realizar el procesamiento.
<b>Módulo de visualización</b>	Convierte la señal digital presente en la memoria, la cual se puede visualizar en un monitor.
<b>Procesador de imagen</b>	Realiza el proceso de la interpretación de las imágenes capturadas por la cámara, para poder tener un análisis de eso.
<b>Módulo de entradas/salidas</b>	Este módulo permite controlar los dispositivos para realizar acciones sincronizada, para realizar la toma imágenes y dar resultados.
<b>Comunicaciones</b>	Existe varias vías de comunicación como I/O, ethernet o RS232.

**Control de calidad por visión artificial**



Dimensiones de las piezas a analizar

Características de la iluminación

Ambiente de medición

Disposición de cámaras





# Selección De Alternativas

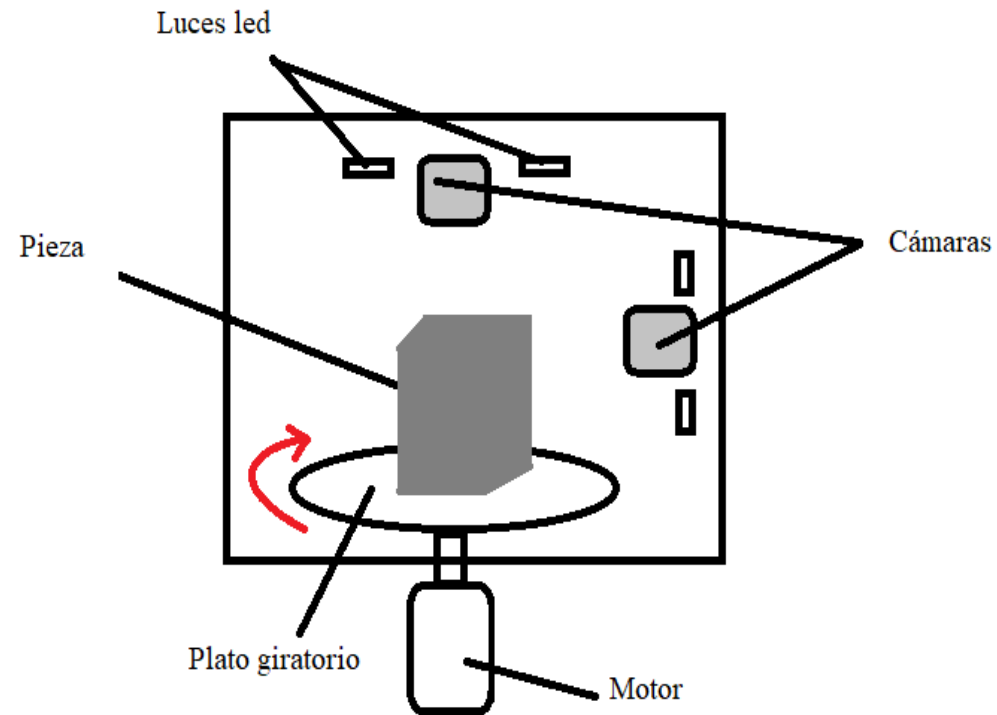
Características	Propuesta 1	Propuesta 2	Propuesta 3	Propuesta 4
Resolución	4	3	5	3
Alcance	4	3	4	4
Velocidad de captura	5	3	4	4
Interconexión entre los dispositivos	3	4	2	3
Tamaño	2	4	2	4
Peso	2	4	2	3
Sustitución	2	5	1	2
Interfaz para el usuario	2	5	2	2
Facilidad de uso	2	4	2	2
Mantenimiento	1	4	2	2
Ahorro de energía	2	4	3	3
Precio	2	4	3	3
Total	31	47	32	35

Por lo cual una vez observado en la tabla de criterios, la mejor propuesta de alternativas es la 2, la cual conforma por los siguientes objetos: cámaras digitales para computadoras, iluminación led, y el programa de procesamiento LabVIEW.

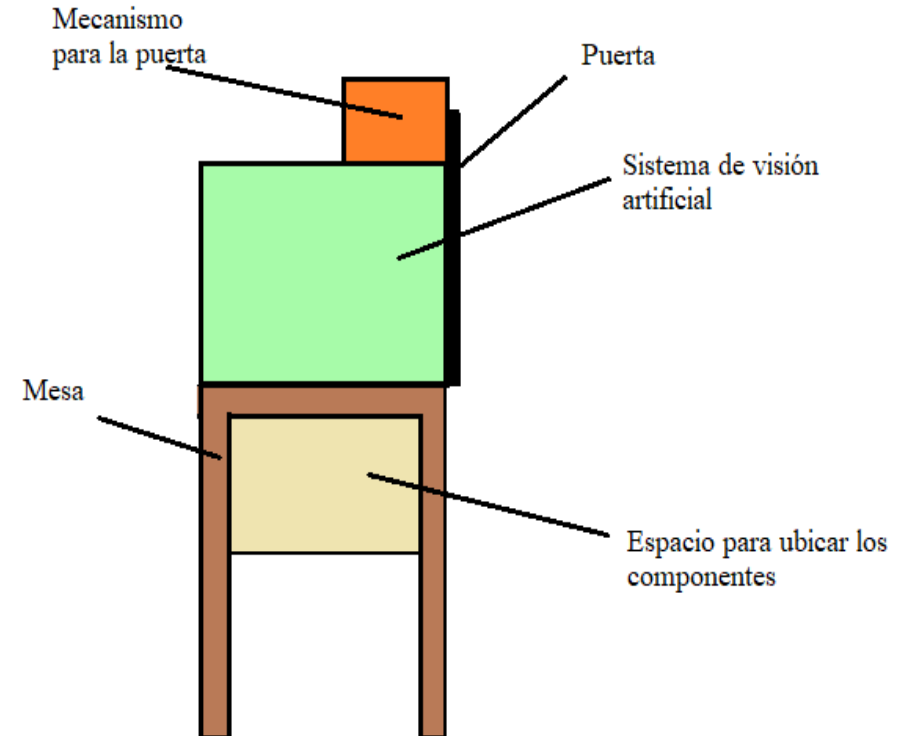


# DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

## Bocetos del sistema de visión artificial



## Bocetos del sistema de visión artificial



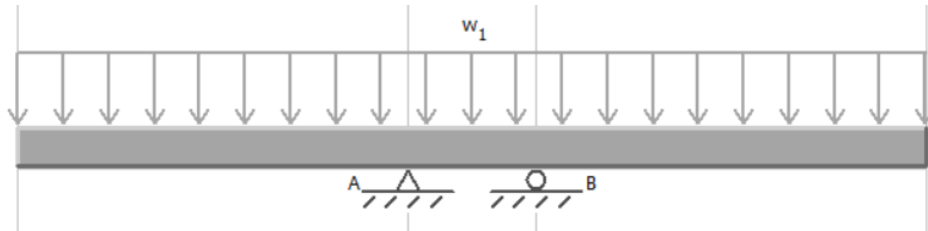
# DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

## Diseño del plato giratorio

Para el diseño del plato giratorio, debido a la complejidad que presenta, se realiza la pieza en impresora 3D:

$$m = 1kg \quad \text{material} = \text{PLA} \quad D = 220 \text{ mm}$$

Con estos datos se calcula el espesor del plato para obtener una deformación máxima de 0.46 mm, según (Garcia et al., 2016)



$$W_1 = \frac{m * g}{\text{distancia de contacto}} = \frac{1kg * 9.81 \frac{m}{s^2}}{0.22m} = 44.59 \frac{N}{m}$$

$$A = B = 2 * W_1 * a = 2 * 44.59 \frac{N}{m} * 47.25mm = 4.21 N$$

$$\delta = \frac{W_1 * a^3}{3 * E * I} [l(4) - a(4)]$$

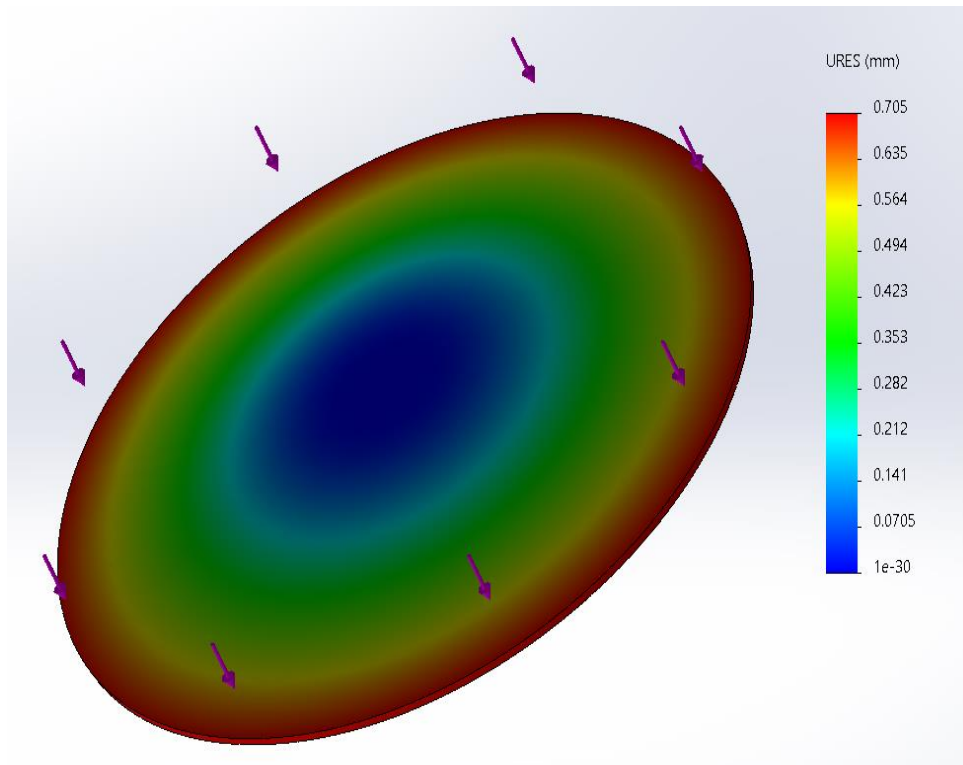
$$I = 274.6mm^4$$

$$I = \frac{\text{ancho} * (\text{espesor})^3}{12}$$

$$\text{espesor} = 2.46mm$$



## Diseño del plato giratorio

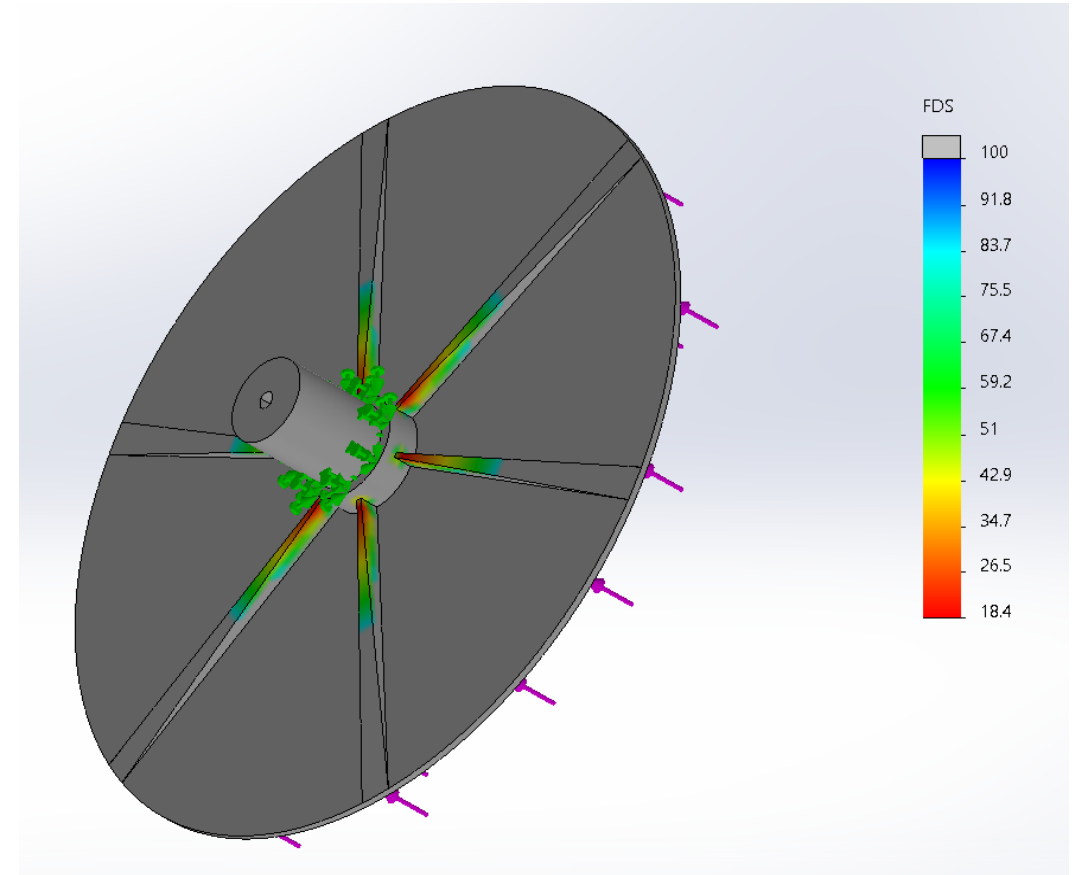
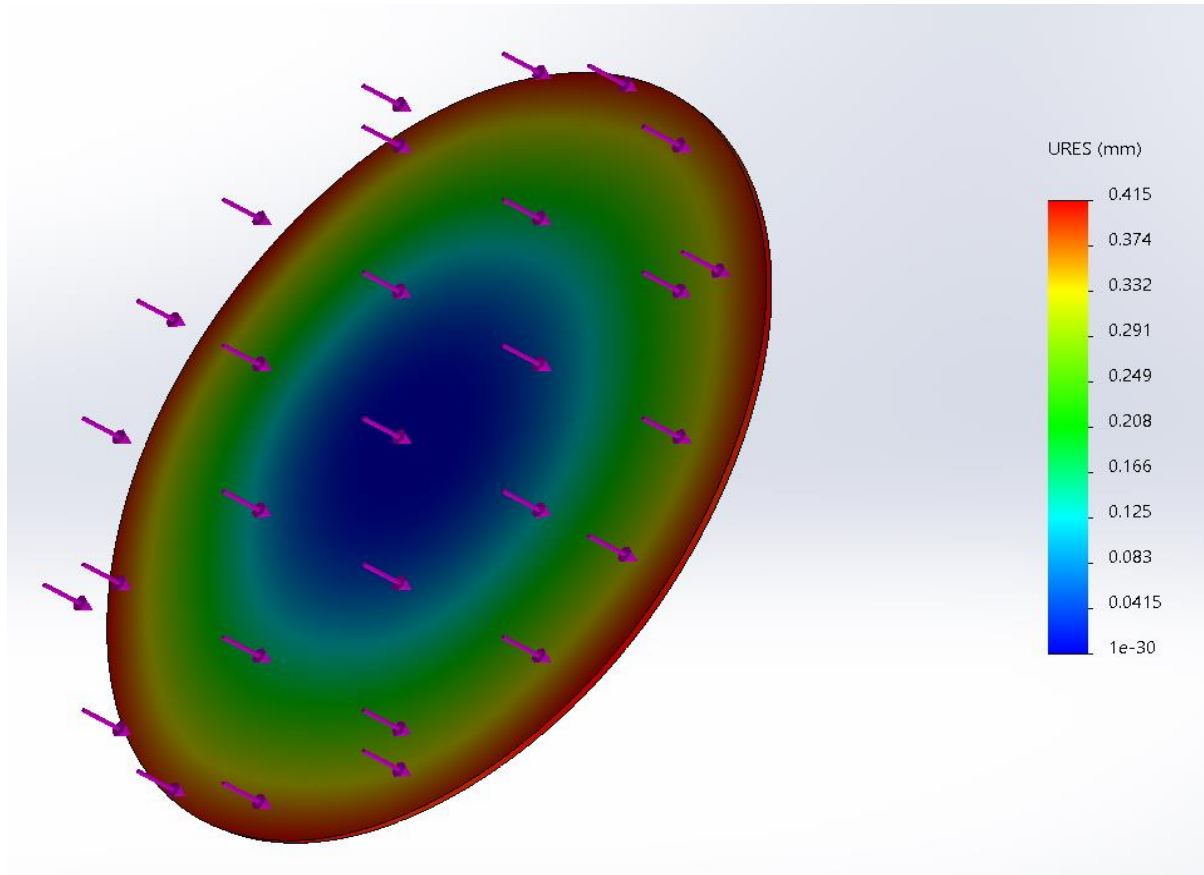


La deformación máxima permitida es de 0.46 mm

La realizada por el análisis CAE es de 0.725 mm

Para reducir la deformación se colocaron 6 soportes a lo largo del plato desde el punto de apoyo

## Diseño del plato giratorio



# DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

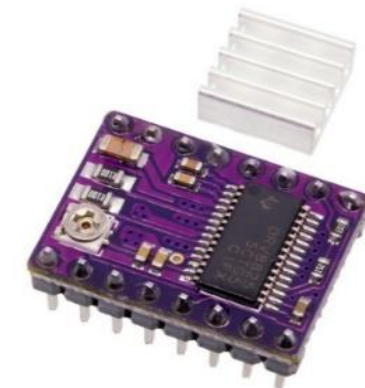
## Selección del motor y driver

Tipo de motor	Con Encoder	Paso a Paso	Brushless	Servomotores	Motor DC
Control de posición	3	5	2	4	1
Control de velocidad	3	4	2	4	1
Torque a bajas velocidades	2	4	3	2	2
Tamaño pequeño	4	3	5	5	2
Mantenimiento	2	5	5	2	2
Facilidad de control	4	3	1	5	4
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>22</b>	<b>12</b>

Una vez realizado los cálculos se procede a calcular el momento que se obtuvo 0.3708 Nm.

Tamaño del marco	Diámetro (mm)	Rango típico del Torque (Nm)	Rango típico de velocidad (RPM)
NEMA 8	20	0.01-0.04	0-1000
NEMA 11	28	0.06-0.12	0-1000
NEMA 14	35	0.05-0.5	0-1000
NEMA 16	39	0.1-0.25	0-1000
<b>NEMA 17</b>	<b>43</b>	<b>0.2-1</b>	<b>0-1000</b>
NEMA 23	57	0.5-3	0-1000
NEMA 24	60	1.2-4.6	0-1000
NEMA 34	86	3-12	0-1000
NEMA 42	102	12-20	0-1000

Nota: Tabla obtenida de (ZIKODRIVE, 2018).



## Selección de la iluminación

Tipo de Iluminación	Fibra óptica	Fluorescente	Led	Laser
Ahorro energético	3	4	5	4
Tamaño	5	2	4	4
Vida útil	4	4	5	5
Costo	2	3	4	2
Capacidad lumínica	2	4	5	3
Versatilidad en control de calidad	1	3	4	3
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>20</b>	<b>27</b>	<b>21</b>

Tipos de led	Bobillas	Tiras	Tubos
Tamaño	2	4	1
Tipo de conector	2	4	1
Costo	3	2	3
Capacidad lumínica	4	3	5
Ahorro energético	3	4	2
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>12</b>





## Designación de cámaras



## Características técnicas

Cámara  
tipo web

Resolución  
1280 x 720  
píxeles

Lente  
estándar  
con un  
ángulo de  
visión de  
50 grados.

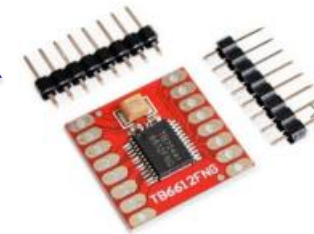
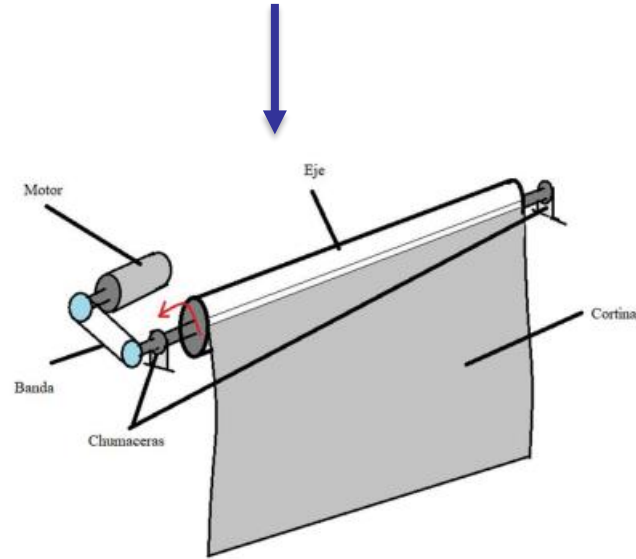




# DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

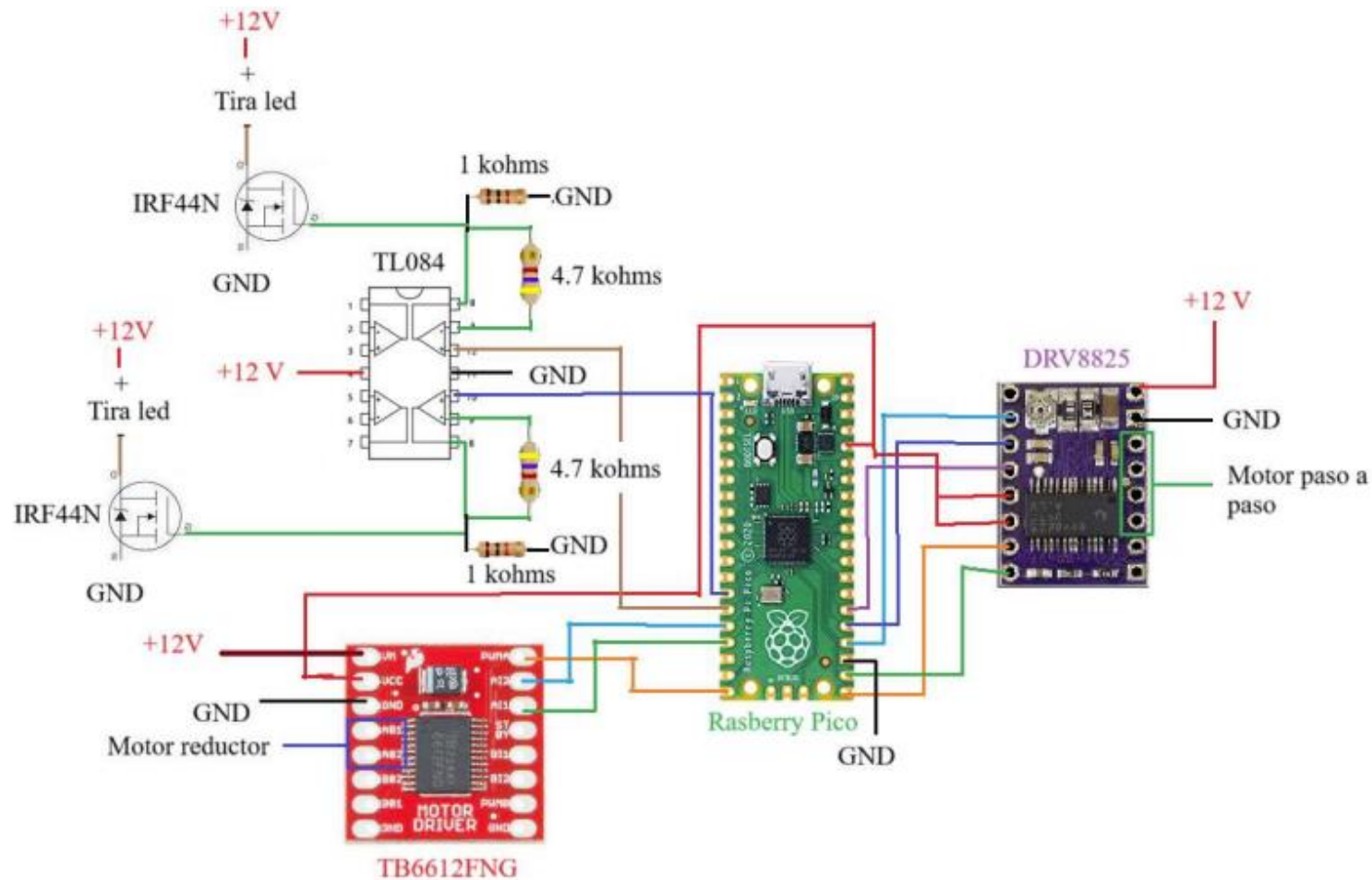
## Diseño del mecanismo de la puerta

Tipo de mecanismo	Cortina-Persiana	Corrediza	Abatible	4 barras
Espacio necesario	5	2	4	3
Sencillez del mecanismo	4	2	3	4
Costo	4	2	3	4
Rapidez del mecanismo	2	4	4	3
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>14</b>	<b>14</b>



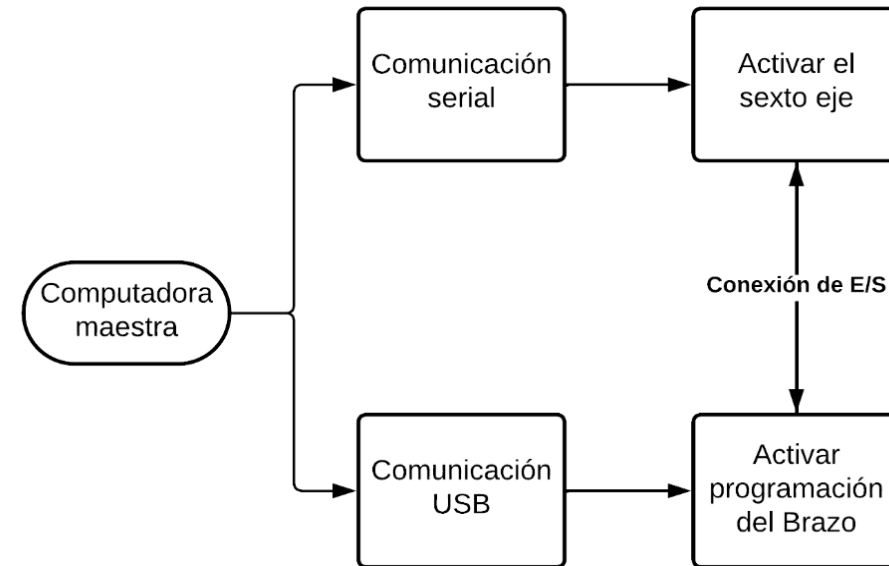
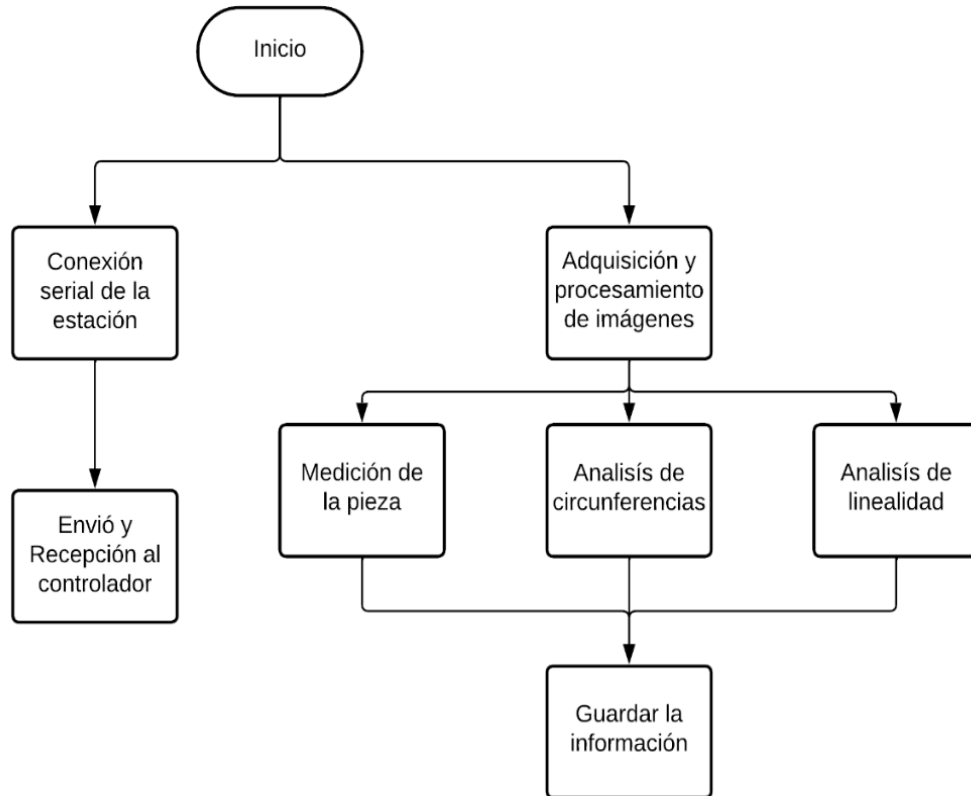
# DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

## Diseño del sistema eléctrico y electrónica

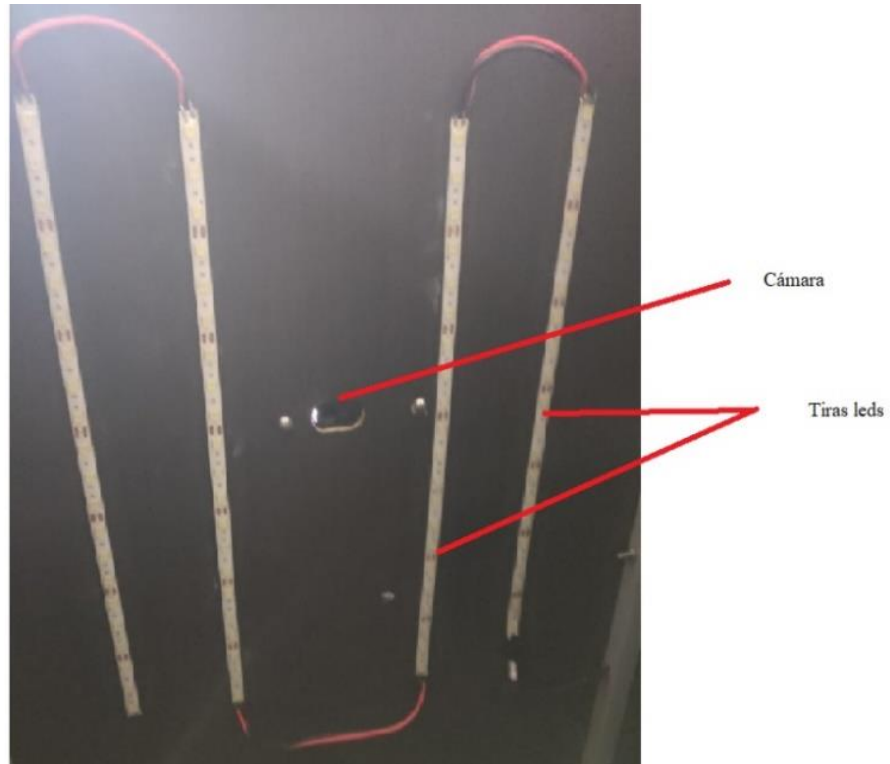


# DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES

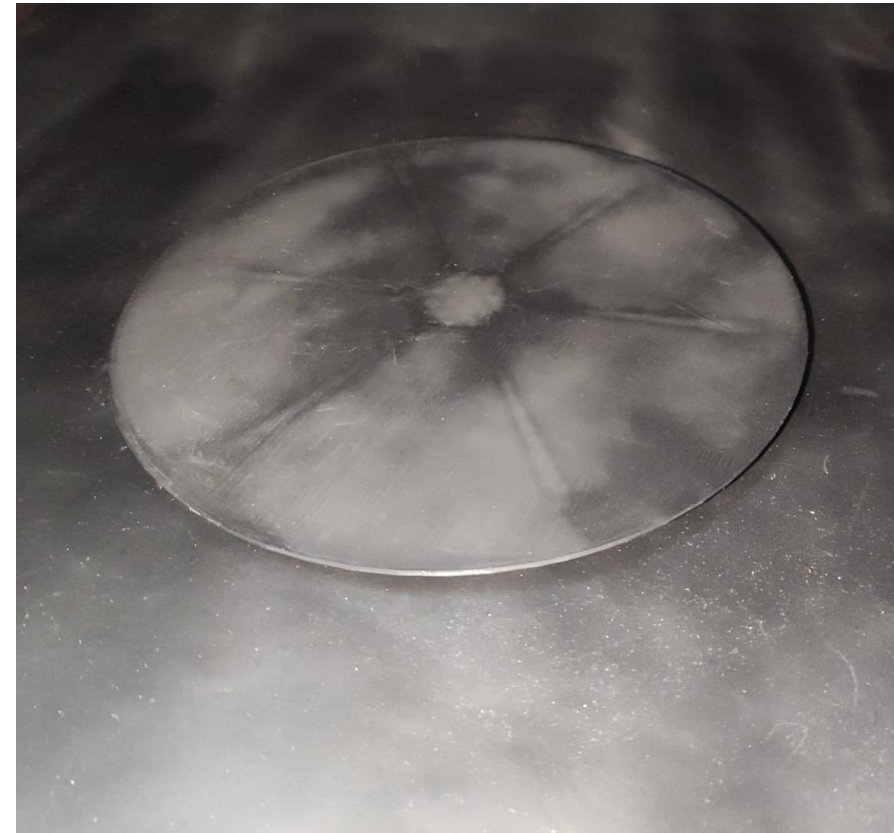
## Programación



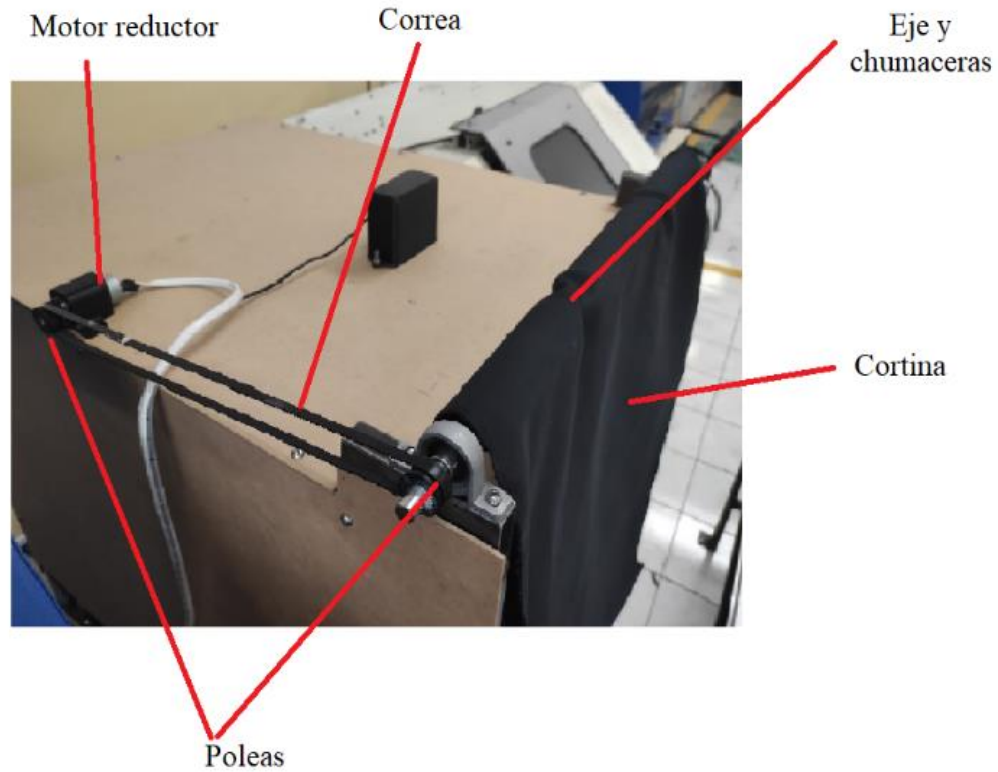
## Ubicación de las tiras led y la cámara



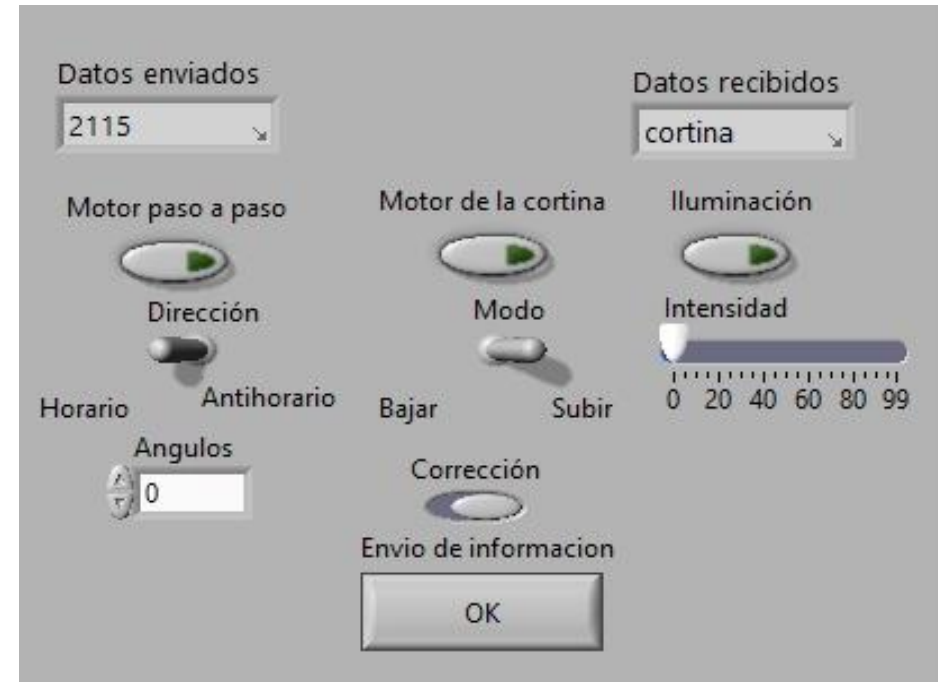
## Sistema de rotación



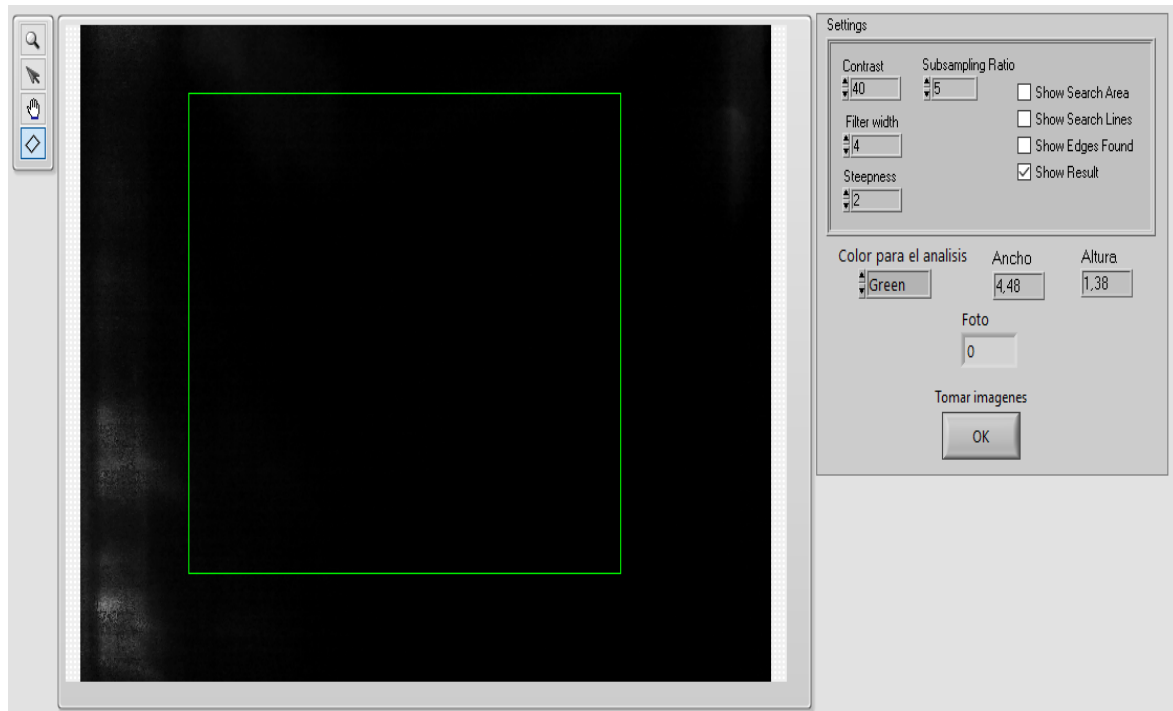
## Sistema de apertura y cierre de la cortina



## Panel de control de la estación

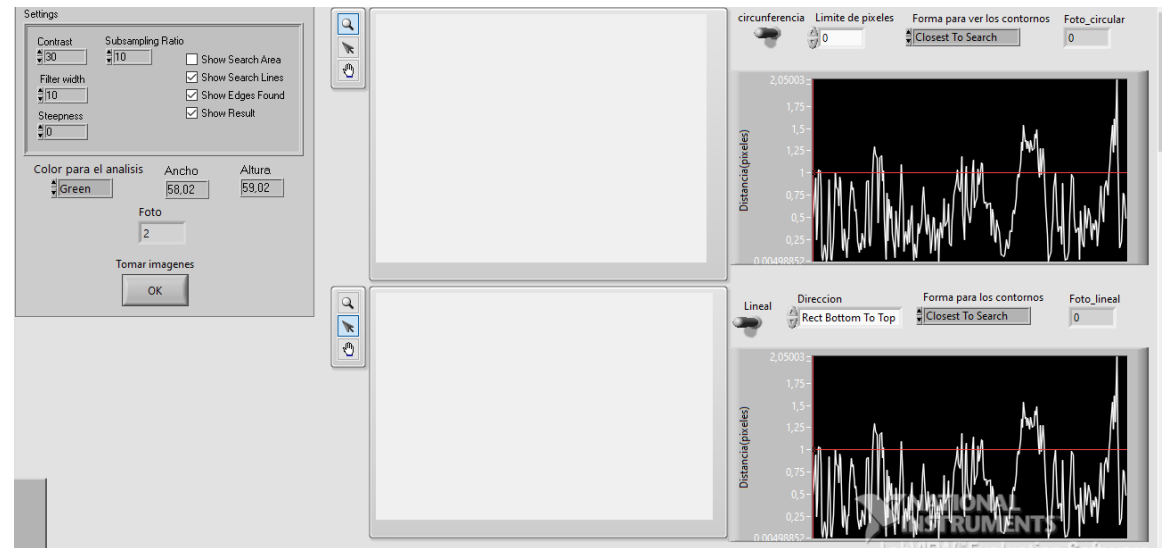


## Panel de medición



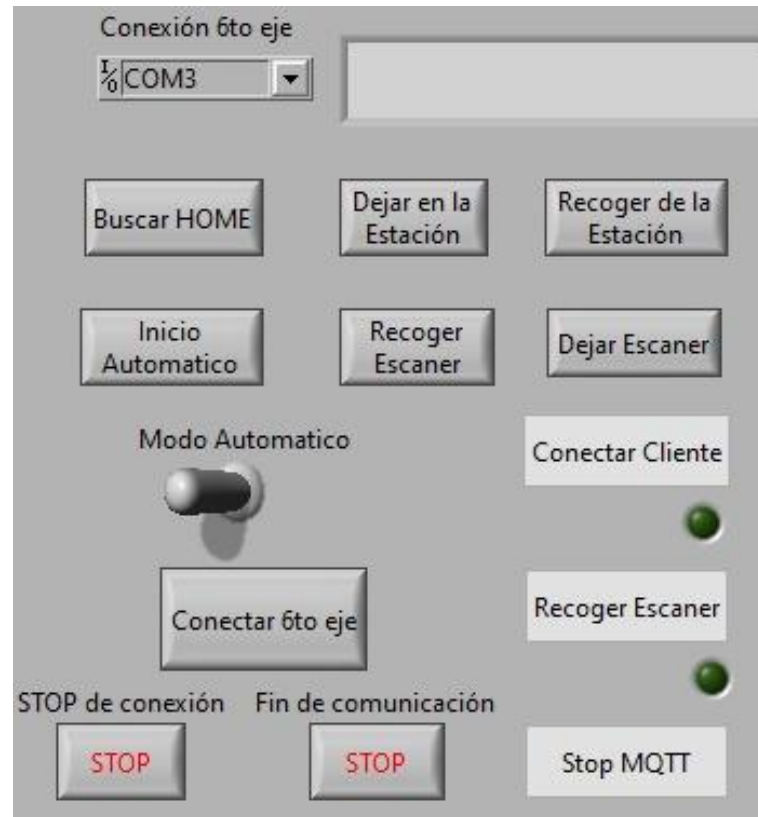
## Panel de detección de circunferencias y

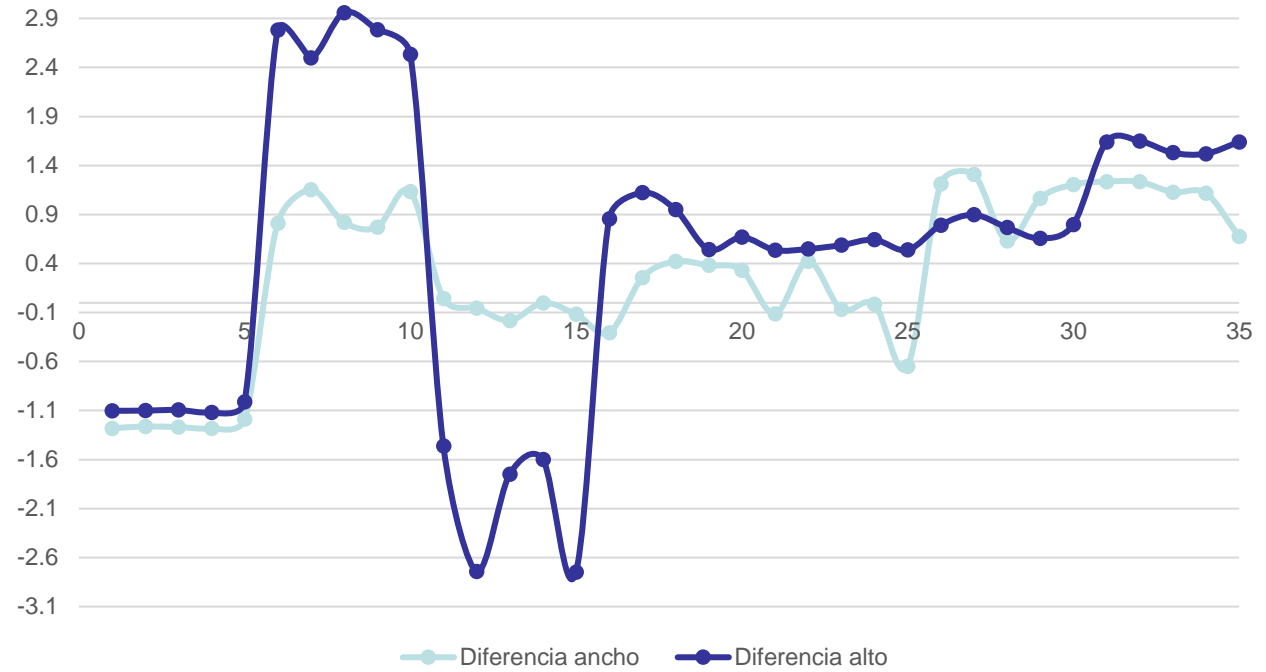
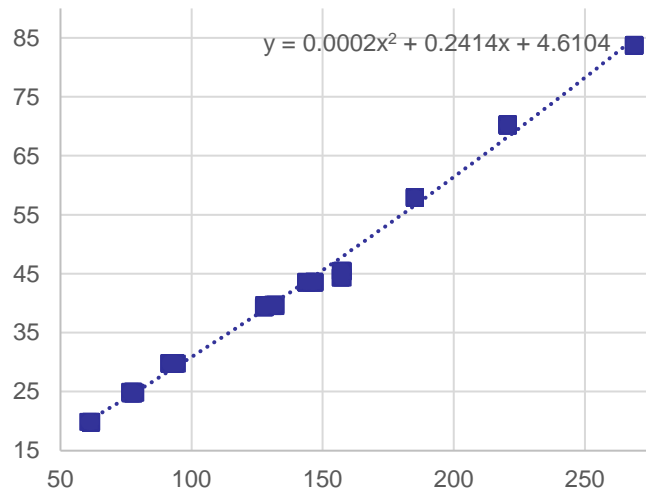
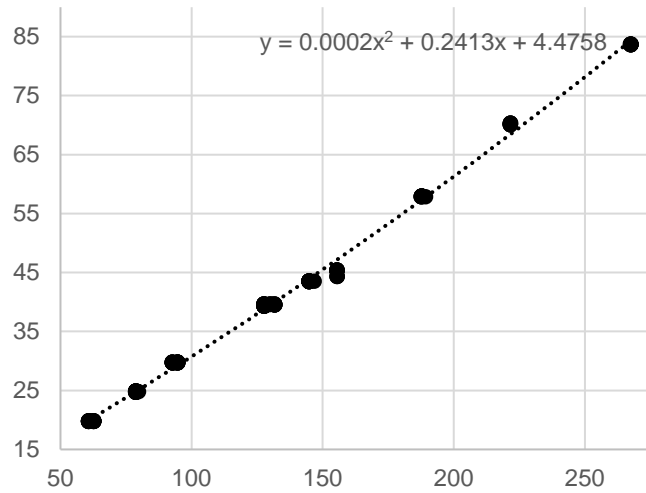
## linealidad de contorno





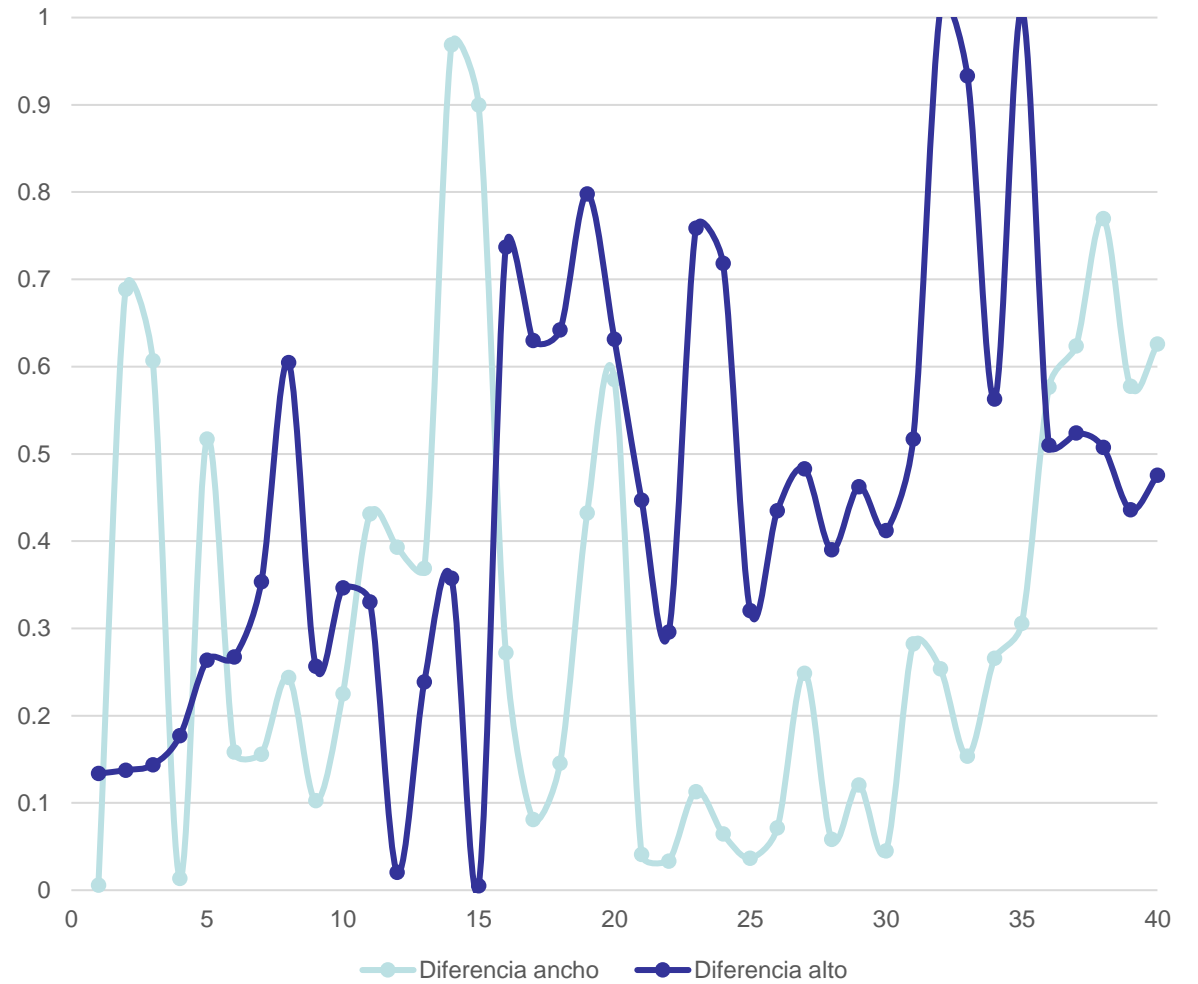
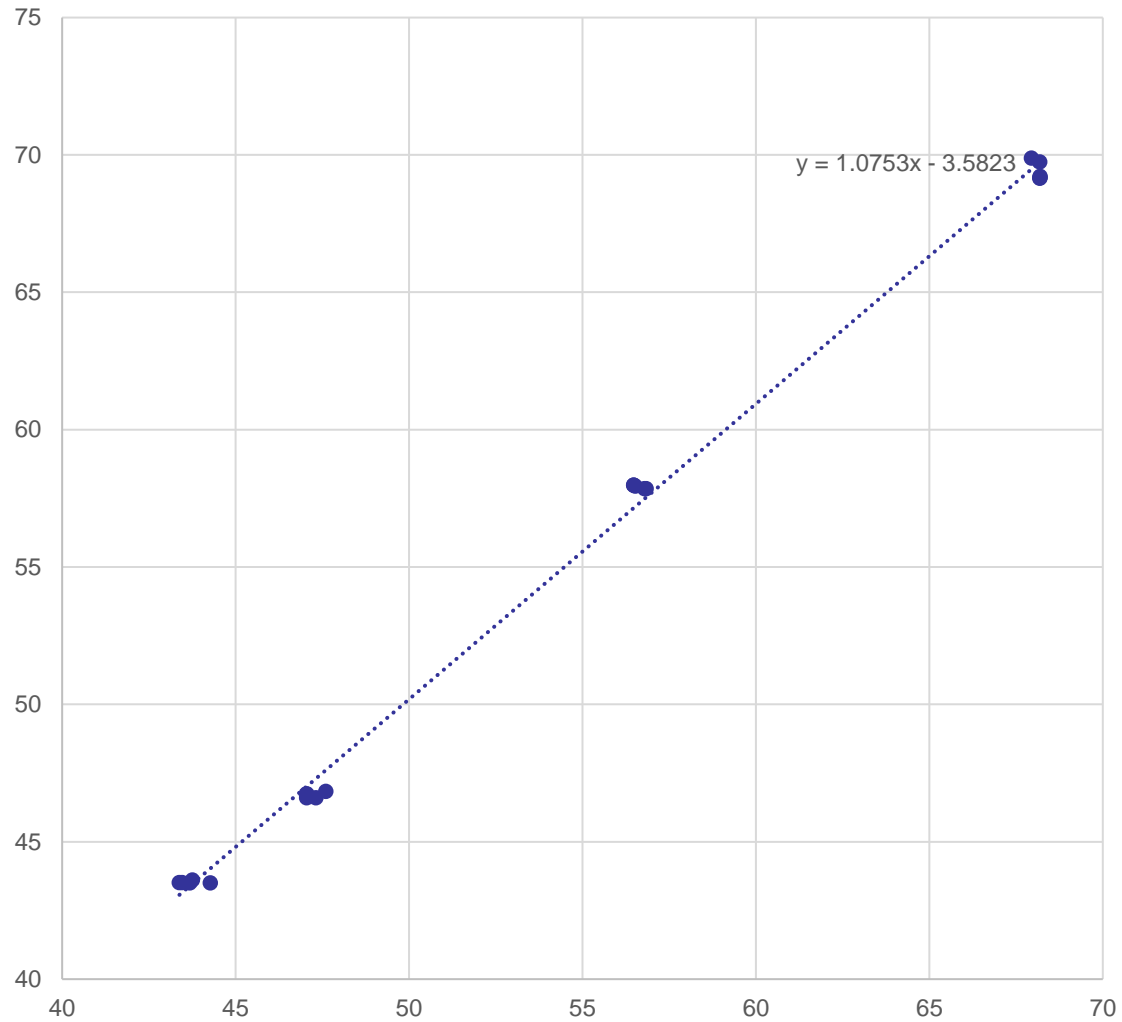
## Panel de comunicación





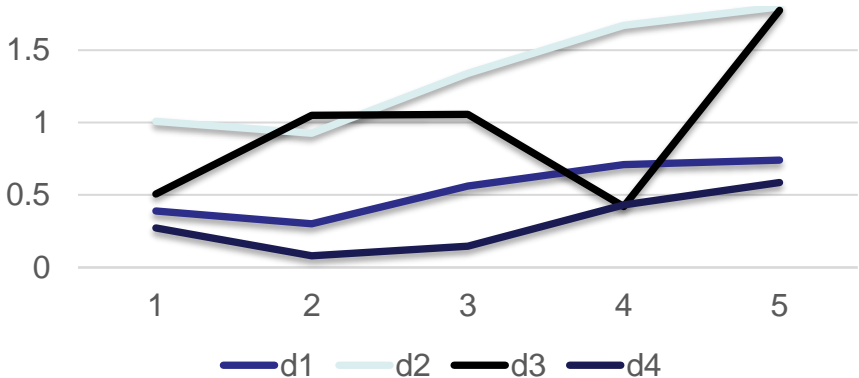


# CALIBRACIÓN

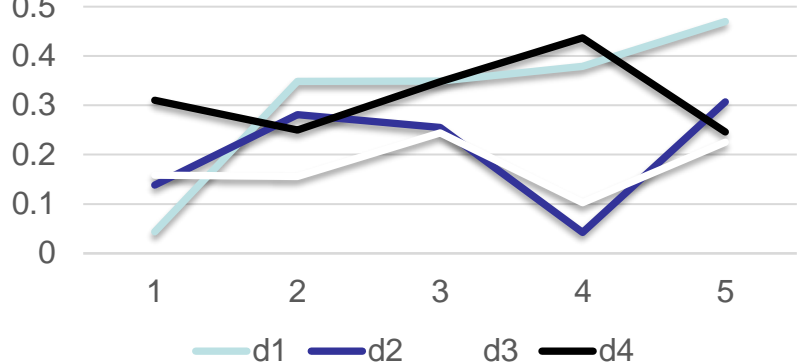


# PRUEBA DE PARÁMETROS DE MATERIALES

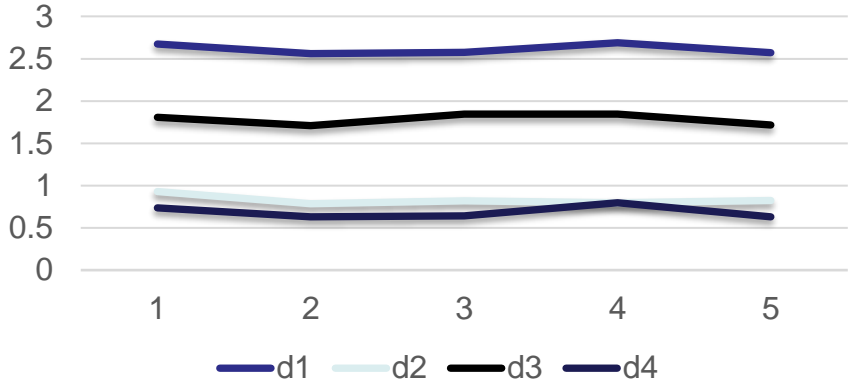
## Ancho



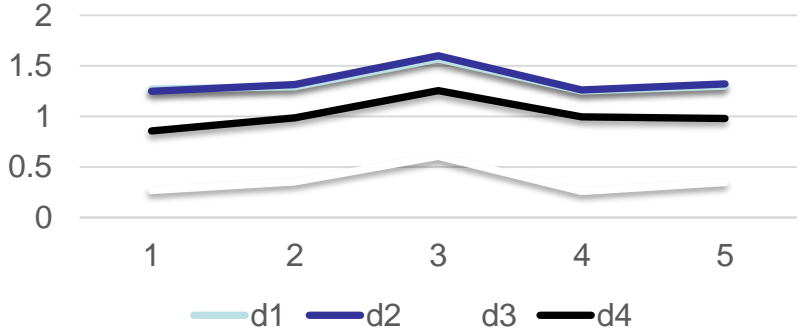
## Ancho



## Alto



## Alto



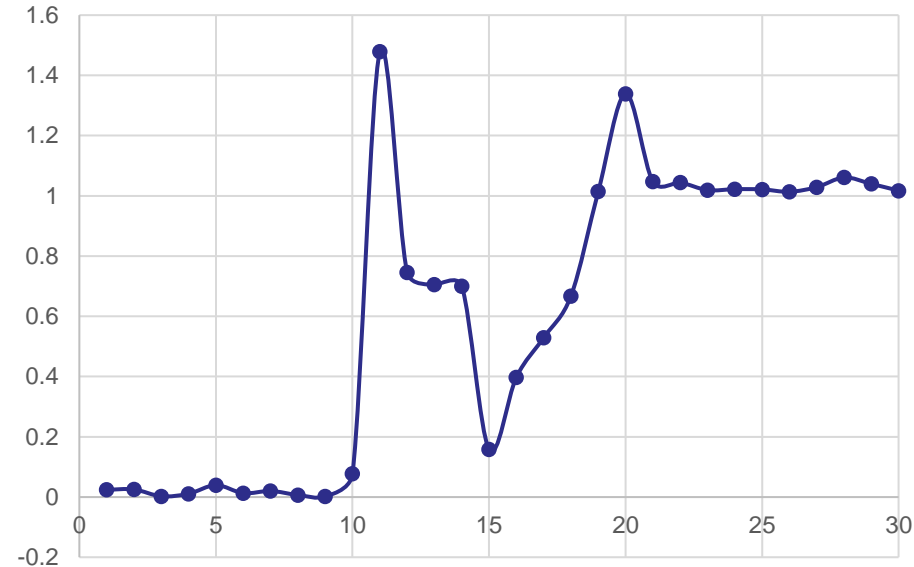
# PRUEBA DE PRECISIÓN EXACTITUD Y REPETIBILIDAD

Valores medidos		
43.52037	43.20332	43.95433
43.52087	43.20541	43.95091
43.50903	43.44122	43.95758
43.51462	43.337	43.97149
43.52705	43.27988	43.9623
43.51546	43.21964	43.95246
43.51862	43.06872	42.86684
43.51283	42.9275	43.1855
43.511	43.96554	43.95327
43.54354	43.96416	43.95463

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

$$s = 0.3412$$

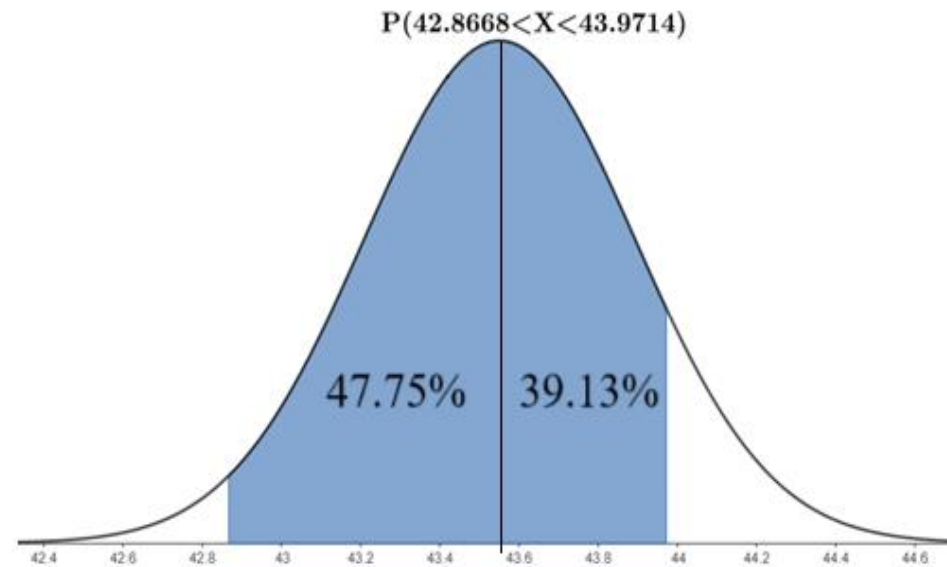
Por lo tanto, la precisión de la estación es de 0.3412 mm.



Por lo tanto, los error existentes en las mediciones van de un valor de 1% a -1.5%, lo cual representa un error promedio de 0.6%.



# PRUEBA DE PRECISIÓN EXACTITUD Y REPETIBILIDAD



Con cual se puede determinar que el 99.95% de los datos se encuentra dentro de 2 desviaciones estándar, lo significa un valor de repetibilidad  $\pm 0.683$  mm.



# PRUEBA DE TIEMPO DE CICLADO

Tiempo en dejar en la estación (s)	Tiempo en recoger de la estación (s)
122	89
124	91
122	91
124	89
124	91
122	91
122	89
123	91
124	90
124	89

En el proceso de dejar la bandeja desde el ASRS a la estación de control de calidad, se tiene un promedio de 123 segundos con una desviación de  $\pm 1$  segundo. Mientras que el proceso de recoger la bandeja desde la estación al ASRS, teniendo un tiempo promedio de 90 segundos con una desviación de  $\pm 1$  segundo.



# PRUEBA DE CICLADO INDIVIDUAL

Pruebas individuales			
No. Pruebas	Funcional	No Funcional	Porcentaje
1	X		10%
2	X		10%
3	X		10%
4	X		10%
5	X		10%
6		X	10%
7	X		10%
8		X	10%
9	X		10%
10	X		10%
Total	8	2	100%

Se puede determinar que la efectividad de todo el sistema de la estación es de un 80%, teniendo un 20% de falla las cuales han sido un 10% por rozamiento al entrar la bandeja en la estación de control de calidad, y por falla en el sistema en la sujeción de la bandeja.



# PRUEBA DE INDEXADO DEL CIM

Pruebas simultaneas de la estación de escaneo y control de calidad			
No. Pruebas	Funcional	No Funcional	Porcentaje
1	X		10%
2	X		10%
3	X		10%
4	X		10%
5	X		10%
6		X	10%
7	X		10%
8		X	10%
9	X		10%
10	X		10%
Total	8	2	100%

Se determinó que el correcto funcionamiento de 2 estaciones simultaneas es de un 80%, mientras que un 10% de las fallas es por un error en la comunicación MQTT entre las 2 estaciones y un 10% por una falla en la sujeción de la pieza a analizar.



La precisión de 0.34 mm, depende los siguientes factores: ubicación y rotación de la pieza en la bandeja de transporte, la iluminación, el contraste, el filtrado, el muestreo de pixeles y el espectro de color en el análisis.

El error de la exactitud obtenido de 0.6%, depende de la ubicación y rotación para que su exactitud sea mejor la cara donde se medirá debe ser paralela al posición de la cámara, si no es paralela el error de exactitud aumentara en gran medida.

En cuanto la repetibilidad de  $\pm 0.69$  mm, esto se puede modificar por los factores de filtrado y muestreo de pixeles, mientras más grandes sean estos valores, la repetibilidad mejorará, pero se obtiene un efecto contrario en la precisión.

El espectro de color de las imágenes más estables para las mediciones son el azul, verde, value e iluminación. Mientras que los espectro de color Hue y Saturación, son más fluctuantes provocando menos precisión y repetibilidad.





Para mejorar el funcionamiento del CIM, se debe realizar una repotenciación del sexto eje, cambiando el sistema de transmisión por cadena, a un sistema husillo de bolas, para tener mejor precisión y velocidad.

La automatización de control de la estación, se propone el uso de sensores para mejorar el sistema de apertura y cierre de la cortina. De igual manera utilizar un encoder para mejorar la exactitud del sistema de rotación.

De igual manera el uso de inteligencia artificial para la corrección de la orientación de las piezas a analizar, con el uso del sistema de rotación.

Se plantea el uso de machine learning para realizar más procesos de control de calidad, dentro de la misma aplicación de LabVIEW, como puede ser conteo de objetos, clasificación, procesamiento de imágenes, etc.



Gracias



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