

*"Siempre estoy cambiando,  
siempre estoy creciendo.  
Nunca me quedo quieto."*

- David Bowie-



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

**“Rediseño e implementación del Escáner 3D ESPEL, indexado al CIM como estación de escaneo 3D en el laboratorio CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga”**

**Autor:**

Cadena Corral, Mateo Sebastián

**Director:**

Ing. Acuña Coello, Fausto Vinicio

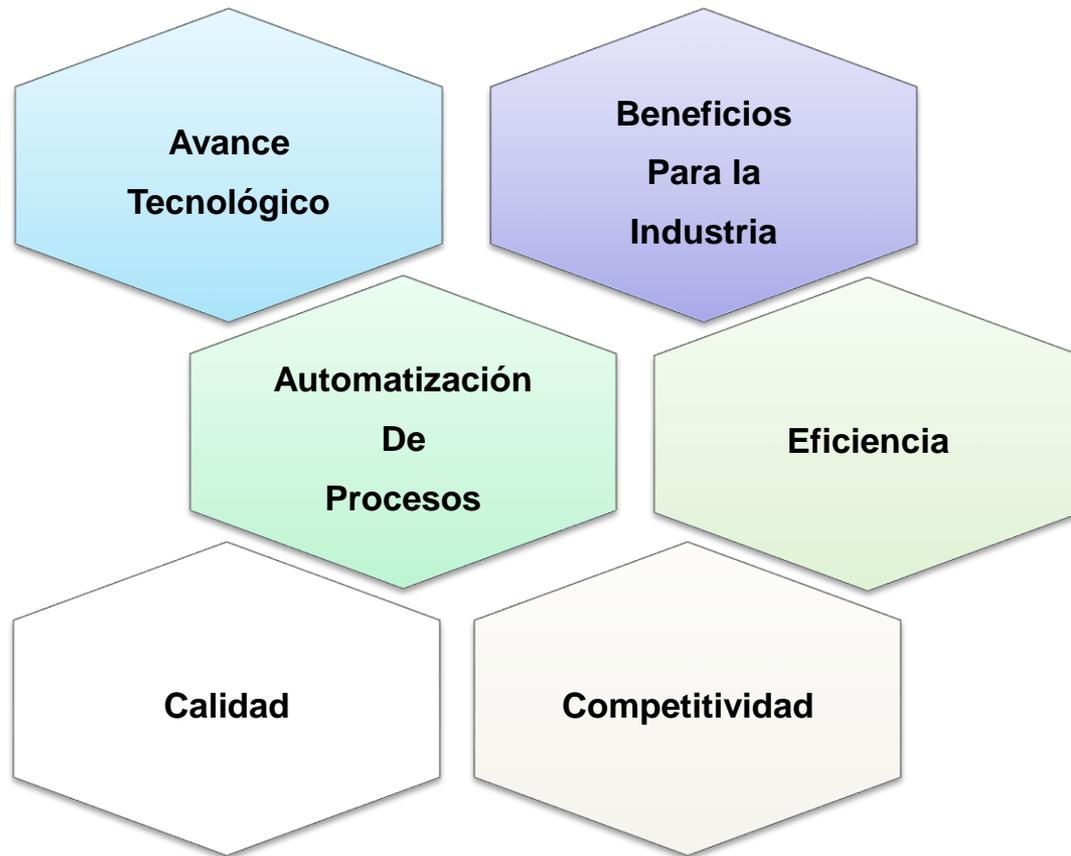
**Latacunga, Febrero de 2023**



# MARCO METODOLÓGICO



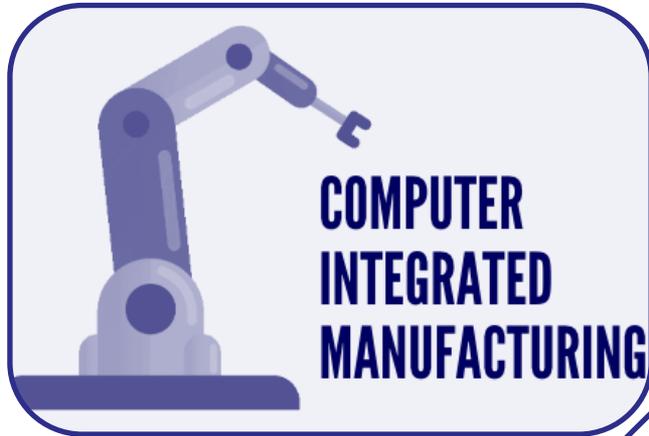
# ANTECEDENTES



## HIPÓTESIS

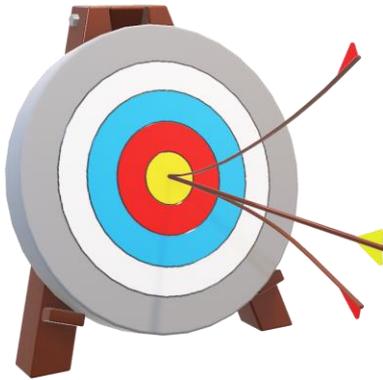
¿Mediante el rediseño e implementación del escáner 3D ESPEL se podrá indexar al CIM como estación de escaneo 3D en el laboratorio de CNC de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga?





## OBJETIVO GENERAL

Rediseñar e implementar el sistema indexado CIM como estación de escaneo 3D para el laboratorio de CNC de ESPE Latacunga



# OBJETIVOS



Analizar información preliminar y la línea base del proyecto



Establecer distintas alternativas de solución y parámetros de rediseño



Rediseñar el sistema mecatrónico y seleccionar los componentes



Construir e Implementar la estación de escaneo 3D



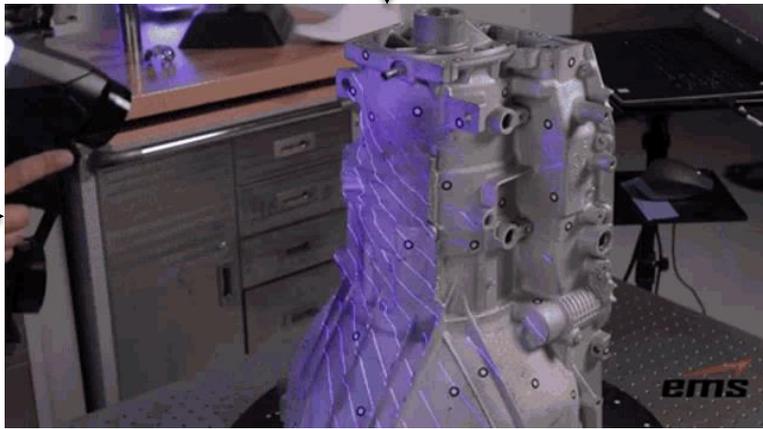
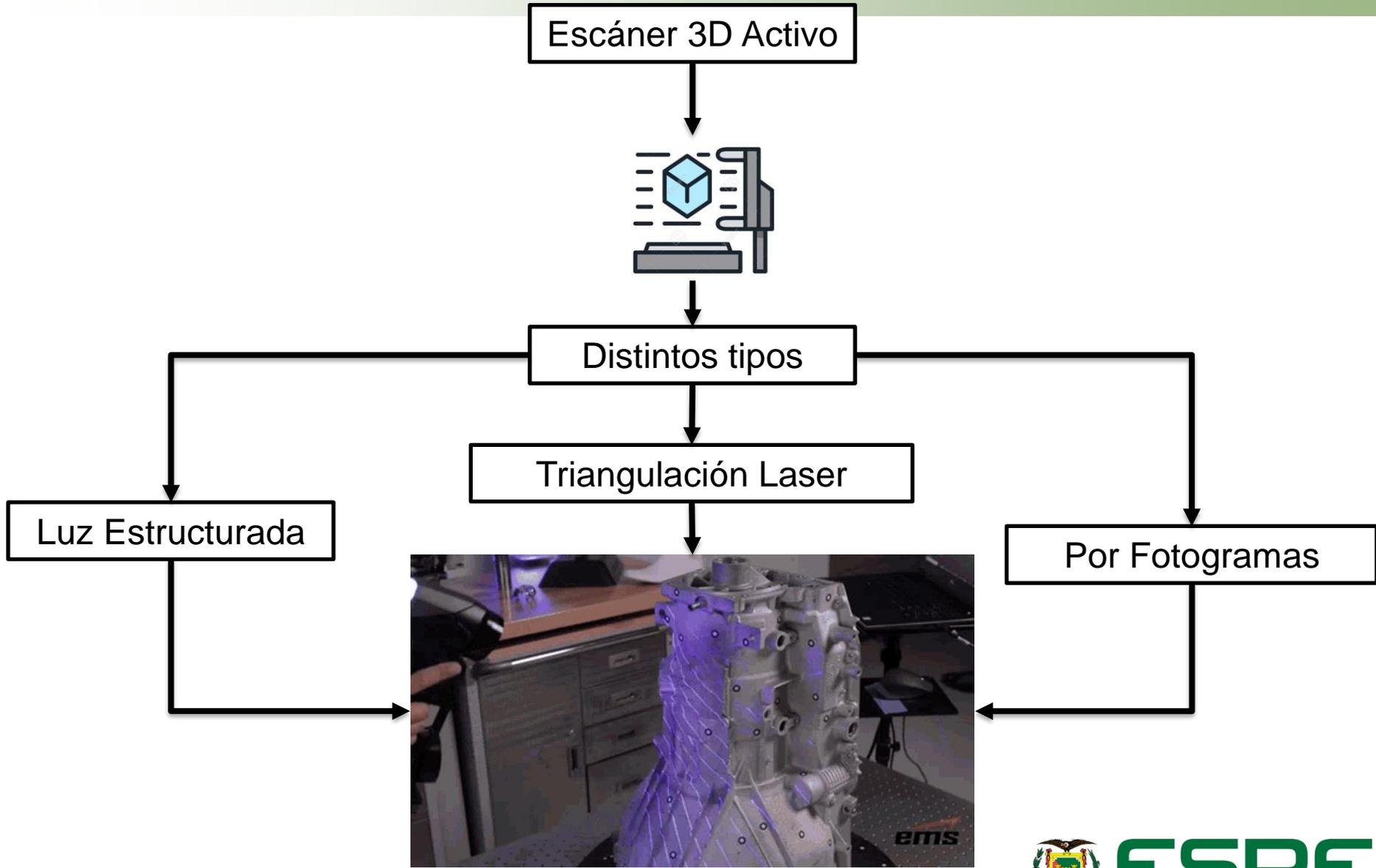
Operar la estación de escaneo 3D y Elaborar guías de prácticas



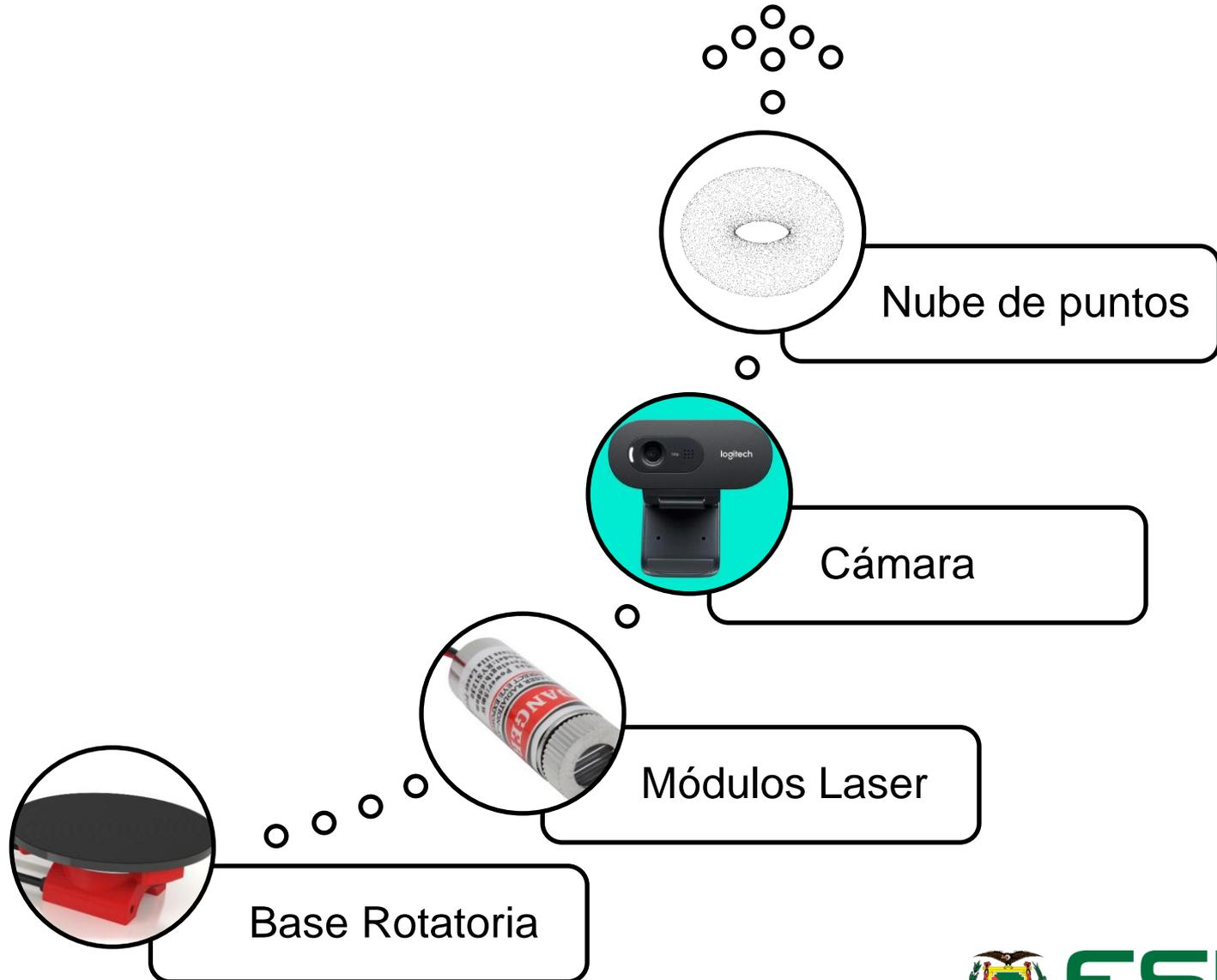
# MARCO TEÓRICO



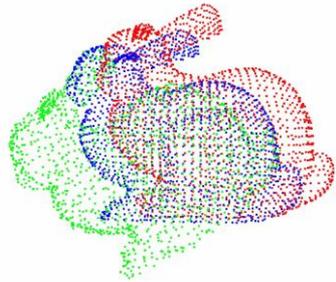
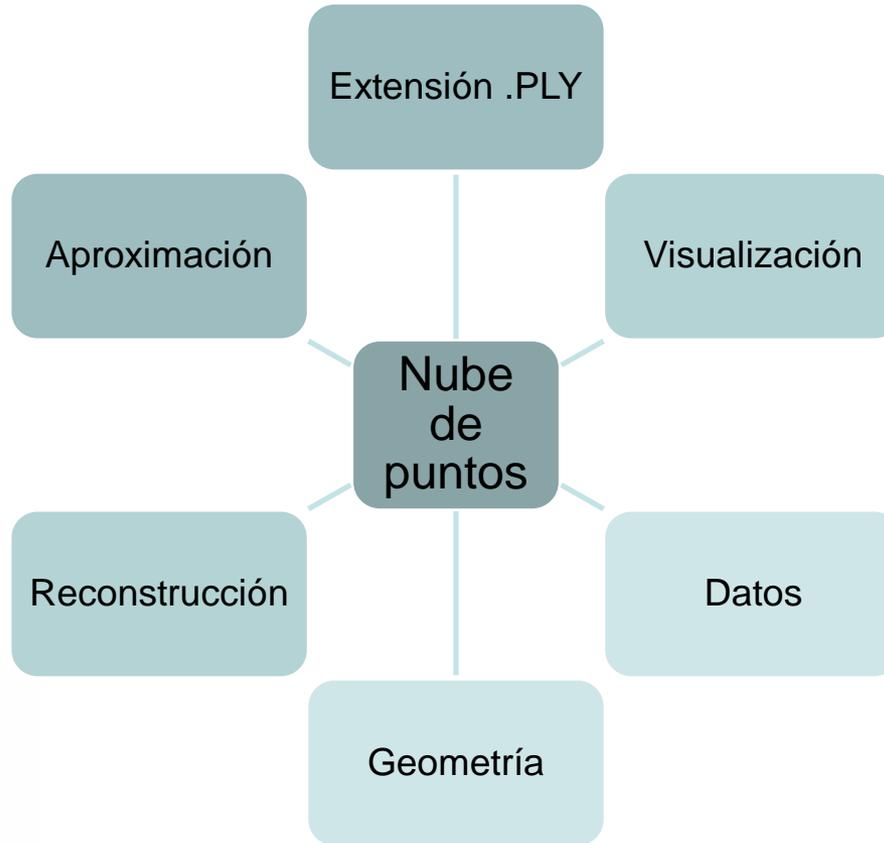
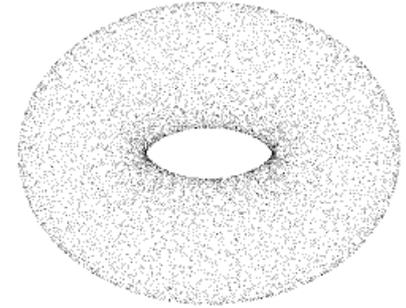
# Tecnología de escaneo 3D



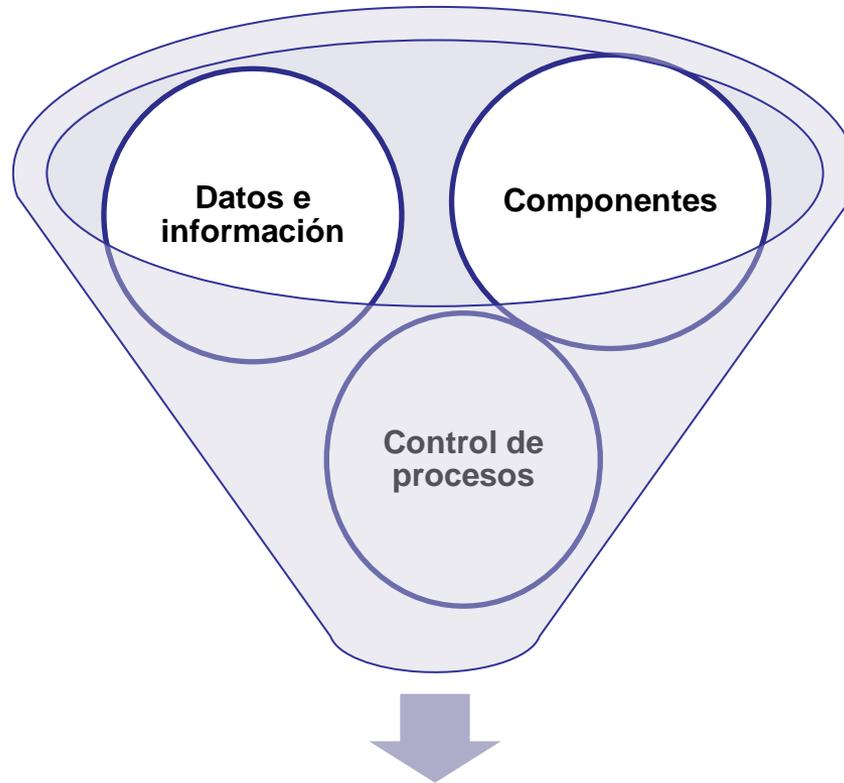
# Escáner de triangulación laser



# Nube de Puntos



# Manufactura Integrada por Computadora



**MANUFACTURA INTEGRADA  
POR COMPUTADORA (CIM)**



# Manufactura Integrada por Computadora

## Software

- Manejo de datos
- Planeación
- Control
- Comunicación

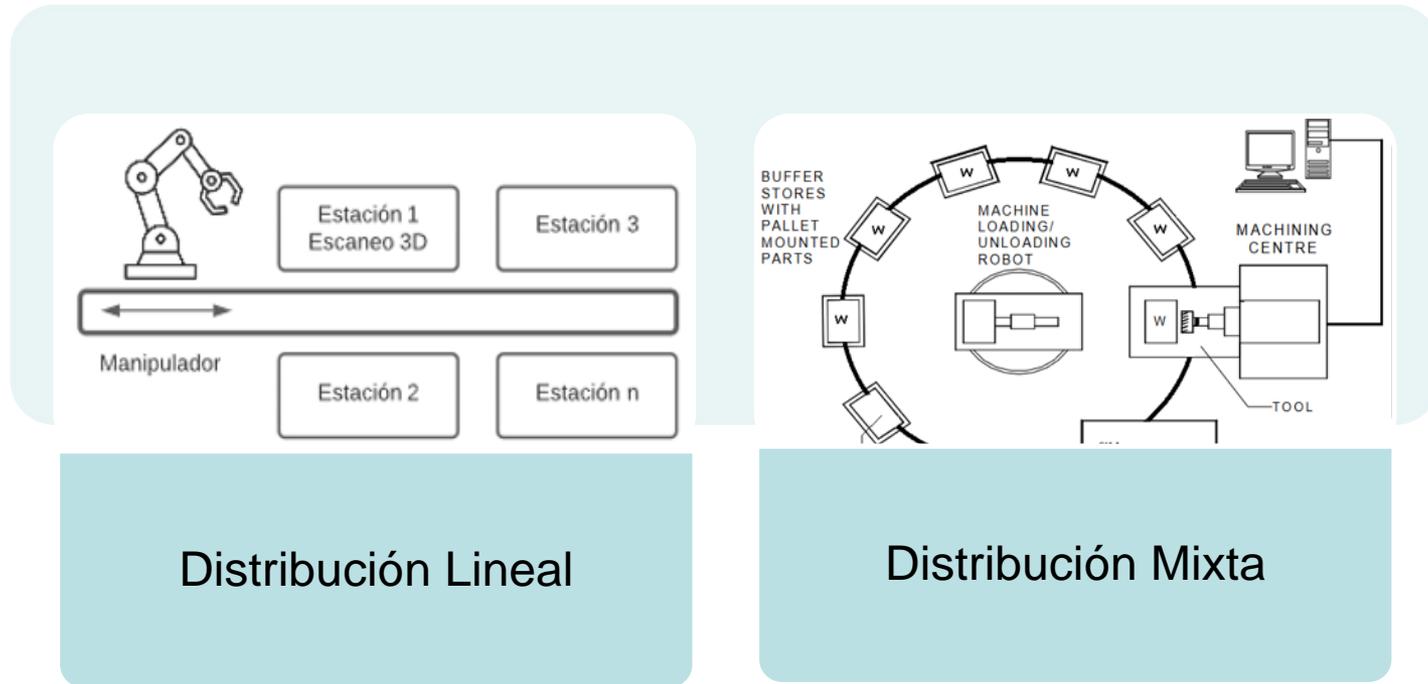


## Hardware

- Centros de mecanizado
- Celdas robóticas
- Manipuladores
- Ejes periféricos



# Manufactura Integrada por Computadora



# PARÁMETROS DE REDISEÑO



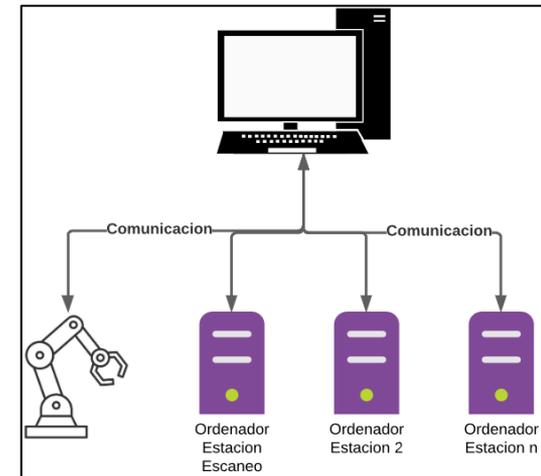
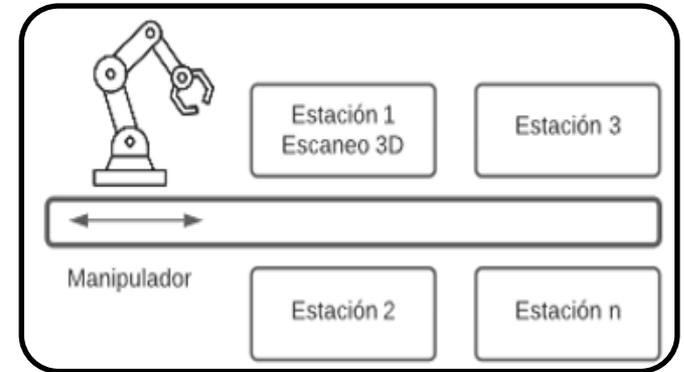
# Parámetros de rediseño

Distribución

- Lineal
- Estaciones

Comunicación

- Bilateral
- Simple



# SELECCIÓN DE COMPONENTES



# Controlador

		Controlador		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Criterios De Evaluación	Controlador	Raspberry Pi 3+	Raspberry Pi 2	PC
	Escalabilidad		5	2
Estabilidad		5	5	5
Compatibilidad		5	2	5
Disponibilidad en el mercado		4	3	5
Facilidad de programación		4	3	5
Robustez		5	5	5
Total		28	18	30

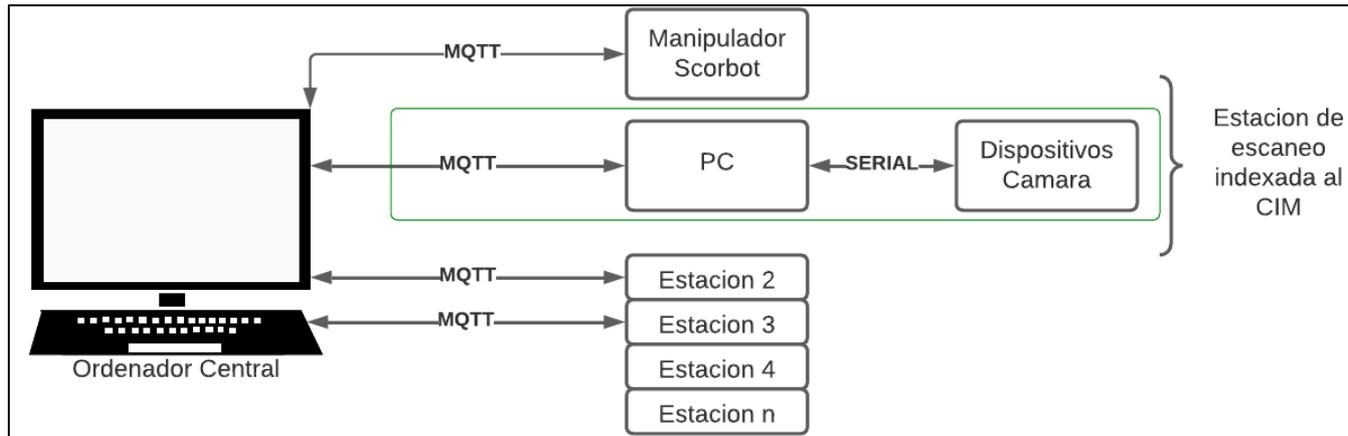
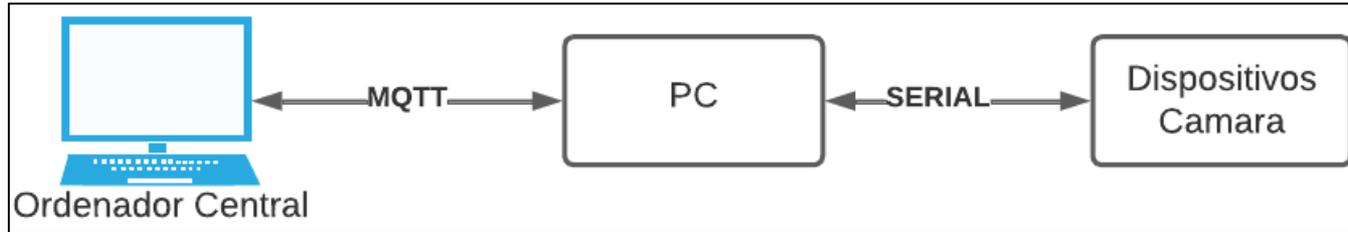


# Comunicación

		Protocolos de comunicación		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Controlador Criterios De Evaluación				
		<b>HTTP</b>	<b>MQTT</b>	<b>Cableado y serial</b>
	<b>Facilidad de implementación</b>	5	4	2
	<b>Soporta tráfico de datos</b>	3	5	5
	<b>Interferencia por ruido</b>	4	5	5
	<b>Compatibilidad</b>	5	5	1
	<b>Mantenimiento</b>	4	5	1
	<b>Total</b>	21	24	14

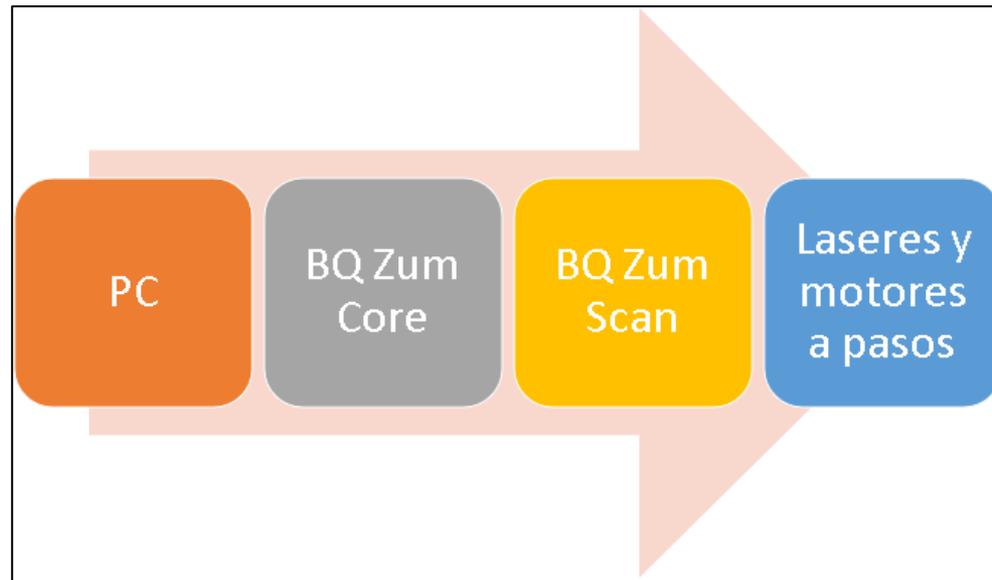


# Comunicación



# Comunicación

- Mismos componentes electrónicos



# Lenguaje de programación

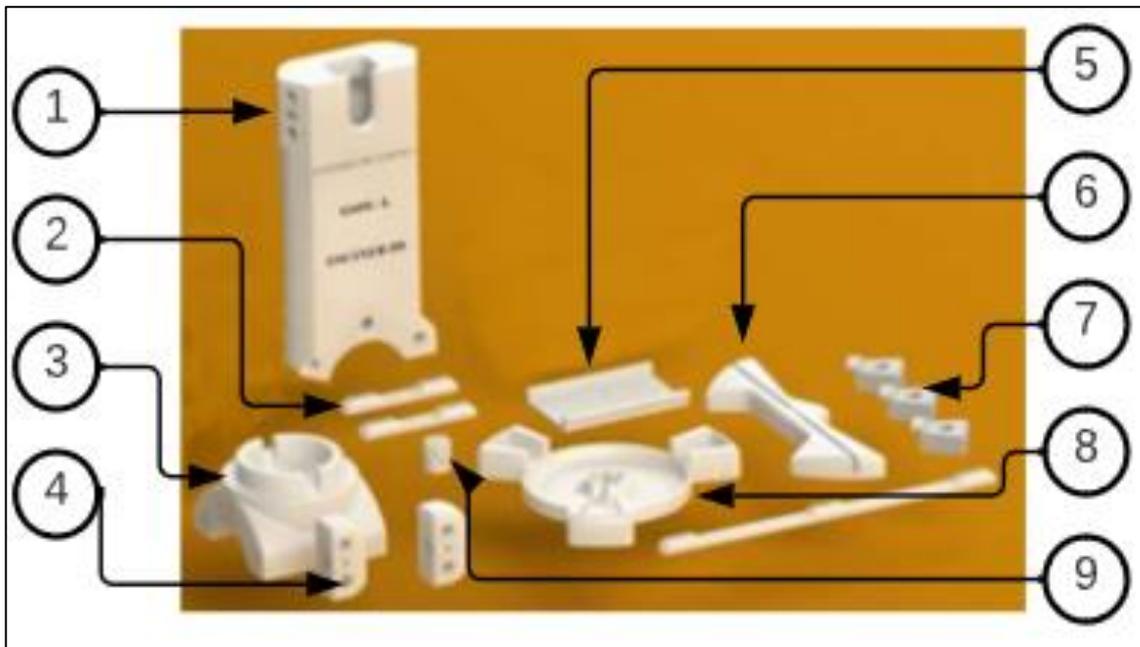
Controlador Criterios De Evaluación	Lenguaje de programación	
	Alternativa 1	Alternativa 2
	C++.NET	Python
Licencia libre	5	5
Creación de HMI	2	4
Bibliotecas para MQTT	5	5
Bibliotecas para procesamiento de imágenes	2	5
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>19</b>



# IMPLEMENTACIÓN



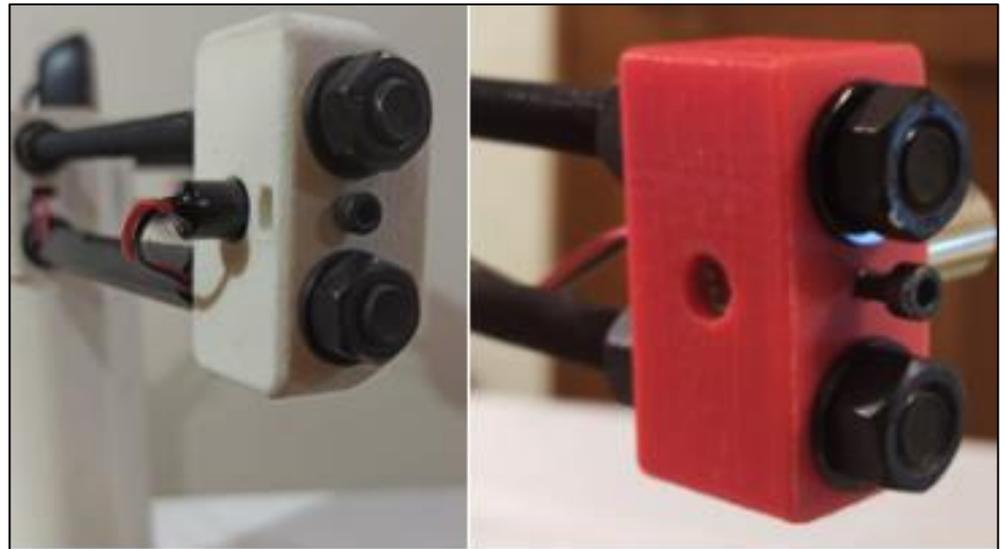
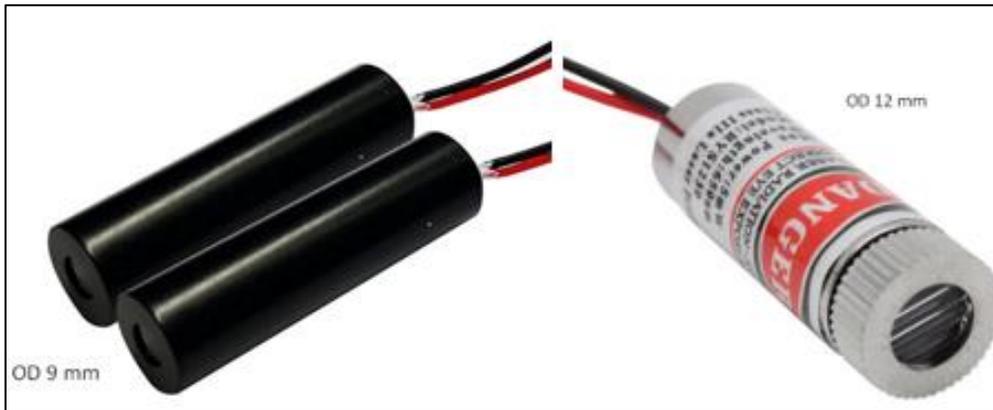
# Piezas



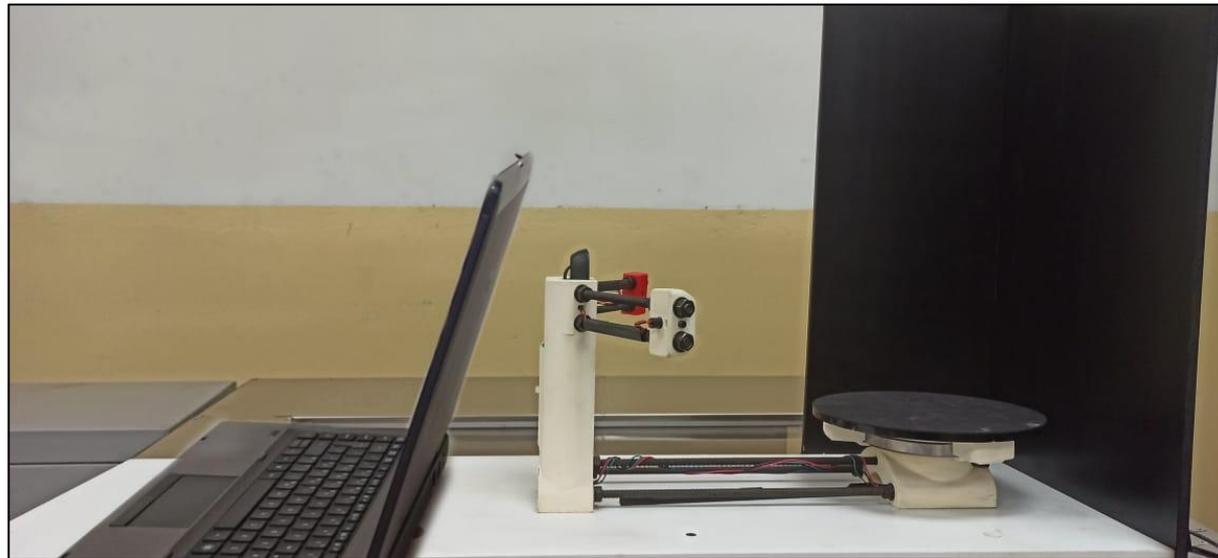
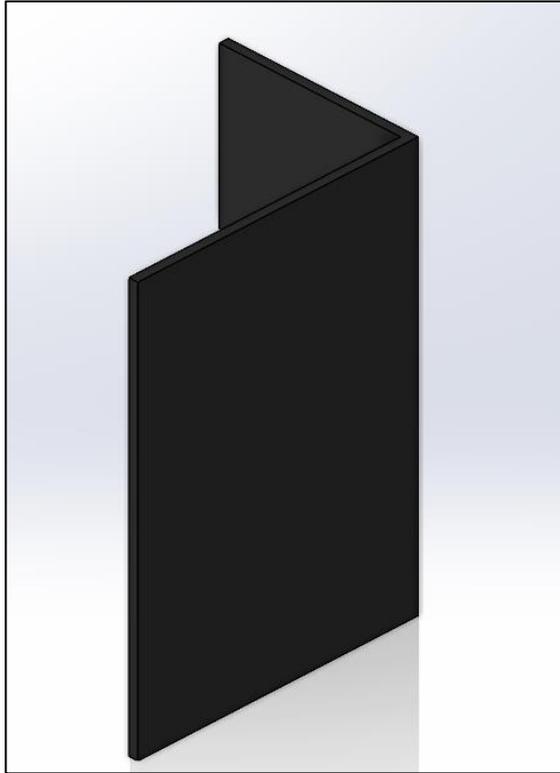
- 1) *Soporte principal*
- 2) *Guarda cables*
- 3) *Base para mesa rotativa*
- 4) *Porta Laser*
- 5) *Tapa de soporte Pieza*
- 6) *Calibrador*
- 7) *Pieza de sujeción*
- 8) *Soporte de Disco*
- 9) *Acople para moto NEMA 17*



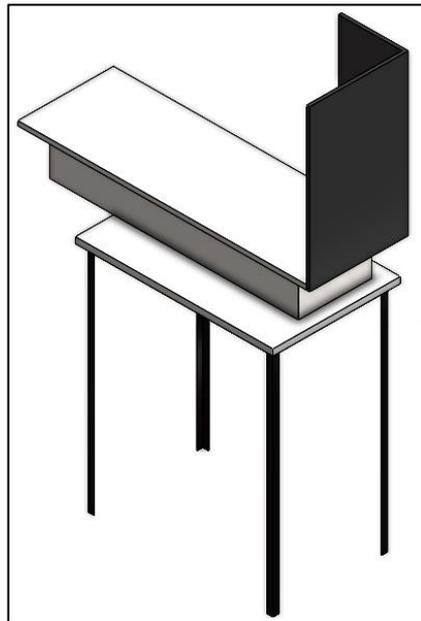
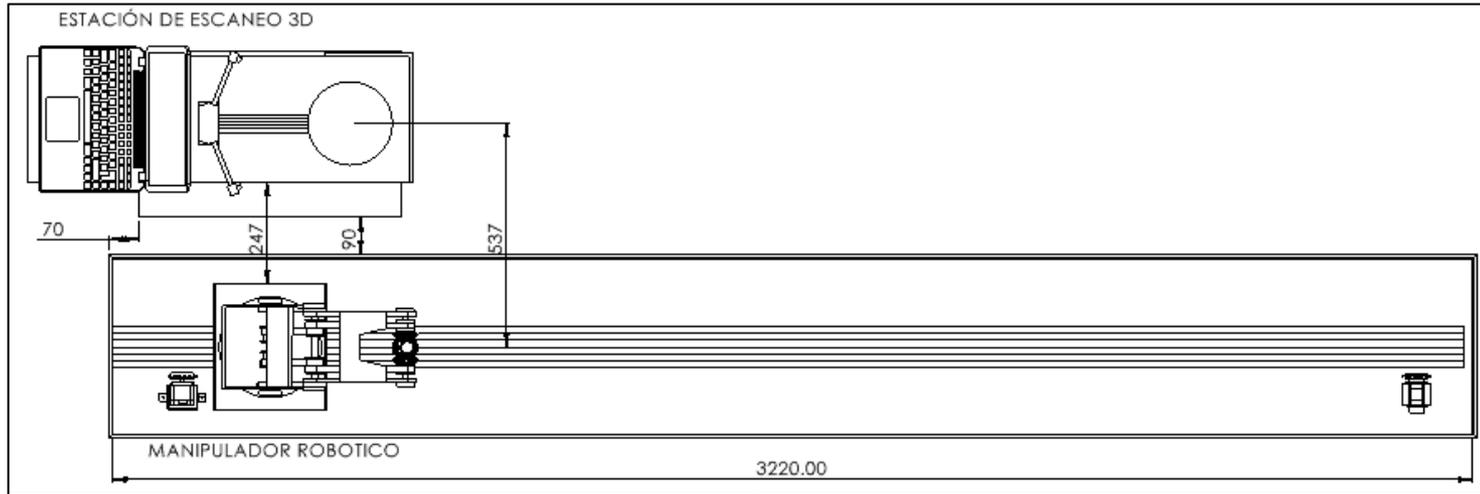
# Módulos y Porta Laser



# Fondo Implementado



# Montaje de estación

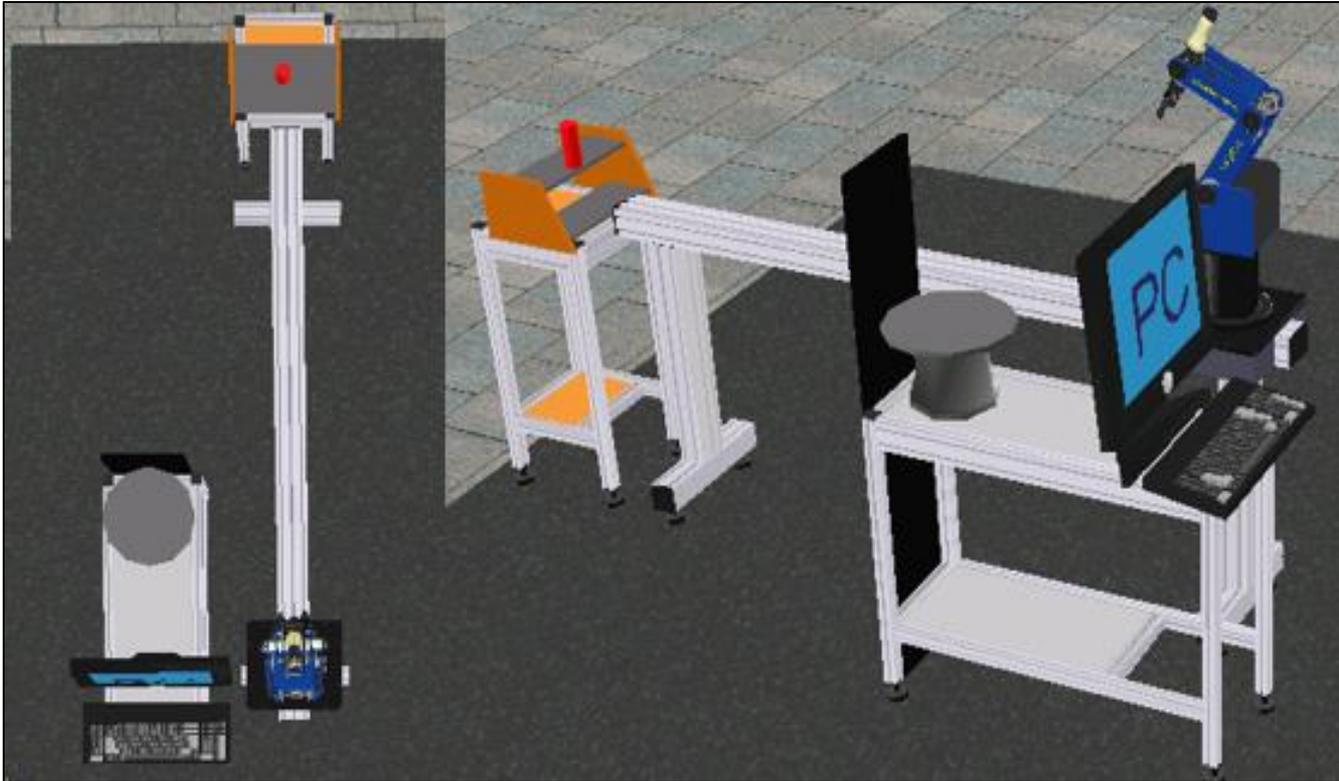


Distribución CIM

Mesa de montaje



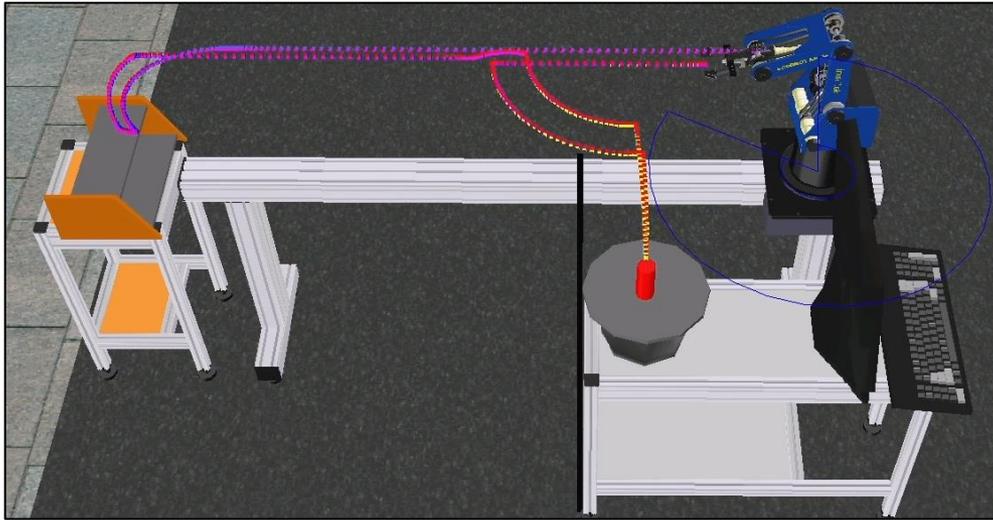
# Simulación de trayectorias



- Mesa de trabajo: 900 x 300 mm
- Distancia entre mesas de trabajo: 247 mm
- Distancia entre centros: 537 mm
- Altura total: 1400 mm

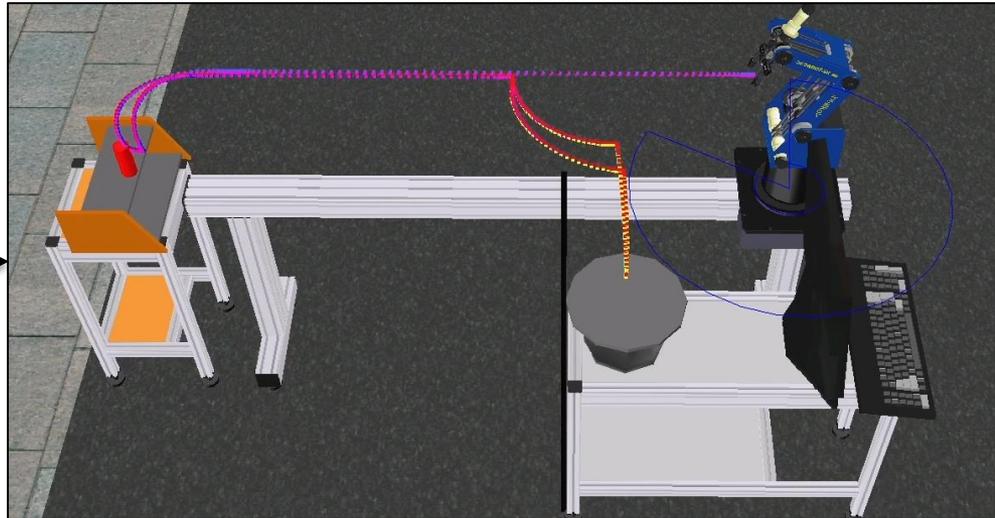


# Simulación de trayectorias

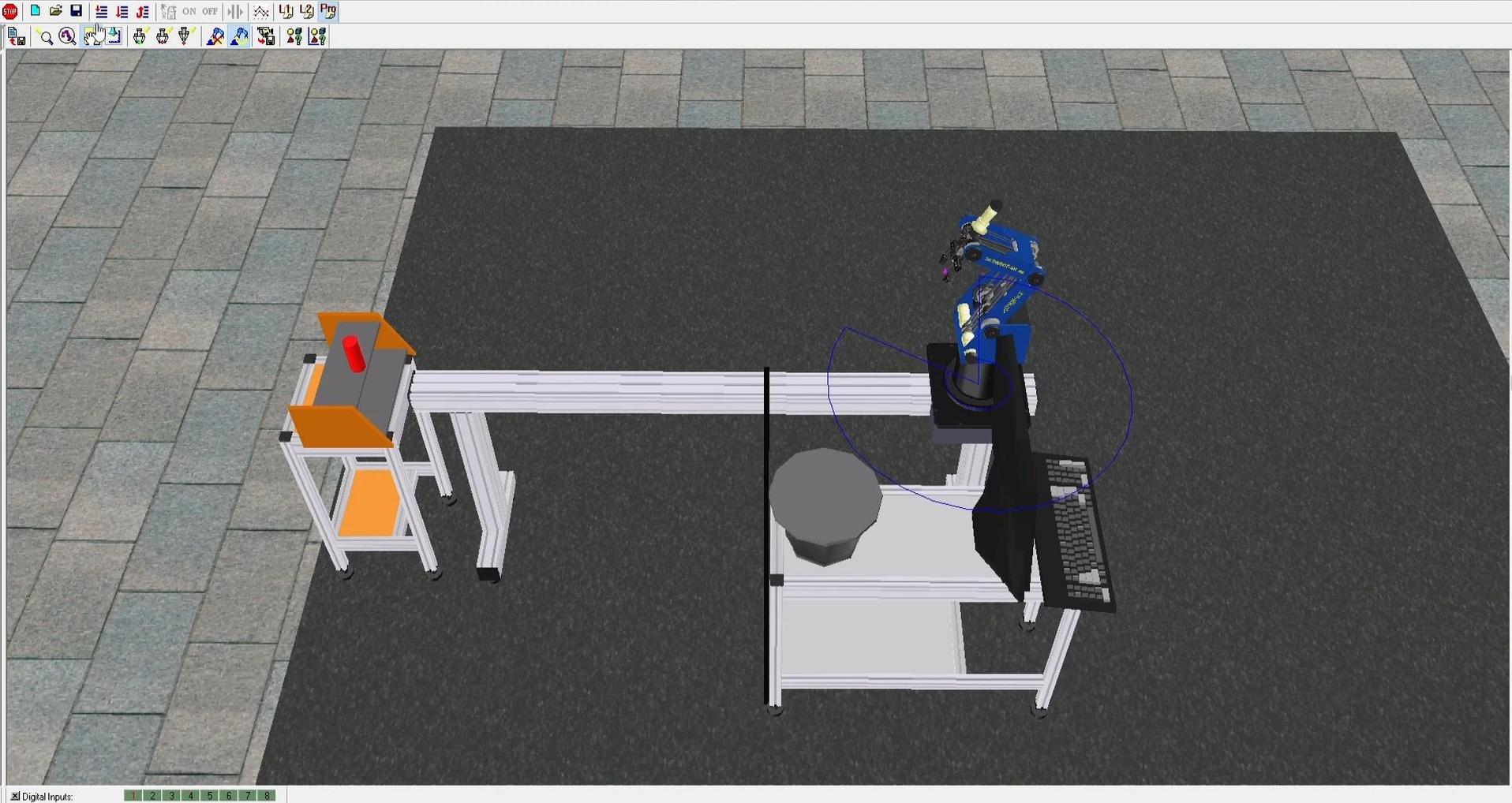


Rutina de posicionamiento

Rutina de retiro



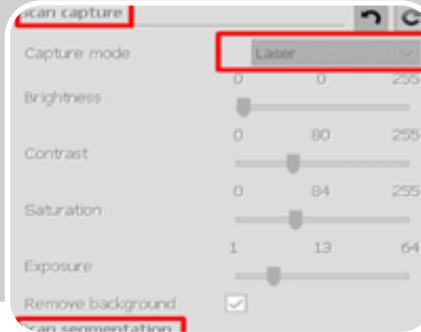
# Simulación de trayectorias



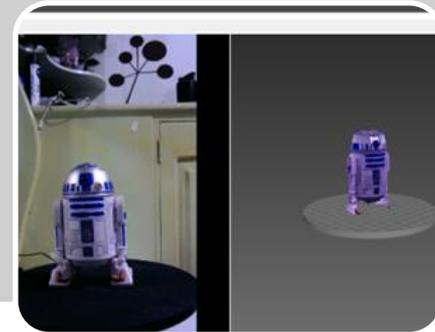
# Implementación



Conexión



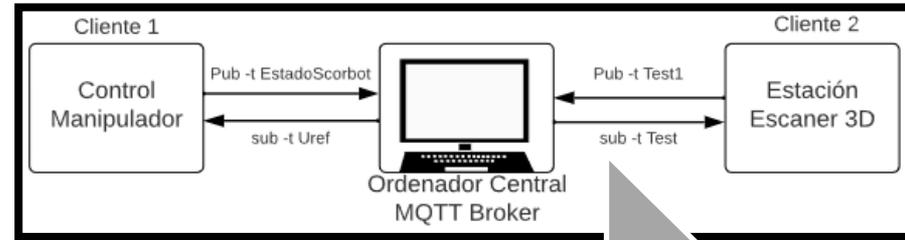
Calibración



Seguimiento



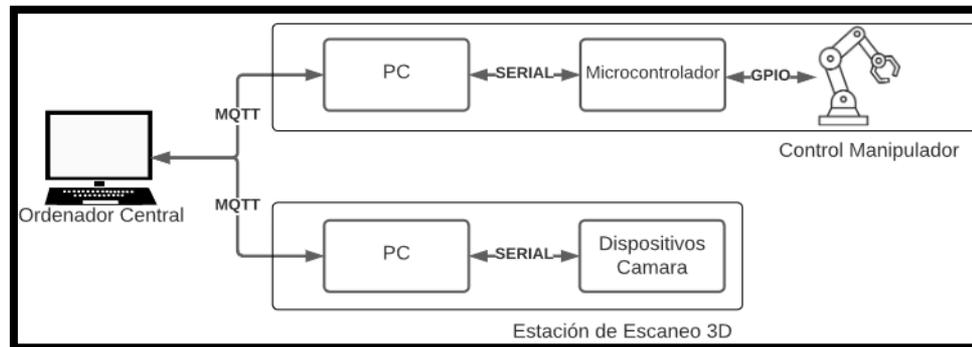
# Implementación de MQTT



MQTT

Topología general

Topología Estación



# Implementación de MQTT

Recibe Ordenes

```
24 class TestMQTT:
25
26     new *
27     def __init__(self):
28         print("inicia")
29
30     new *
31     def publicar(self, message):
32         if(not client.is_connected()):
33             # client.connect(host='192.168.107.47', port=1883)
34             client.connect(host='localhost', port=1883)
35             client.publish(topic='Test1', payload=message, qos=0)
```

```
16 class PublishMqtt:
17
18     new *
19     def __init__(self):
20         print("inicia")
21
22     new *
23     def connect_mqtt(self):
24         client = mqtt_client.Client(client_id)
25         # client.username_pw_set(username, password)
26         client.connect(broker, port)
27         return client
28
29     new *
30     def publish(self, client, message):
31         result = client.publish(topic, message)
```

Envía Estados



# PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS



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

# Comandos y funciones

Mensaje en -t Test	Función a ejecutar	Mensaje en -t Test1
0	Inicia estación de escaneo con parámetros de calibración predeterminados	"Inicio de estación de escaneo"
1	Conecta dispositivos	"Dispositivo conectado exitosamente" / "Dispositivo NO Conectado Revisar Estación"
2	Desconecta dispositivos	"Dispositivo desconectado exitosamente"
3	Inicia escaneo	"Inicio de escaneo" / "Dispositivos no conectados"
4	Pausa escaneo	"Escaneo Pausado"
5	Detiene escaneo	"Escaneo Detenido"
7	Escaneo automático	"Escaneo Automático CIM"
Carácter ≠ (0,1,2,3,4,5,7)	No ejecuta función	"Orden no soportada"



# Pruebas Individuales

Ensayo	Descripción	Resultado
Comprobación de giro de mesa	Mediante el uso de la aplicación de Horus se envían ordenes al motor Nema 17 y se comprueba el movimiento de la mesa	Ensayo exitoso
Funcionamiento de controladores de dispositivos	Se conectan los controladores de dispositivos a la PC y se revisan el reconocimiento en los puertos COM	Ensayo exitoso
Funcionamiento de cámara	Se ejecuta la aplicación de cámara en Windows y se revisa la conexión de la cámara con la aplicación Horus mediante el uso de funciones de captura de imágenes.	Ensayo exitoso
Estado de los láseres	Se envía una señal a los módulos laser mediante la aplicación Horus y se comprueba su intensidad y enfoque	Ensayo exitoso



# Pruebas Estéticas

Prueba	Modelo a escanear	Nube puntos generada
1		
2		
3		



# Pruebas Estéticas

Prueba	Modelo a escanear	Nube puntos generada
4		
5		
6		



# Pruebas Estéticas

Prueba	Modelo a escanear	Nube puntos generada
7		
8		
9		



# Pruebas Estéticas

Prueba	Parámetro	Puntuación	Puntuación global
1	Forma	6	6
	Textura	6	
	Color	6	
	Brillo	6	
2	Forma	5	5.75
	Textura	6	
	Color	6	
	Brillo	6	
3	Forma	4	6.25
	Textura	7	
	Color	7	
	Brillo	7	
4	Forma	6	5.75
	Textura	6	
	Color	5	
	Brillo	6	
5	Forma	5	5.75
	Textura	6	
	Color	7	
	Brillo	5	
6	Forma	6	6.75
	Textura	7	
	Color	7	
	Brillo	7	
7	Forma	5	5
	Textura	5	
	Color	5	
	Brillo	5	
8	Forma	6	6.75
	Textura	7	
	Color	7	
	Brillo	7	
9	Forma	5	5.75
	Textura	6	
	Color	6	
	Brillo	6	



# Pruebas Estación Indexada al CIM

Estación	Tópico	Mensaje	Estado
Robot manipulador	EstadoScorbot	Posicionando Pieza	El robot parte de su posición home hacia la localización designada de la pieza
		Pieza Posicionada correctamente	La pieza ha sido colocada correctamente en la mesa de escaneo
Escaneo 3D	Test1	Dispositivos de escaneo conectados exitosamente	Se pudo establecer la conexión entre dispositivos de escaneo y controlador
		Inicio de escaneo	Inicia el proceso de escaneo
		Escaneo Automático CIM	Detecta el funcionamiento dentro del CIM
		Proceso finalizado acercarse a la estación de escaneo	Finalizó el proceso de escaneo del objeto colocado en la mesa de escaneo

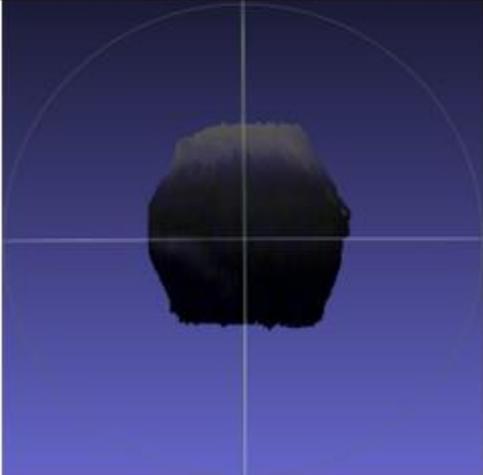


# Pruebas Medición

Geometría	Tamaño	Modelo a escanear	Nube puntos generada
Cilíndrica	Mediano		
	Grande		

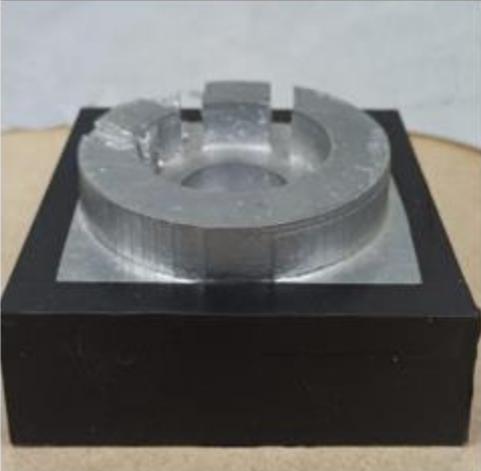


# Pruebas Medición

Geometría	Tamaño	Modelo a escanear	Nube puntos generada
Esférica	Mediano		
	Grande		



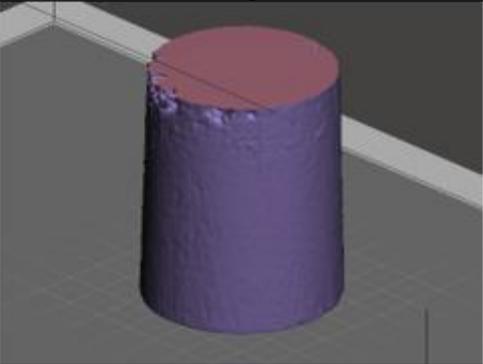
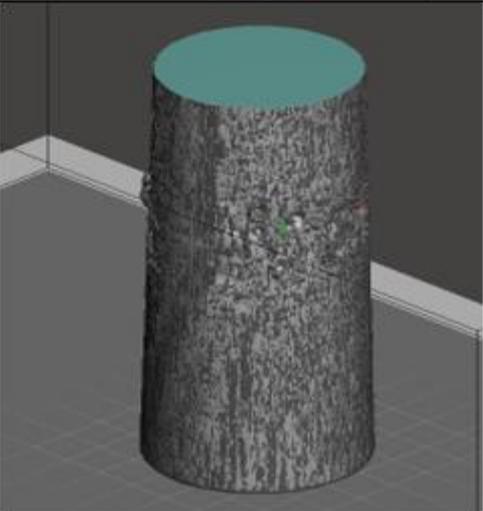
# Pruebas Medición

Geometría	Tamaño	Modelo a escanear	Nube puntos generada
Cúbica	Mediano		
	Grande		



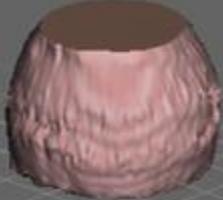
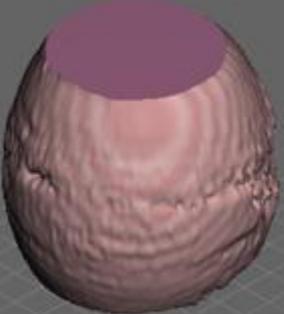
**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Posprocesados

Geometría	Tamaño	Sólido Posprocesado
Cilíndrica	Mediano	
	Grande	

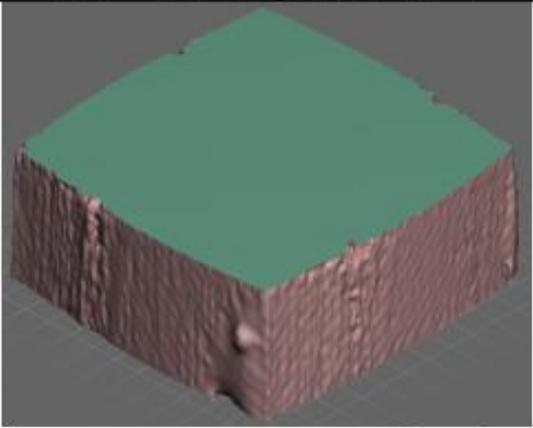
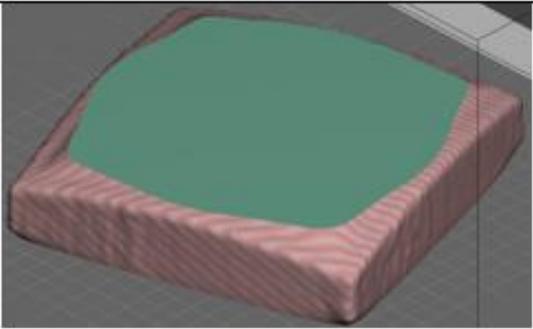


# Posprocesados

Geometría	Tamaño	Solido Posprocesado
Esférica	Mediano	
	Grande	



# Posprocesados

Geometría	Tamaño	Sólido Posprocesado
Cúbica	Mediano	
	Grande	



# Datos obtenidos

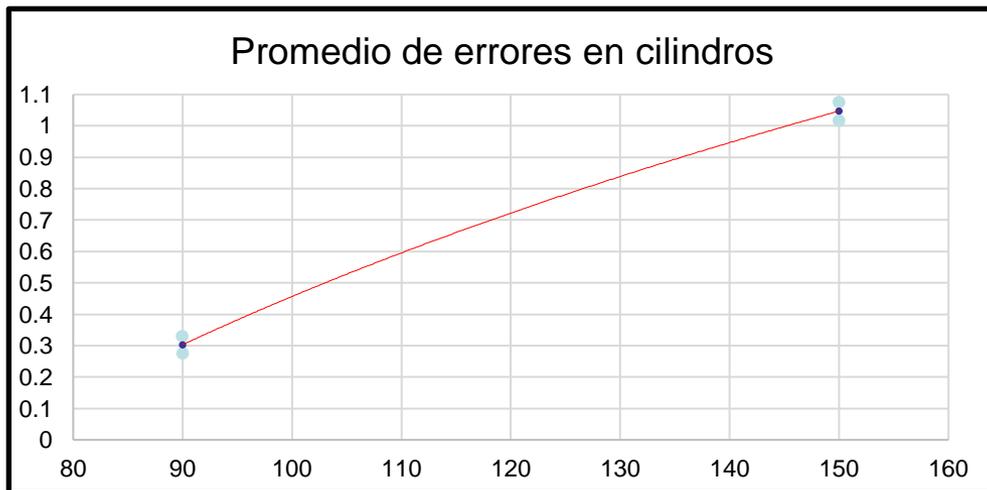
Geometría	Tamaño	Medidas sobre .STL (mm)			Medidas sobre modelo (mm)		
		Diámetro	Altura	Cara lateral	Diámetro	Altura	Cara Lateral
Cilíndrica	Mediano	51.061	90.45	-	51	90	-
	Grande	50.829	150.91	-	51	150	-
Esférica	Mediano	15.678	-	-	15.75	-	-
	Grande	31.245	-	-	31.65	-	-
Cúbica	Mediano	-	21.532	61.73	-	20	60
	Grande	-	28.186	103.61	-	26	100

Geometría	Tamaño	Diferencia de medida (mm)			Error (%)		
		Diámetro	Altura	Cara lateral	Diámetro	Altura	Cara lateral
Cilíndrica	Mediano	0.061	0.45	-	0.11	0.50	-
	Grande	0.171	0.91	-	0.33	0.60	-
Esférica	Mediano	0.072	-	-	0.45	-	-
	Grande	0.405	-	-	1.27	-	-
Cúbica	Mediano	-	1.532	1.73	-	7.66	2.83
	Grande	-	2.186	3.61	-	8.40	3.61



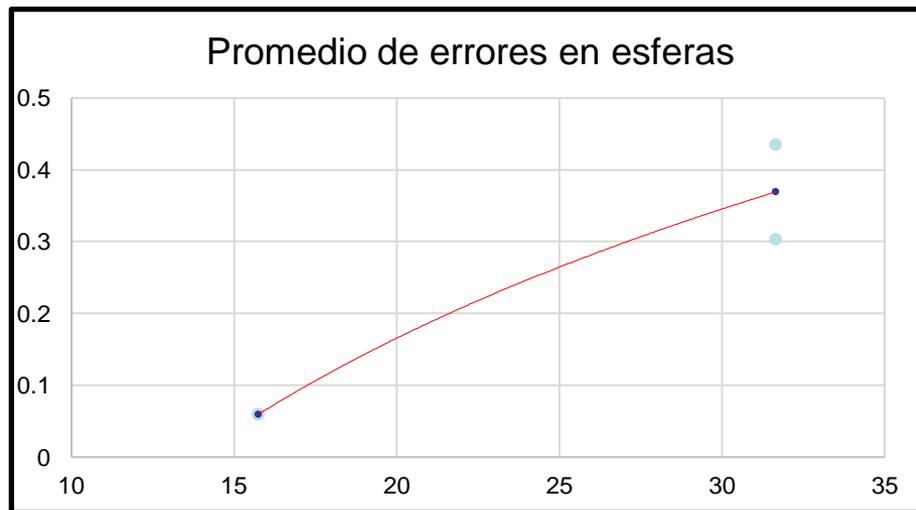
# Datos obtenidos

Pieza	Longitud (mm)	1-1'	2-2'	3-3'	Error 1	Error 2	Error 3	Promedio
Cilindro 1	90	90.45	90.3	90.12	0.45	0.3	0.12	0.29
Cilindro 1	90	90.54	90.32	90.16	0.54	0.32	0.16	0.34
<b>Error en piezas pequeñas</b>								0.315
Cilindro 2	150	150.9	151	151.1	0.91	1.02	1.12	1.01666667
Cilindro 2	150	151	151.1	151.1	1.04	1.06	1.13	1.07666667
<b>Error en piezas grandes</b>								1.04666667



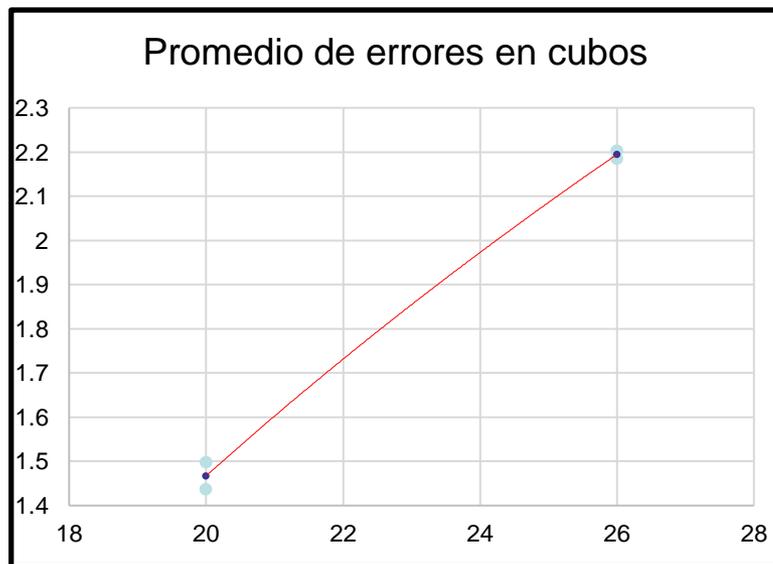
# Datos obtenidos

Figura	Diámetro (mm)	1-1'	2-2'	3-3'	Error 1	Error 2	Error 3	Promedio
Esfera 1	15.75	15.678	15.7	15.693	0.072	0.05	0.057	0.05967
Esfera 1	15.75	15.71	15.66	15.7	0.04	0.09	0.05	0.06
<b>Error en piezas pequeñas</b>								<b>0.05983</b>
Esfera 2	31.65	31.245	31.27	31.13	0.405	0.38	0.52	0.435
Esfera 2	31.65	31.19	31.52	31.33	0.46	0.13	0.32	0.30333
<b>Error en piezas grandes</b>								<b>0.36917</b>



# Datos obtenidos

Figura	Long. (mm)	1-1'	2-2'	3-3'	Error 1	Error 2	Error 3	Promedio
Cubo 1	20	21.532	21.55	21.41	1.532	1.55	1.41	1.497333
Cubo 1	20	21.38	21.42	21.51	1.38	1.42	1.51	1.436667
<b>Error en piezas pequeñas</b>								<b>1.467</b>
Cubo 2	26	28.186	28.23	28.196	2.186	2.23	2.196	2.204
Cubo 2	26	28.178	28.26	28.12	2.178	2.26	2.12	2.186
<b>Error en piezas grandes</b>								<b>2.195</b>







# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



# CONCLUSIONES



Rediseño del escáner / Protocolos de comunicación



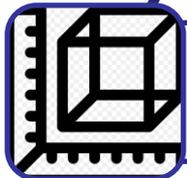
Fondo negro, base para alturas, altura ref. 905mm



Simulaciones mediante el uso de RoboCell



Similitud estética 85.7% / Color, brillo, forma y textura



Error de medida de 0.35%





Tópicos Test y Test1 en MQTT



Parámetros generales de calibración .JSON



12:39 minutos ejecución individual y 14:46 CIM

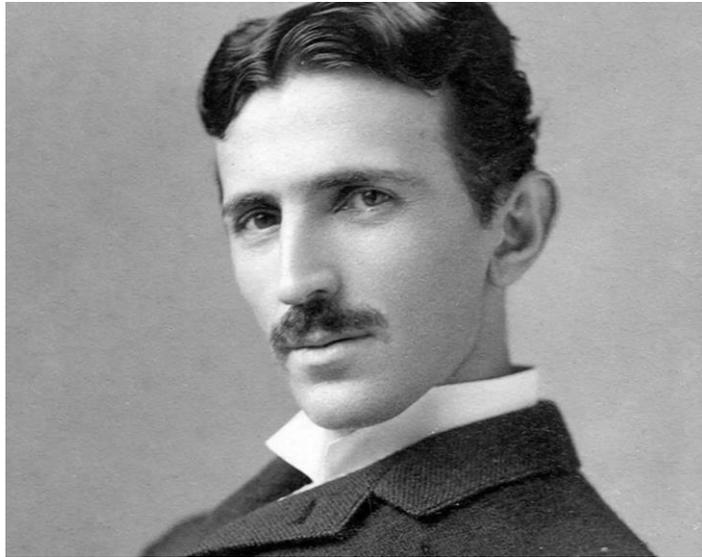


Interfaz amigable para el usuario



Permite realizar prácticas de laboratorio





*"El éxito no llega por accidente. Es el trabajo duro, la perseverancia, el aprendizaje, el estudio, el sacrificio y, sobre todo, el amor por lo que estás haciendo o aprendiendo a hacer"*

**- Nikola Tesla-**



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