

ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL PRINCIPIO DE TRIANGULACIÓN MEDIANTE LASER PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN ESCÁNER 3D ROTATIVO PARA EL LABORATORIO CNC DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

Ingeniería Mecatrónica

Sandra Marisol Chasiluisa

Galo Marcelo Tapia Estrella



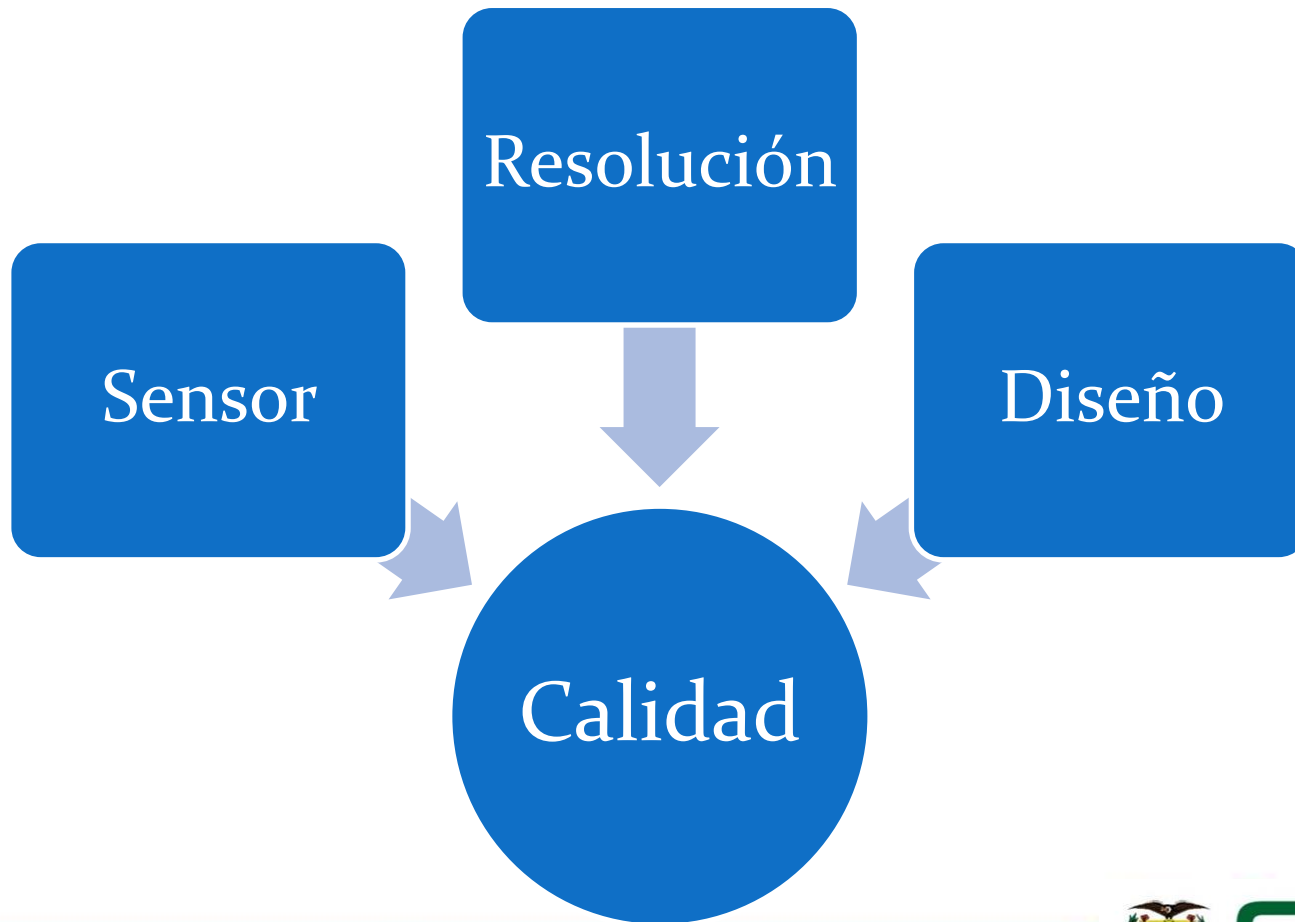
Escáner 3D

Escáner 3D activos

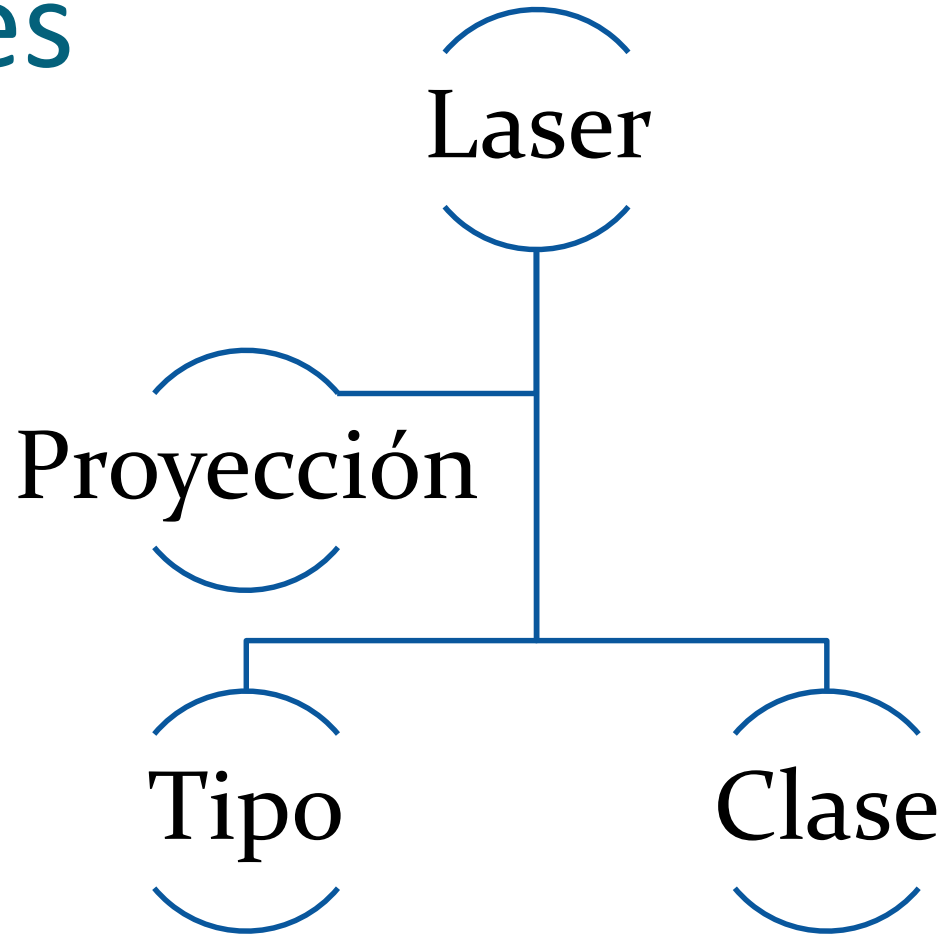
Escáner 3D de triangulación

Estado del arte

Cámaras digitales



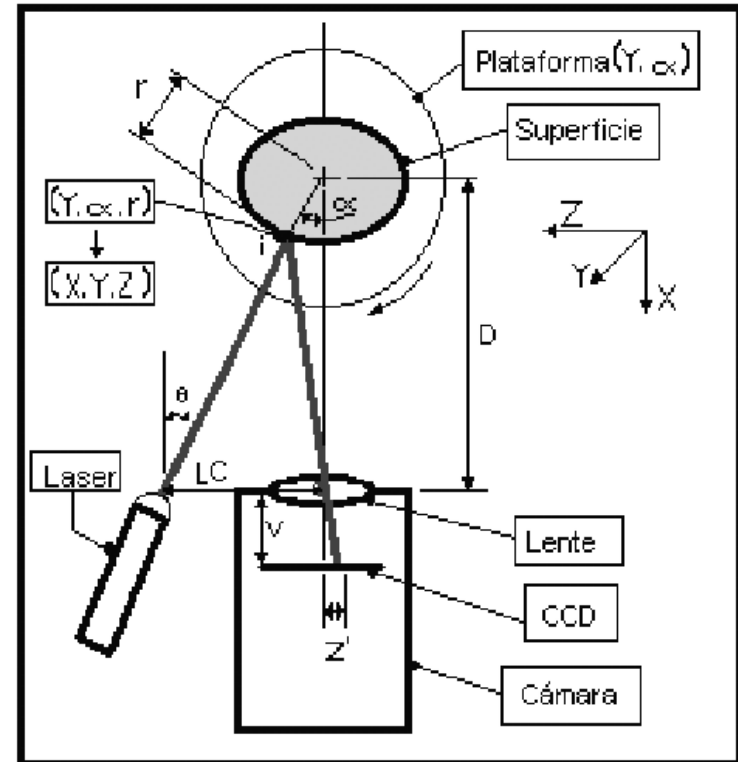
Láseres



Principio de triangulación

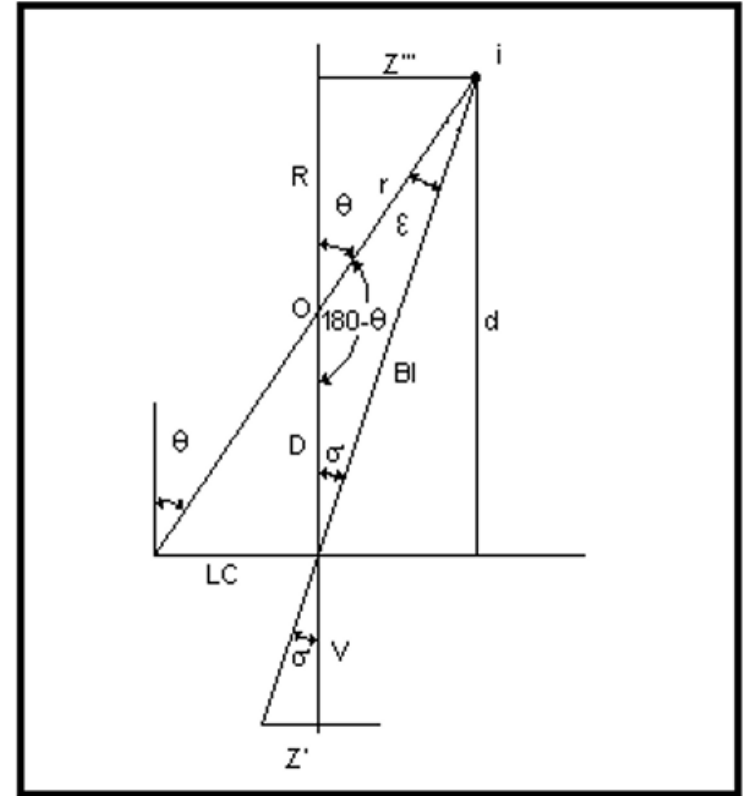
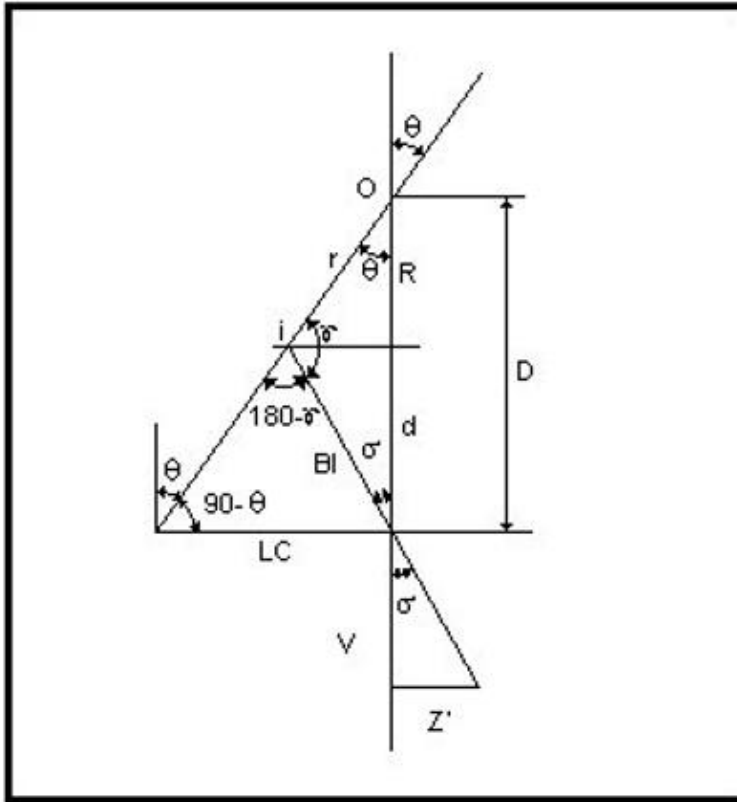
- Determinación de la profundidad de una superficie usando una cámara y la proyección de un laser sobre una superficie rotatoria.

Disposición y variables del sistema



Casos

Radio (+)



Radio (-)

Ecuaciones

- $$r(Z') = \frac{D - \left[\frac{D * \text{sen} \theta}{\text{sen} \left(180 - \theta - \tan^{-1} \left(\frac{Z'}{V} \right) \right)} \right] * \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{Z'}{V} \right) \right)}{\cos \theta}$$

- $$r(Z') = \frac{\left[\frac{D * \text{sen} (180 - \theta)}{\text{sen} \left(\theta - \tan^{-1} \left(\frac{Z'}{V} \right) \right)} \right] * \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{Z'}{V} \right) \right) - D}{\cos \theta}$$

Modo de operación del equipo



Autonomía



Iluminación

Condiciones de funcionamiento

- Tamaño de la pieza
- Geometría de la pieza
- Textura
- Peso
- Resolución de escaneo
- Material

Estructura

La mejor opción es la impresión 3D tomando en cuenta parámetros de:

- Costo
- Tiempo
- Complejidad del modelo
- Resistencia
- Disponibilidad

Selección de la impresora 3D

Dimensión BST 768.

- Resolución=0,254 mm.
- Área de impresión=203x203x305 mm.
- Material=P400
- Disponibilidad=Limitada

EOS Formiga P110

- Resolución=0,06 mm.
- Área de impresión=200x250x330 mm.
- Material=PA2200
- Disponibilidad=Limitada

Elementos de la estructura

Nombre	Número de piezas
Rodamiento de bolas axial 16014	1
Disco metacrilato negro Ø200 x 8 mm	1
Superficie antideslizante Ø200 mm	1
Varilla roscada negra M8 x 400 mm	2
Varilla roscada negra M8 x 292 mm	1
Varilla roscada negra M8 x 170 mm	4
Tornillo M3 x 10 mm - DIN-912 clase 8.8 negro	7
Tornillo M8 x 30 mm - DIN 931 clase 8 negro	3
Tuerca M3 - DIN 934 clase 8 negra	3
Tuerca M8 - DIN 934 clase 8 negra	28
Arandela M8 - DIN-125 clase 6 negra	18



Control

Controlador	Costo	Accesibilidad	Rapidez	Robustez	Entorno de programación	Promedio
PIC	9	10	7	7	7	8
AVR	10	8	8	8	8	8,4
DSPIC	8	7	9	7	7	7,4
Arduino	8	9	8	9	9	8,4
Raspberry Pi	7	7	10	10	10	8,8

Raspberry Pi 2

Ítem	Raspberry Pi 2 Model B
CPU	ARM11 ARMv7 ARM Cortex-A7 4 núcleos @ 900 MHz
GPU	Broadcom VideoCore IV 250 MHz. OpenGL ES 2.0
RAM	1 GB LPDDR2 SDRAM 450 MHz
USB 2.0	4
Salidas de vídeo	HDMI 1.4 @ 1920x1200 píxeles
Almacenamiento	microSD
Ethernet	Sí, 10/100 Mbps
Consumo	5v, 900mA, aunque depende de la carga de trabajo de los 4 cores
Precio	35 dólares

Cámara utilizada

Logitech C270 HD

- Videoconferencias HD (1280 x 720 píxeles) con el sistema recomendado
- Sensor CCD
- Frame rate: 30fps
- Fotos: Hasta 3.0 megapíxeles (mejora por software)
- Certificación USB 2.0 de alta velocidad

Láseres utilizados

Nombre	Valor
Longitud de onda	650 nm
Voltaje	5 V
Distancia de trabajo	300 mm
Apertura de salida	3 mm
Potencia	2.5 mW
Angulo de abanico	$> 60^\circ$
Diámetro del dispositivo	8 mm
Longitud del dispositivo	26 mm
Longitud del cable	250 mm
Clase de seguridad	1
Certificación TÜV	Yes

Motor utilizado

Nema 17

- Pasos por vuelta: 200 ($1,8^\circ$ /paso)
- Corriente: 1.2 Amperios por bobinado
- Tensión: 4 V
- Torque: 3.2 kg/cm (44 oz-in)

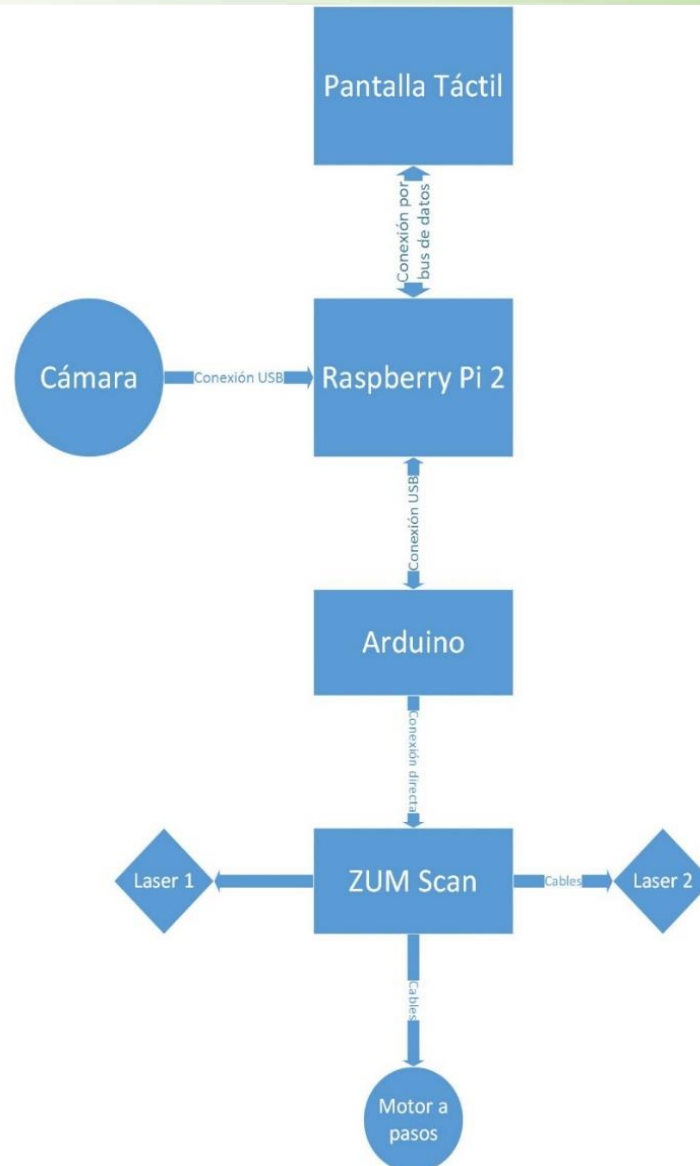
Control de potencia

- Placa arduino junto a placa ZUM Scan
- Soporte para 2 motores a pasos
- Soporte para 4 laser
- Soporte para 2 LDR's



Pantalla táctil utilizada





Conexión

Herramientas de software

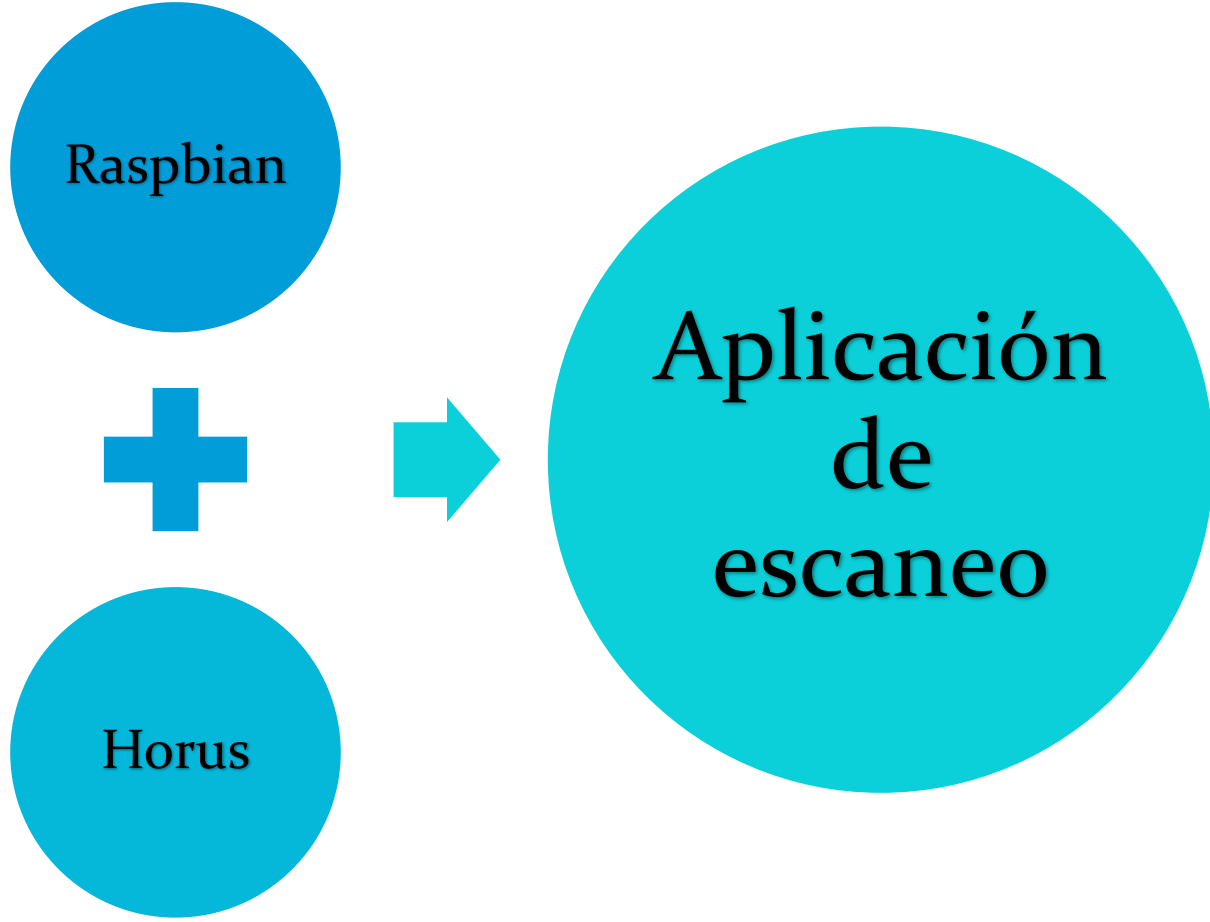
- Sistema operativo Raspbian
- Lenguaje de programación Python
- Librerías de OpenCV
- Aplicación basada en Horus

Aplicación de escaneo

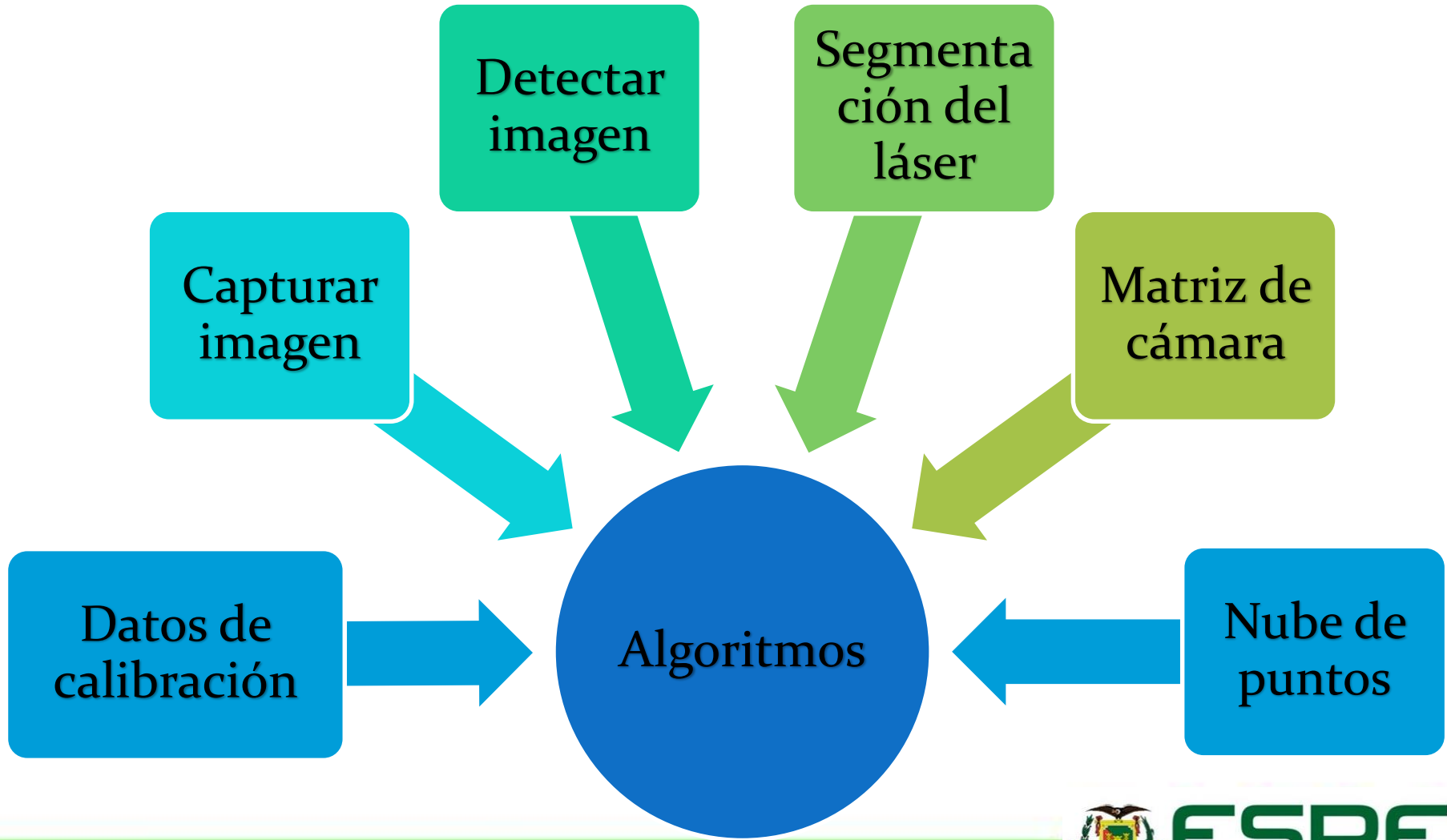


Implementación de la aplicación

- Requisitos de almacenamiento
- Procedimiento de carga
- Ejecución



Desarrollo de la aplicación



Comunicación

Cámara

- Pruebas de captura y detección de imagen

Controlador de potencia

- Verifica conexión al puerto serial de la Raspberry Pi 2

Calibración

Cámara

- Matriz de cámara
- Patrón de calibración

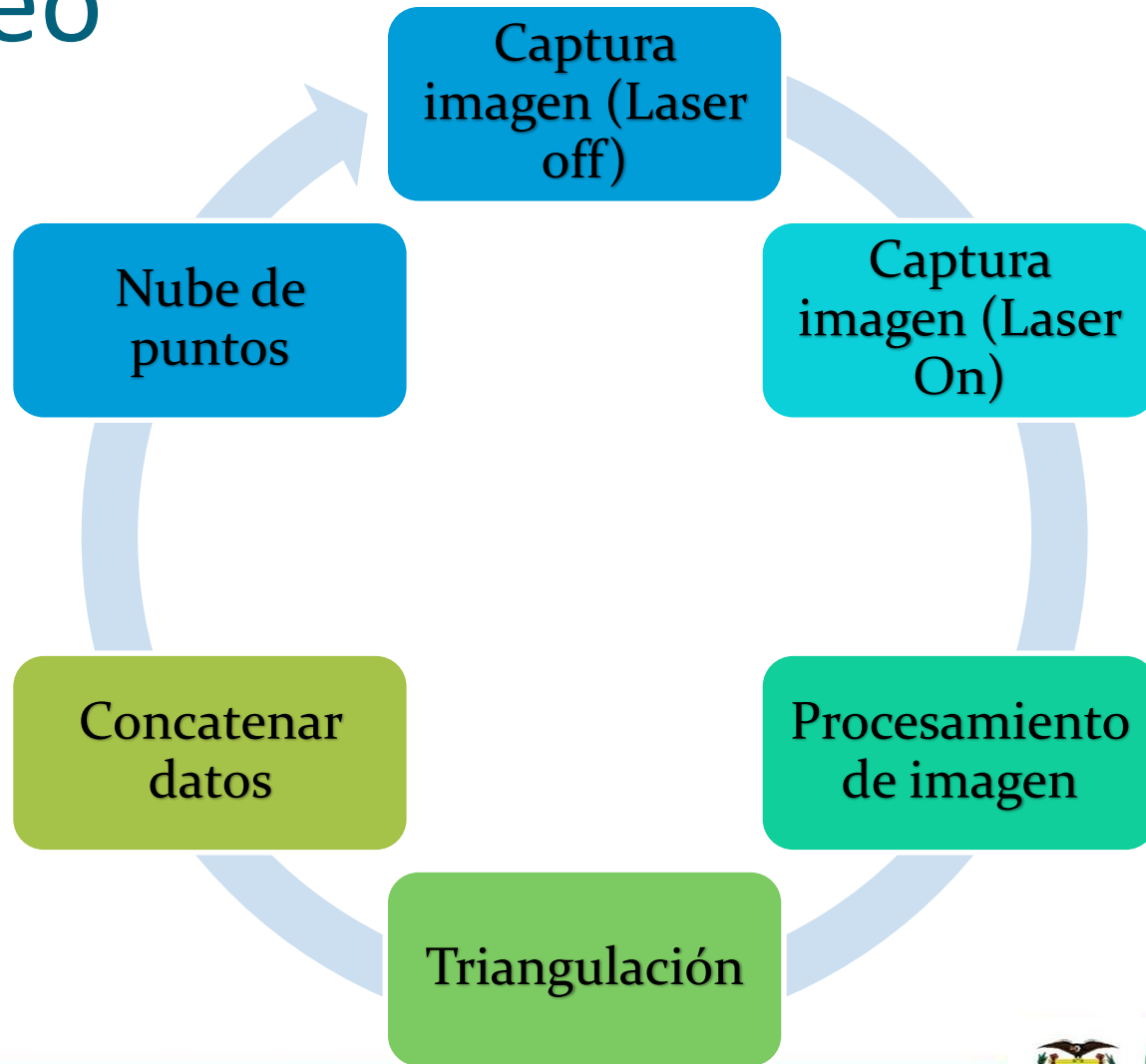
Laser

- Inclinação de los laser
- Profundidad del patrón

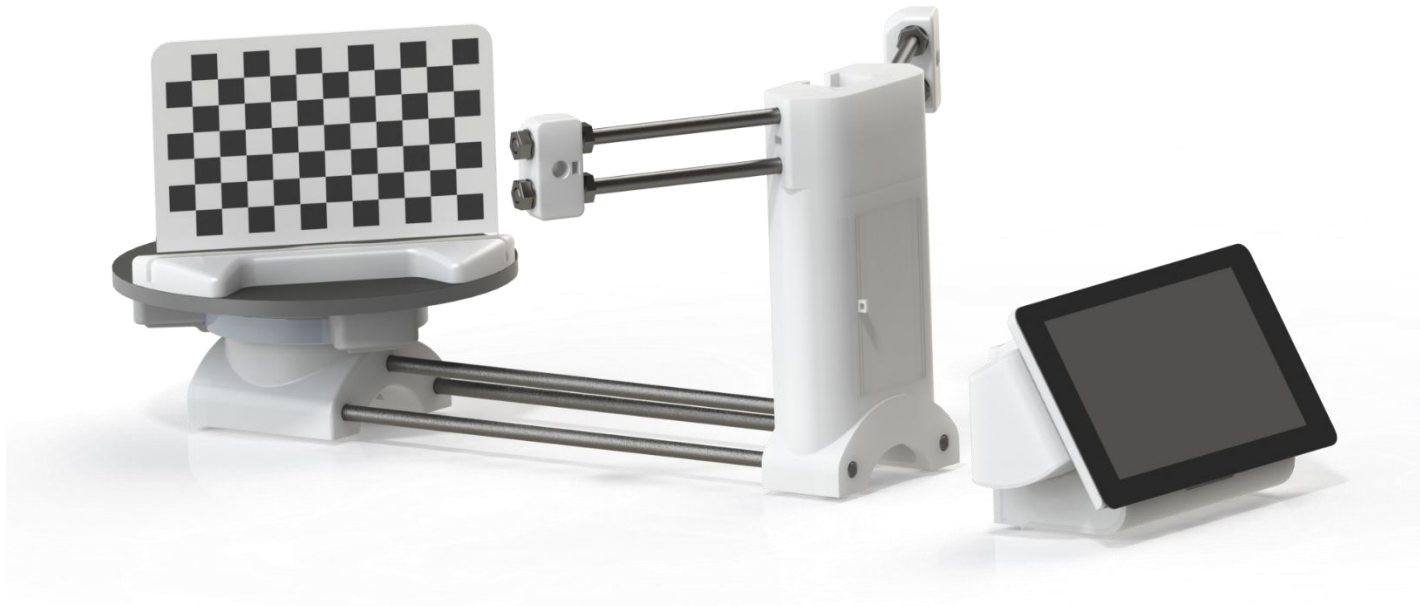
Disco rotatorio

- Matriz de transformación homogénea

Escaneo



Montaje final





Pruebas

- Capacidad de escaneo



Objeto real



Nube de
puntos

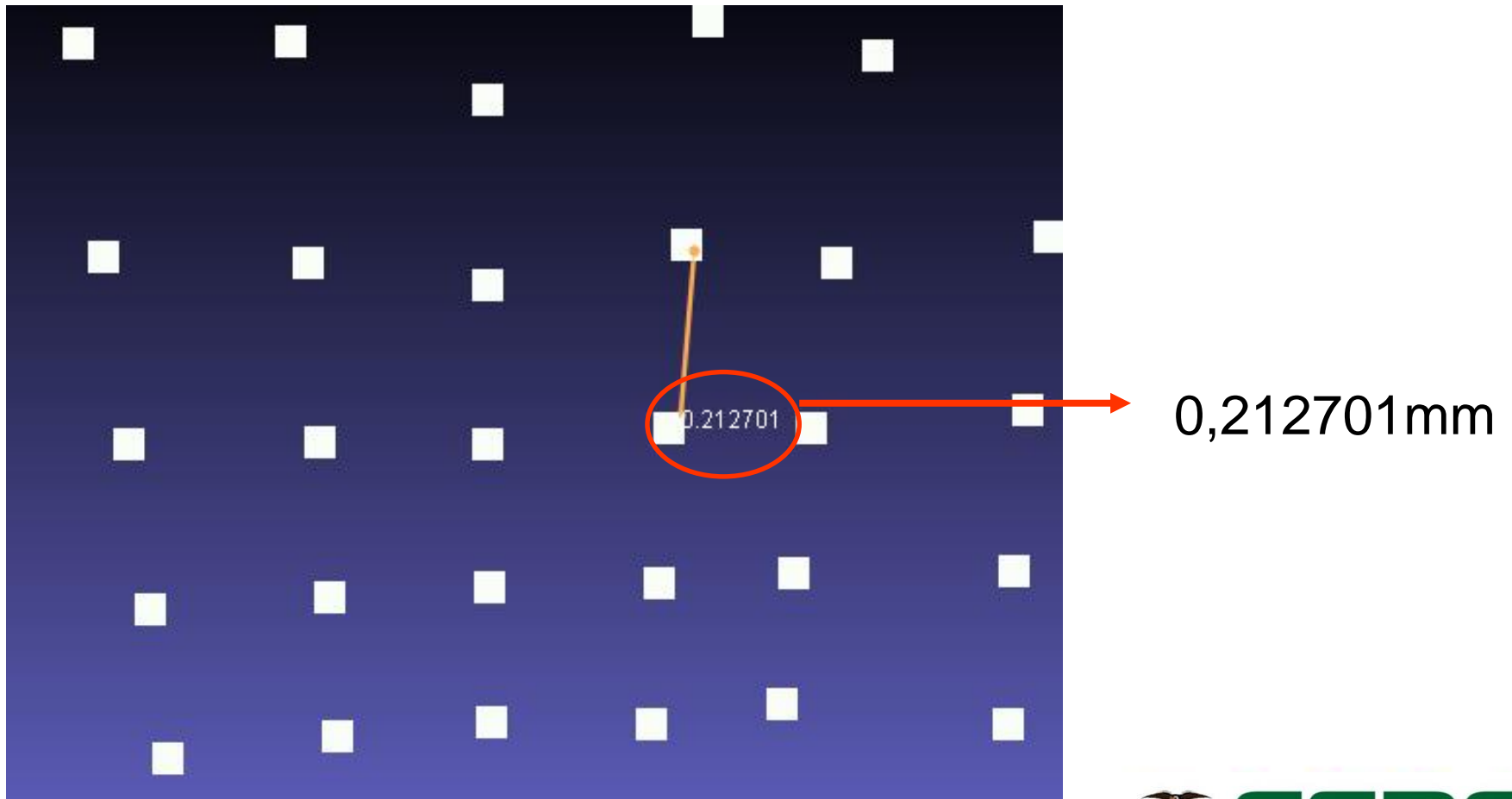


Posprocesado

Cuadro de medidas y fallas

Detalle	Medida real(mm)	Medida del solido escaneado(mm)	Falla(mm)
Altura	132	131.217	0.883
Diámetro del sombbrero	37.5	38.24	0.75
Diámetro de la cabeza	65	63.5	1.5
Diámetro del botón	11	10.36	0.64
Diámetro del cuello	51	49.74	1.26
Ancho de la oreja	26.5	25.6	0.9
Punta de la bufanda	24	23.38	0.62

Macro visión de la nube de puntos



Iluminación de entornos de prueba

Ambiente usado para las pruebas de escaneo	Medición de luminosidad (Lux)
Cuarto en la noche con las luces apagadas	6
Cuarto en la noche con las luces encendidas	52
Cuarto en el día con cortinas gruesas cerradas	20
Cuarto en el día con cortinas delgadas cerradas	112
Cuarto en el día con cortinas abiertas	1200

Fallas comunes de escaneo

Calibración



Iluminación



Objetos extraños



Variación manual de parámetros



Escáner profesional vs escáner desarrollado

Parámetros	Escáner PICZA LPX6o	Escáner desarrollado
Costo	\$17000	\$1000
Recursos	Mayor cantidad de recursos para el procesamiento	Menor cantidad de recursos para el procesamiento
Autonomía	50%	95%
Seguridad	100%	95%
Calidad del escaneo	9.5/10	8/10
Tiempo de escaneo	Aprox 36 min	Aprox 45 min
Resolución	0.2mm	0.5mm
Capturar color	No	Si
Genera archivo stl	Si	No
Repercusión de incidencia de luz	0%	30%
Facilidad de uso	9/10	7/10

Nube de puntos-Complejidad baja



PICZA Laser 3D
Escaner LPX 60



Escáner
desarrollado

Justificación de la hipótesis

- Se diseñará y construirá un escáner 3D rotativo mediante el análisis de parámetros del principio de triangulación.

Conclusiones

- Se diseñó y construyó un escáner 3D laser rotativo, utilizando el principio de triangulación por láser, capaz de interpretar formas y colores, con una resolución de 0.5mm, que genera archivos de nubes de puntos con extensión .ply.
- Se demostró que al utilizar una cámara de resolución 1280x720 pixeles se obtiene una resolución de 0.5mm en el proceso de escaneo.
- Se comprobó que el escáner desarrollado puede operar en ambientes con luminosidad de 6 a 1200 luxes.

- La mejor interpretación de color se obtiene en ambientes con iluminación uniforme, con valores de entre 100 a 120 luxes.
- La mejor interpretación de forma se obtiene con objetos de geometría cilíndrica sin caras ocultas, en caso de objetos de geometría compleja con caras ocultas la información obtenida por la cámara dificulta su digitalización.
- El tiempo de escaneo varía de 8 a 41 minutos, este valor depende de la resolución seleccionada al inicio del proceso, la complejidad y el tamaño del objeto no influyen en el tiempo de escaneo.

Recomendaciones

- Para incrementar la resolución del escáner, se recomienda usar una cámara con mayor resolución y laser con una proyección de línea más fina.
- Para reducir el tiempo de escaneo se recomienda utilizar un procesador más potente.
- Para mejorar la interpretación de color se recomienda el uso de luz natural constante y uniforme.
- Se recomienda la implementación de un algoritmo de auto calibración de la iluminación del entorno utilizando ldr, para mejorar la respuesta del sistema frente a cambios de luz.
- Colocar el escáner sobre una superficie horizontal fija y antideslizante.