



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA LA MANIPULACIÓN, ENSAMBLAJE Y CONTROL DE CALIDAD DE PIEZAS A TRAVÉS DEL USO DE UN BRAZO ROBÓTICO PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA

AUTORES:

NEY FERNANDO AUCAPIÑA GARNICA

BRAYAN IVÁN IZA GUANONCHANGA

DIRECTORA:

ING. NATHALY REA



AGENDA

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

HIPÓTESIS

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

SELECCIÓN DE COMPONENTES

DISEÑO DEL SISTEMA

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

PRUEBAS Y RESULTADOS

VIDEO DEMOSTRATIVO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

INTRODUCCIÓN



El trabajo de titulación consiste en diseñar y construir un sistema de visión artificial orientado a la manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas por medio de un brazo robótico



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un sistema de visión artificial para la manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas a través del uso de un brazo robótico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Investigar sobre el uso de los sistemas de visión artificial en temas de manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas

Indagar sobre cada elemento que va a formar parte del sistema de visión artificial para la manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas.

Seleccionar los componentes que van a formar parte del sistema de visión artificial.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar la estructura mecánica que servirá como base para el sistema de visión artificial junto con el brazo robótico

Realizar la programación de algoritmos de control basado en técnicas de procesamiento de imágenes.

Comparar distintos modelos de brazos robóticos, para la selección pertinente del mismo junto con su efector final para implementarse en el sistema de visión artificial así como su sistema de control correspondiente

Validar el sistema de visión artificial usando objetos de prueba para verificar su funcionamiento.

Implementar la estructura mecánica, el brazo robótico junto con su efector final y el sistema de visión artificial.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

¿ El sistema de visión artificial permitirá la manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas a través del uso de un brazo robótico?

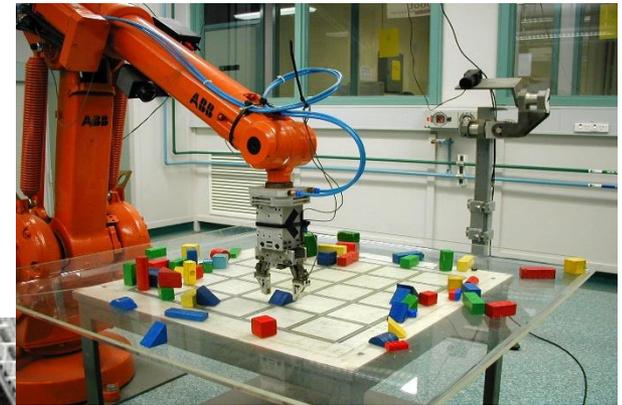


FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



ROBÓTICA

La robótica se define como una disciplina científica que aborda la investigación y desarrollo de una clase particular de sistemas mecánicos, denominados robots, diseñados para realizar una amplia variedad de aplicaciones industriales, científicas, educativas, domésticas y comerciales.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

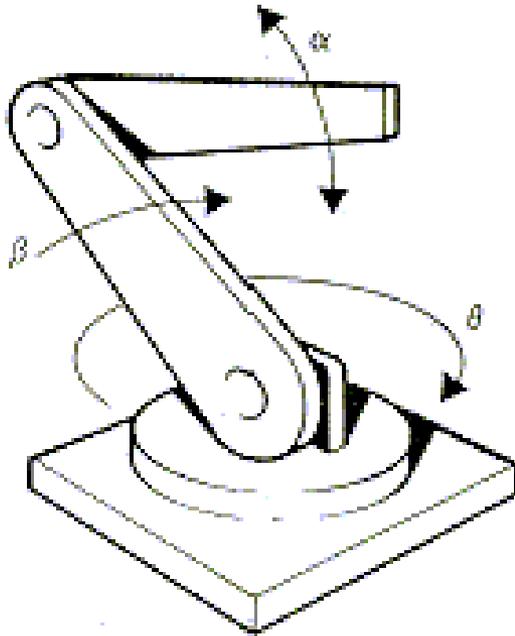
ROBOTS INDUSTRIALES

Según la IFR (Federación Internacional de Robótica), es una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que pueden posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento

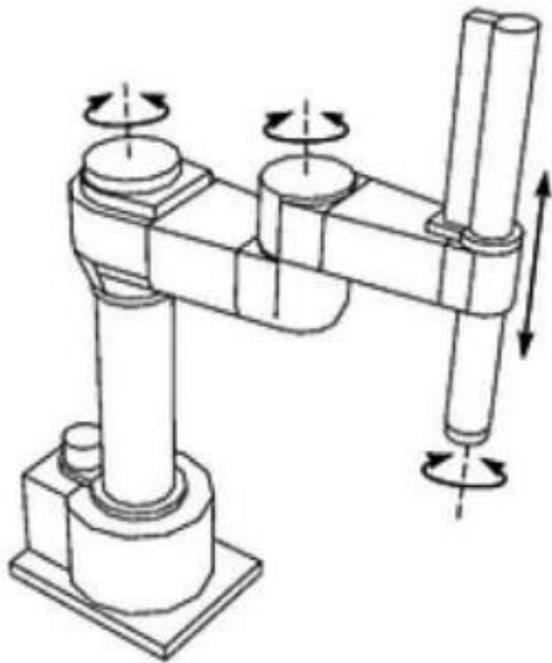


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

BRAZO ROBÓTICO DE CONFIGURACIÓN ARTICULADA



BRAZO ROBÓTICO DE CONFIGURACIÓN SCARA



APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

TAREAS DE MEDICIÓN

**Correlación cuantitativa
con los datos de diseño
para asegurar la calidad
del producto**



APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

TAREAS DE DETECCIÓN DE DEFECTOS & CONTROL DE CALIDAD

Análisis cualitativo que consiste en la identificación de defectos

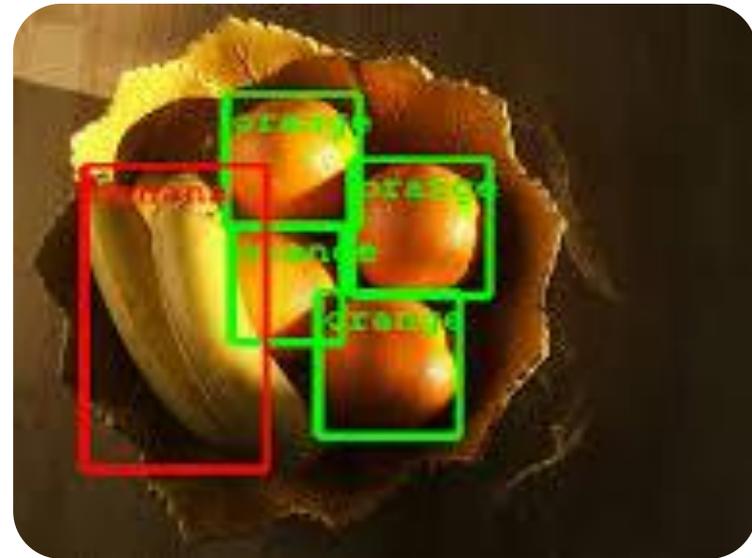


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

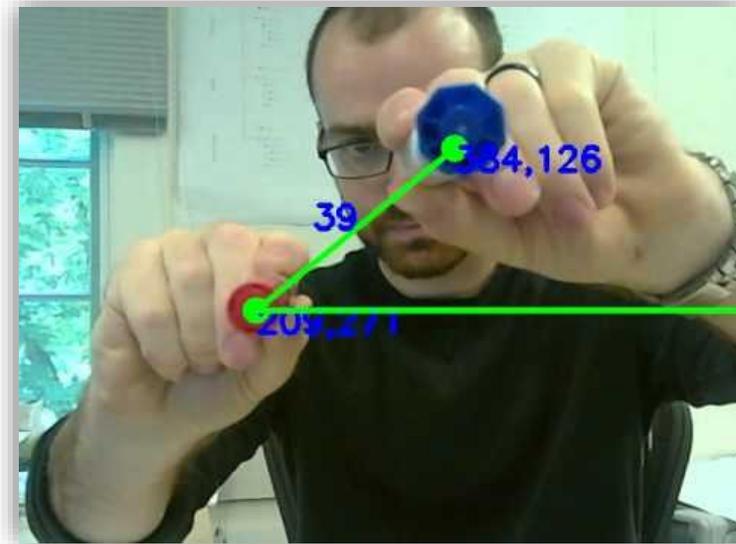
RECONOCIMIENTO

Identificación de un objeto en base a descriptores



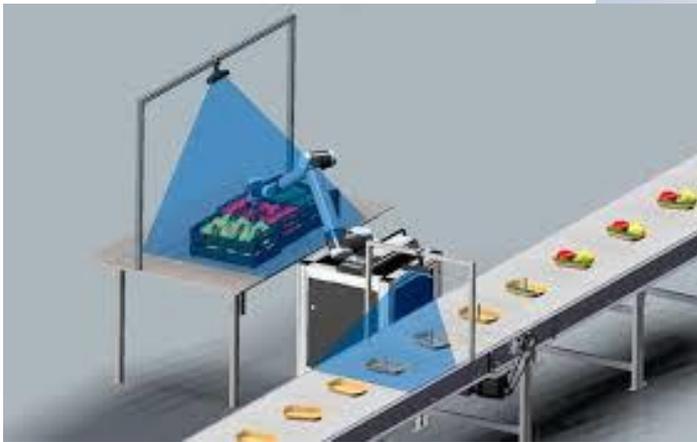
ANÁLISIS DE LOCALIZACIÓN

Evaluación de la posición de un objeto, en base a parámetros.

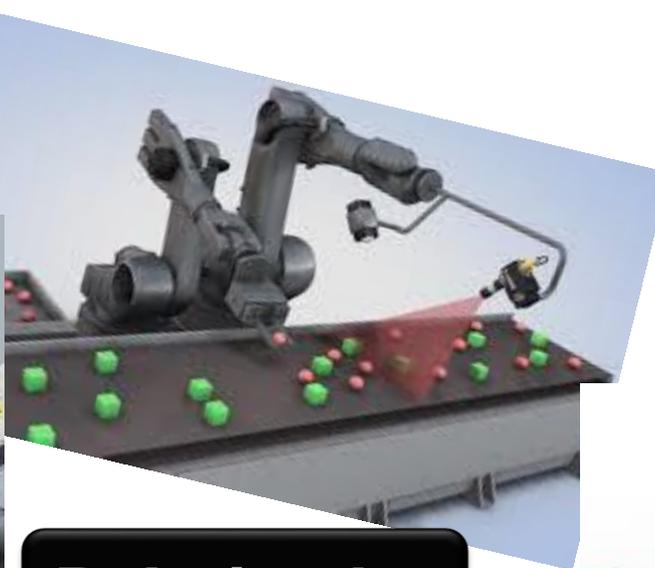


APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

VISION ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA



Ensamblado



Paletizado

Control de calidad



APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

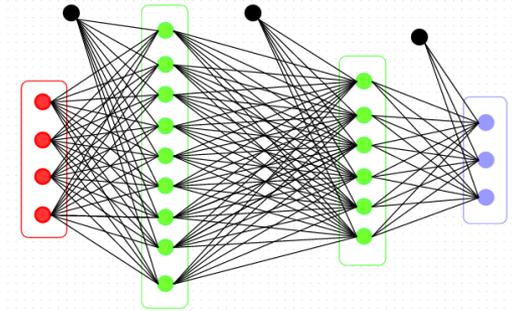
VISION ARTIFICIAL APLICADA A LA INDUSTRIA



Seguridad



Medicina



**Big Data y
Machine
Learning**

APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

VISION ARTIFICIAL APLICADA A LA ROBÓTICA

Clasificación de los sistemas de control visual

Configuración física del robot

Utilización de características de la imagen

Arquitectura del robot



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

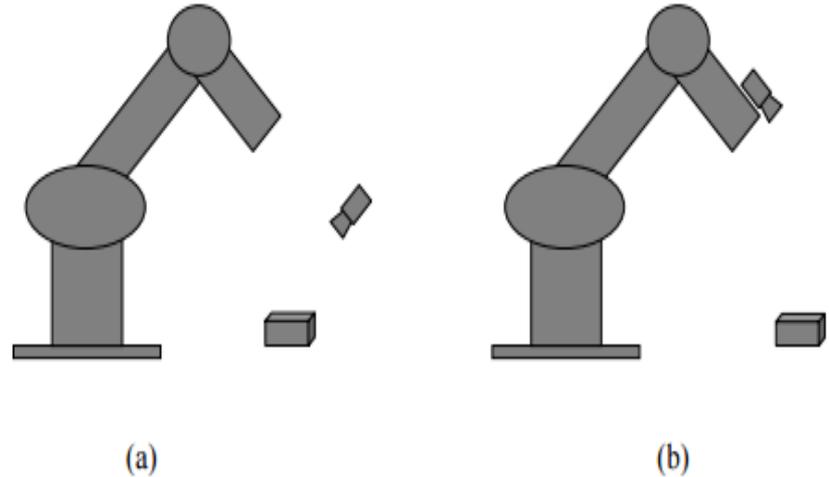
APLICACIONES DE LA VISIÓN ARTIFICIAL

VISION ARTIFICIAL APLICADA A LA ROBÓTICA

Disposición de los elementos sensores(cámaras)

Lugar fijo

Extremo del robot



MEDICIÓN BASADA EN FOTOGRAFÍA

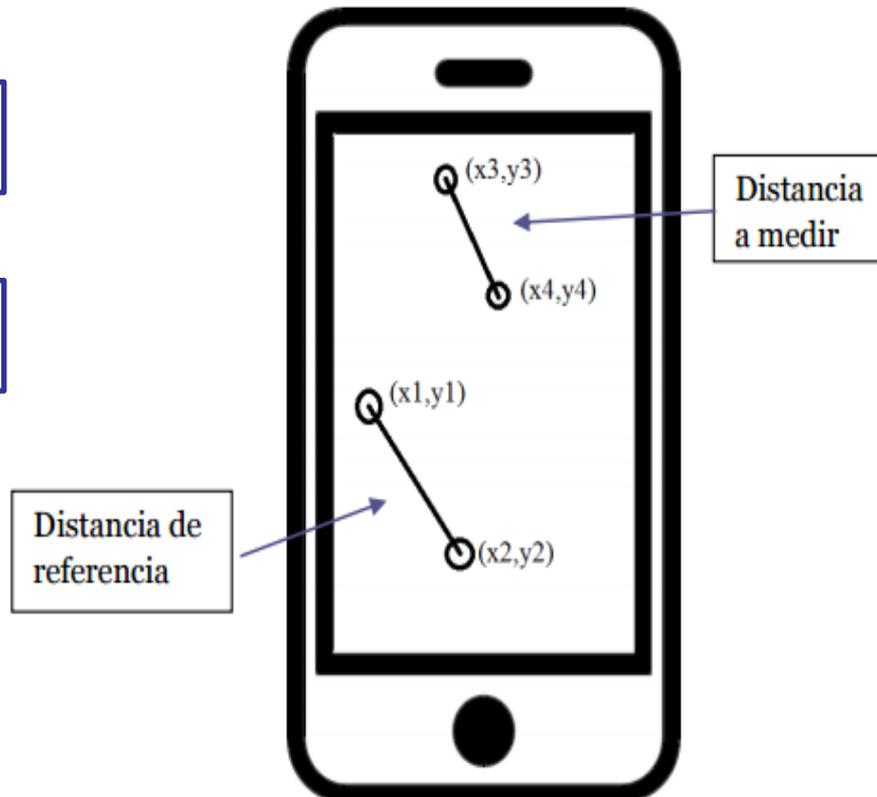
Objeto de Interés

Objeto de referencia

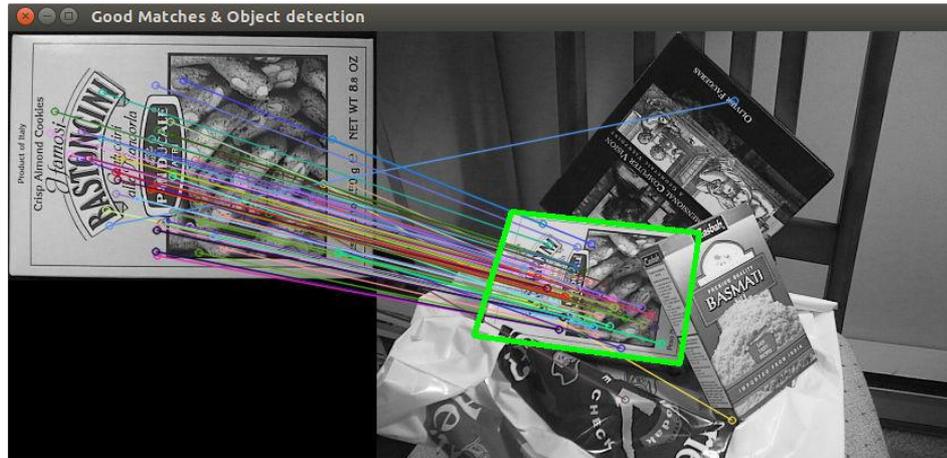
$$referencia_{pixel} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

$$objeto_{pixel} = \sqrt{(x_3 - x_4)^2 + (y_3 - y_4)^2}$$

$$objeto_{medida\ real} = \frac{objeto_{pixel} * medidaReal}{referencia_{pixel}}$$

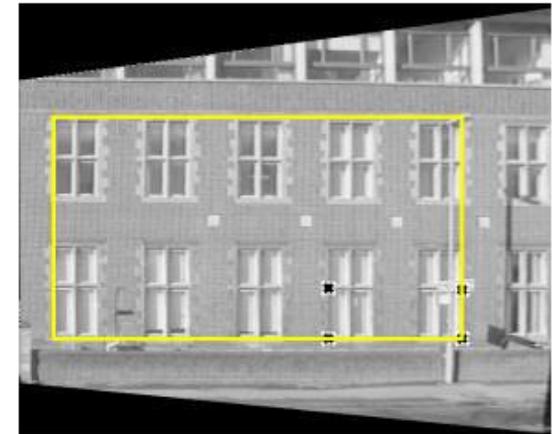


CORRECCIÓN POR HOMOGRAFÍA



*Transformación Proyectiva
entre dos imágenes*

Puntos de emparejamiento



SELECCIÓN DE COMPONENTES



uArm Studio

Código G

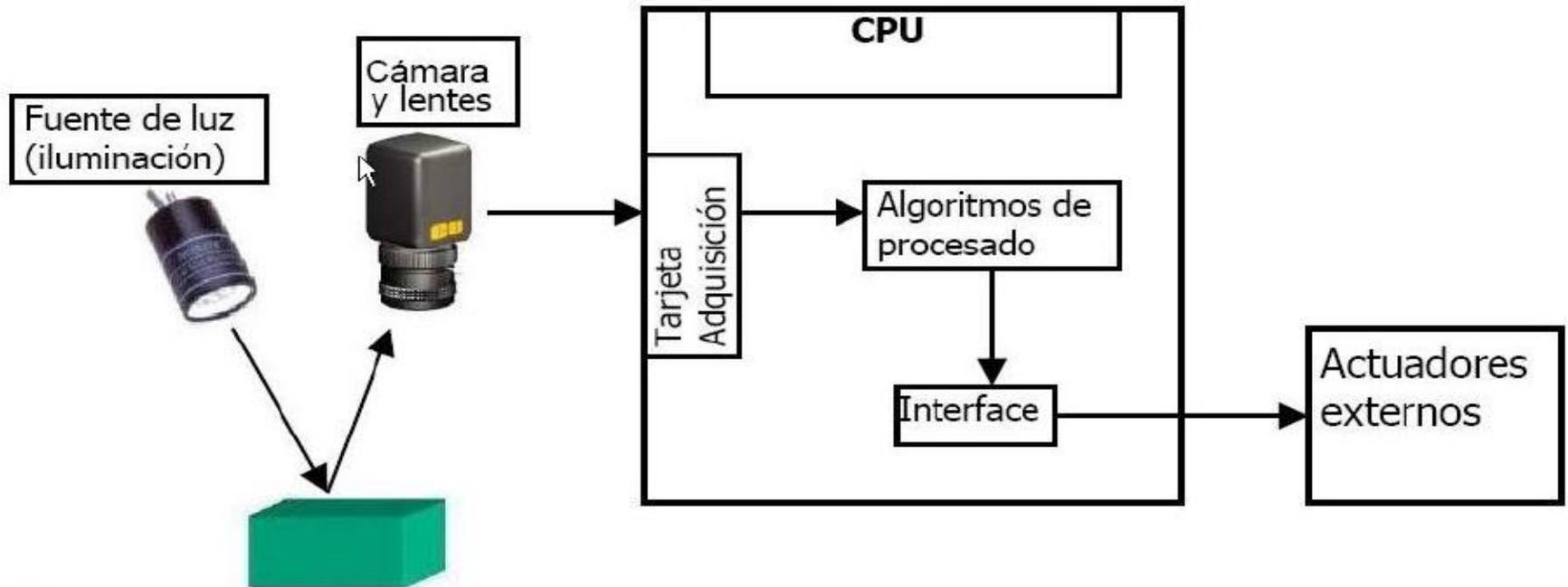
uArm Swift Pro



		uArmSwift Pro		Dobot Magician		Dobot M1		Scorbot ER4u	
	%	Ev	%	Ev	%	Ev	%	Ev	%
Costo	15%	4,00	0,60	4,00	0,60	3,00	0,45	2,00	0,30
Grados de libertad	20%	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00	5,00	1,00
Comunicación	10%	4,00	0,40	3,00	0,30	3,00	0,30	4,00	0,40
Software de control	10%	5,00	0,50	3,00	0,30	3,00	0,30	3,00	0,30
Carga	10%	5,00	0,50	5,00	0,50	5,00	0,50	5,00	0,50
Repetibilidad	20%	4,00	0,80	4,00	0,80	5,00	1,00	4,00	0,80
Alcance máximo	15%	3,00	0,45	3,50	0,53	4,00	0,60	5,00	0,75
Total	100 %	30,00	4,25	27,50	4,03	28,00	4,15	28,00	4,05
Seleccionar			SI		NO		NO		NO



ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL



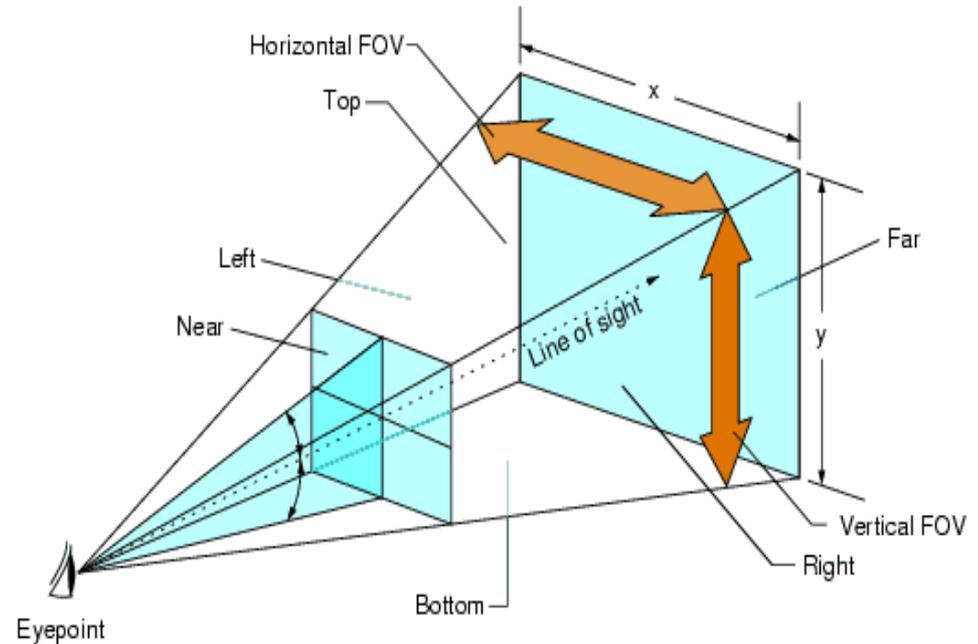
Velocidad

Precio

Distancia focal

Software

Ángulo de enfoque



$$\text{Aspect Ratio} = \frac{y}{x} = \frac{\tan(\text{vertical FOV}/2)}{\tan(\text{horizontal FOV}/2)}$$

$$HFOV = 2 \arctan \left(\frac{w}{f} \right)$$



$$HFOV = 2 \arctan \left(\frac{w}{f} \right) > 51^\circ$$

Microsoft LifeCam Studio

		HD Webcam C525 Logitech		Wide cam F100 Genius		LifeCam Studio 1080 Microsoft		AW525 HD Webcam AUSDOM	
Característica	%	Ev.	%	Ev	%	Ev	%	Ev	%
Velocidad	10%	4	0,40	4	0,40	4	0,40	4	0,40
Sensor	10%	4,5	0,45	4,5	0,45	4,5	0,45	4,5	0,45
Precio	20%	3	0,60	2	0,40	4	0,80	3,5	0,70
Distancia focal efectiva	25%	3	0,75	4	1,00	4	1,00	3,8	0,95
Angulo de enfoque	35%	4,5	1,58	3,5	1,23	5	1,75	4,5	1,58
Total	100%	19	3,78	18	3,48	21,5	4,40	20,3	4,08
¿Implementar?			NO		NO		SI		NO



$$HFOV = 2 \arctan \left(\frac{w}{f} \right) > 34^\circ$$

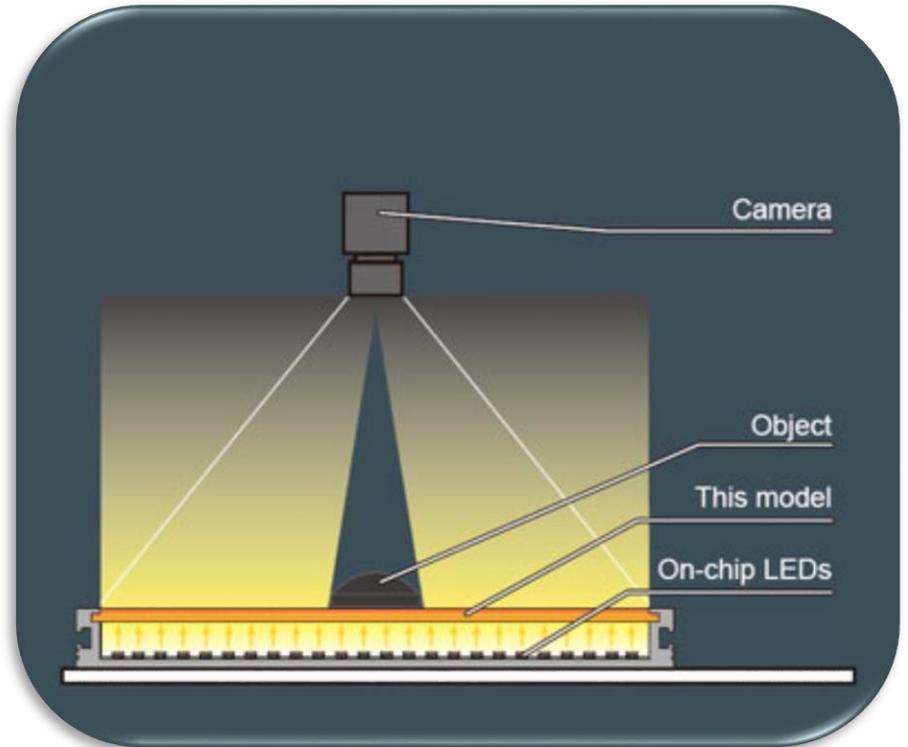
Característica	SpeedMind Webcam SMW159
Sensor	CMOS
Velocidad	320x240 → 30 fps 640x480 → 10 fps 2560x2048 → 6 cuadros/segundo
Distancia (f)	5 cm hasta el infinito
Angulo	60°
Software	Windows, Linux, Mac IOS
Precio (dólares)	10

WebCam SMW159



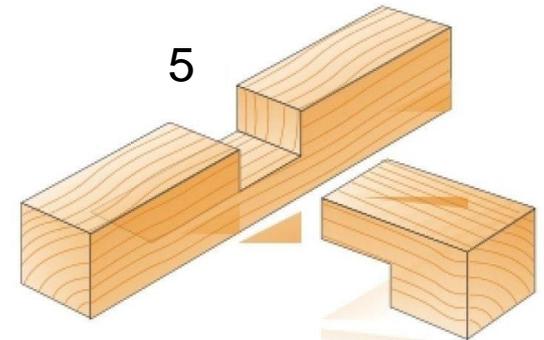
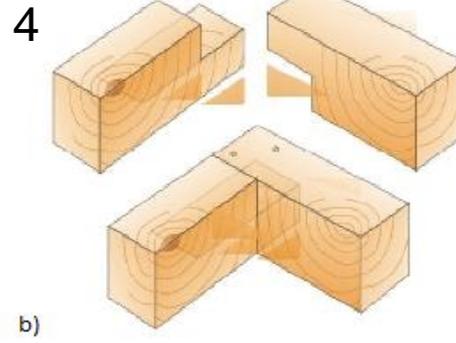
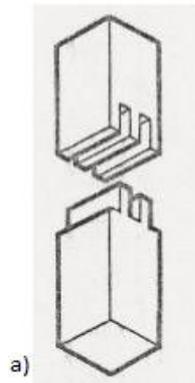
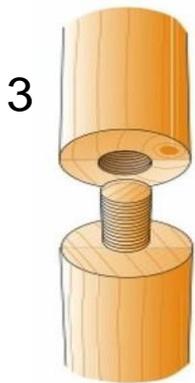
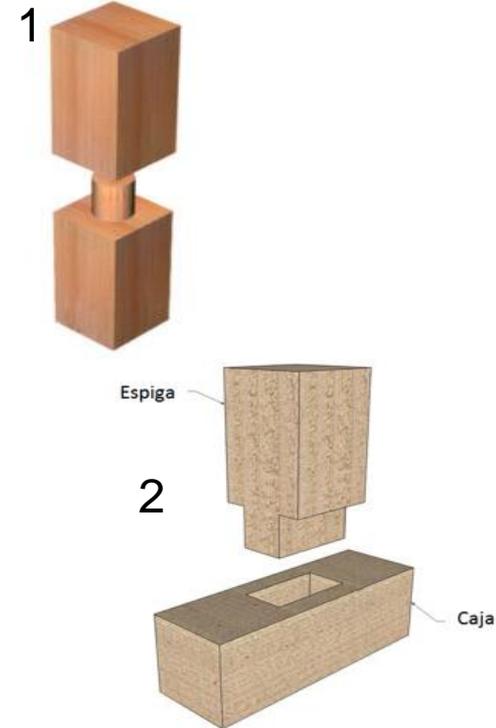
Retroiluminación

Inspecciones de siluetas con mediciones muy precisas y de impurezas en los objetos transparentes o translúcidos. Utilizada también en materiales translúcidos o transparentes



TIPOS DE ENSAMBLÉS

		Alternativa 1		Alternativa 2		Alternativa 3		Alternativa 4		Alternativa 5	
Factor relevante	%	Ev	%	Ev	%	Ev	%	Ev	%	Ev	%
Facilidad de diseño (piezas)	20%	5	1	5	1	3	0,6	4	0,8	4	0,8
Complejidad del ensamble	30%	5	1,5	5	1,5	2	0,6	3	0,9	3	0,9
Facilidad de manipulación piezas	10%	5	0,5	4	0,4	5	0,5	4	0,4	4	0,4
Facilidad de manipulación ensamble	30%	5	1,5	4	1,2	5	1,5	4	1,2	1	0,3
Facilidad de manufactura	10%	5	0,5	5	0,5	3,5	0,35	4	0,4	4	0,4
Suma	100%	25	5	23	4,6	18,5	3,55	19	3,7	16	2,8
Seleccionar			SI		SI		NO		SI		NO



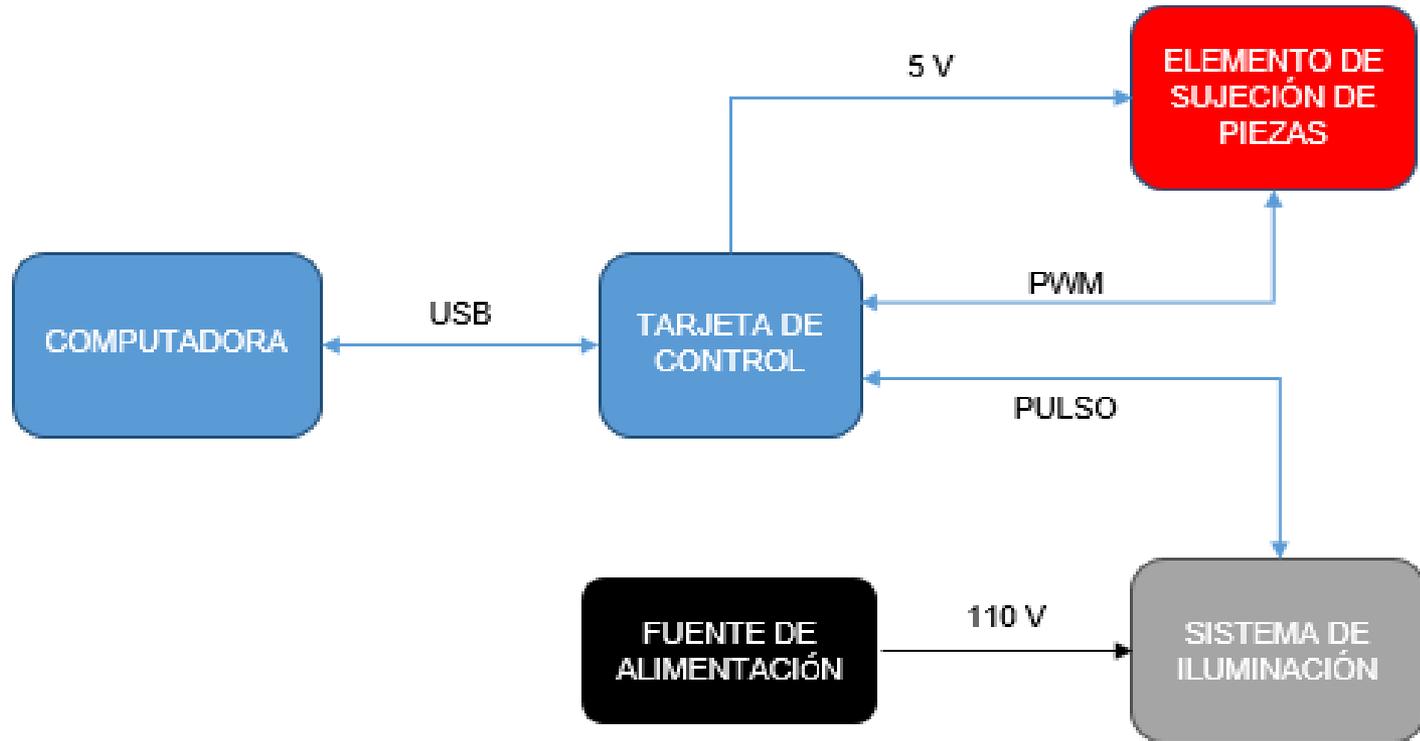
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ELEMENTO DE SUJECCIÓN

Factor relevante	%	Gripper		Ventosa de vacío	
		Ev	%	Ev	%
Tipo de accionamiento	25%	5	1.25	4	1
Sujeción de cualquier tipo de pieza	25%	4.5	1.125	3	0,75
Facilidad de implementación	15%	4.2	0.63	3.3	0,495
Costo	15%	4.5	0.675	3.5	0.525
Facilidad de control	20%	5	1	3.5	0.7
Suma	100%		4.68		3.47
Seleccionar			SI		NO

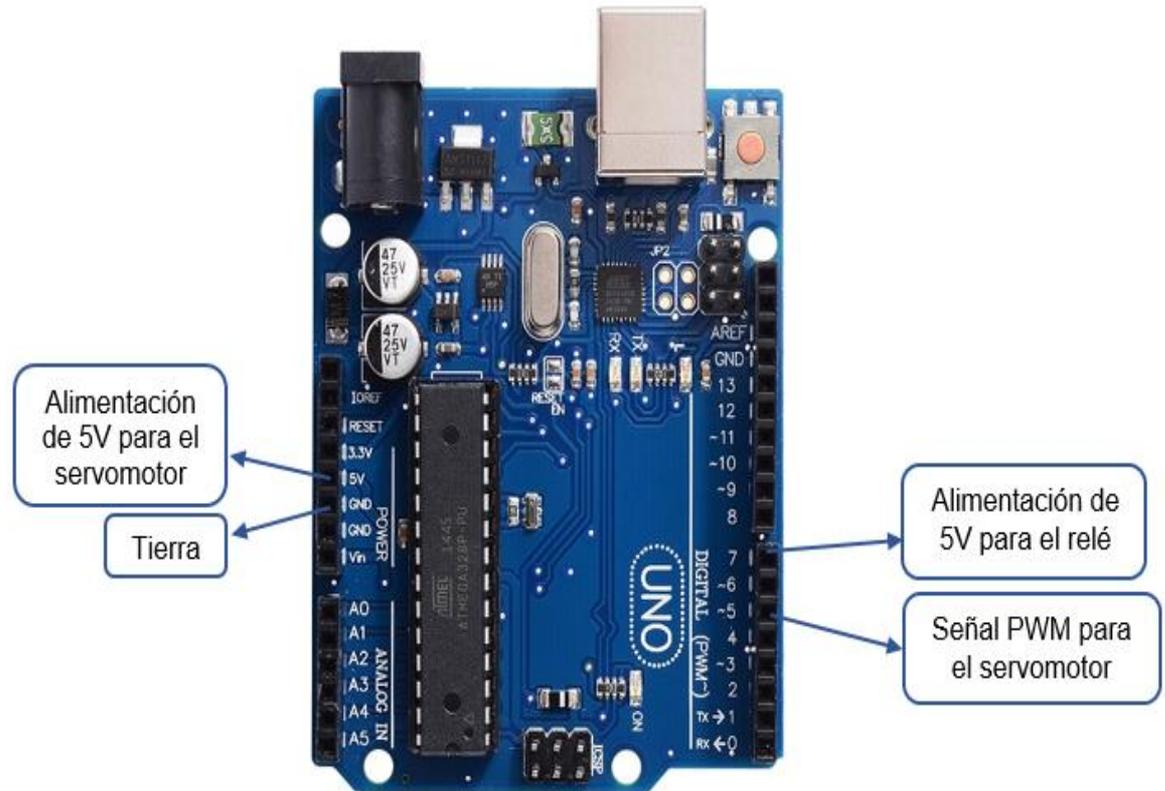


COMPONENTES PARA EL CIRCUITO ELECTRÓNICO



TARJETA DE CONTROL

- Pulso
- PWM
- Fuente de 5V
- Conexión USB

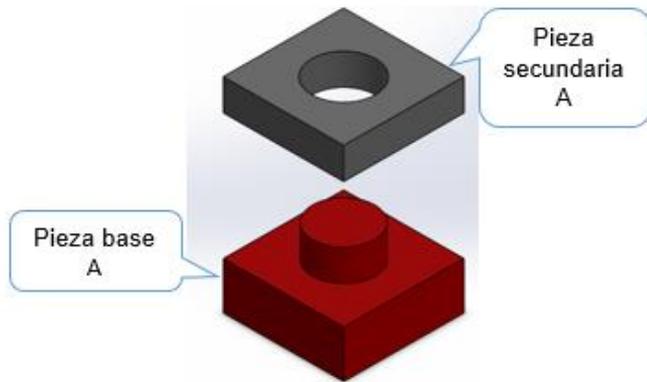


DISEÑO DEL SISTEMA

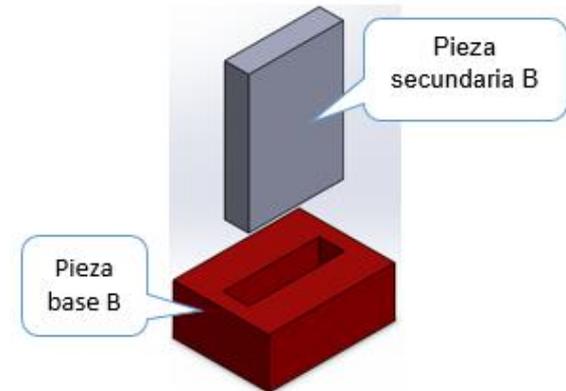


PIEZAS QUE CONFORMAN LOS ENSAMBLADOS

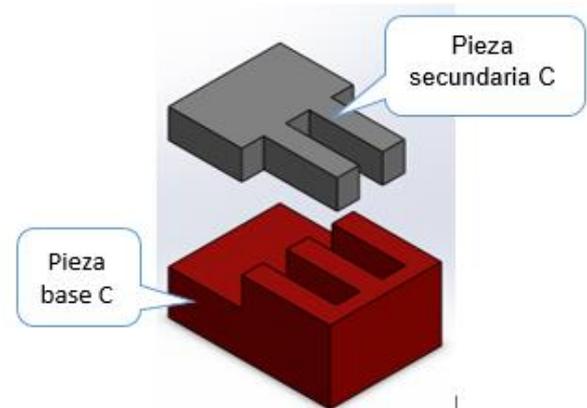
Empalme de espiga redonda
Ensamble A



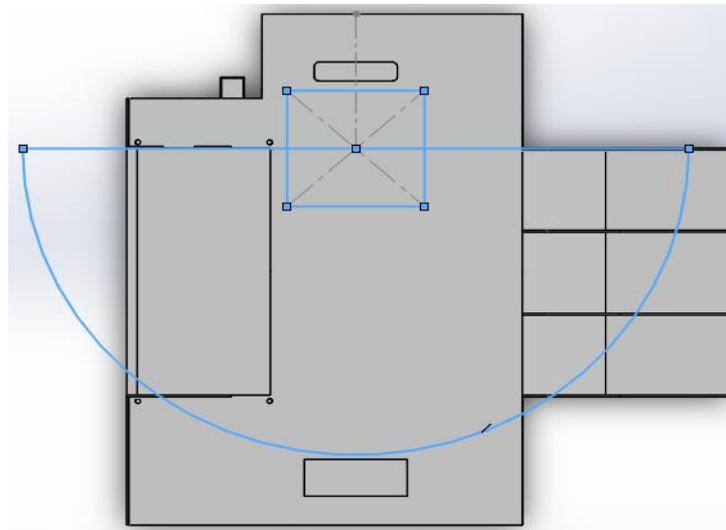
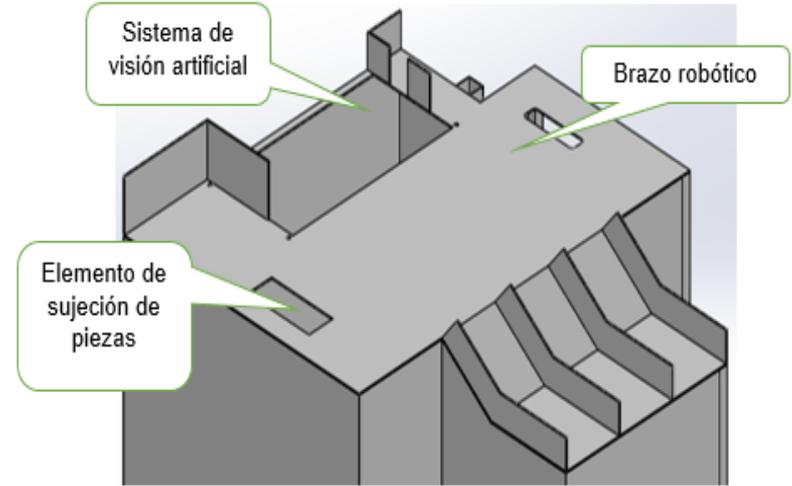
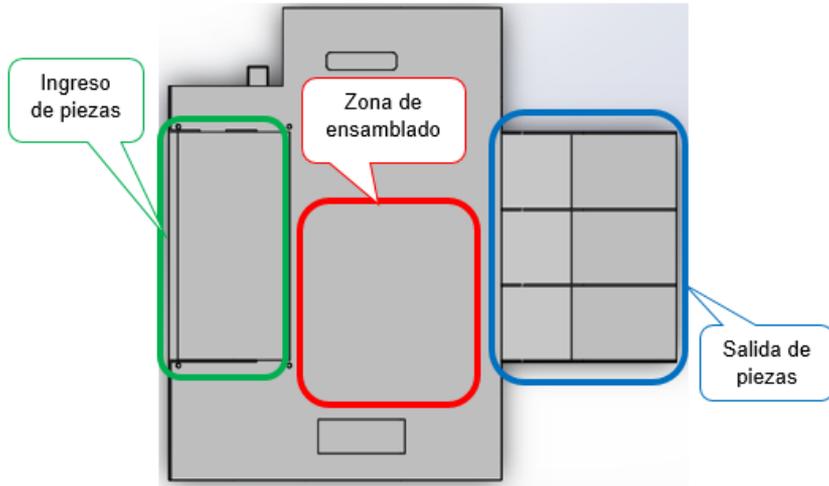
Empalme de caja y espiga
Ensamble B



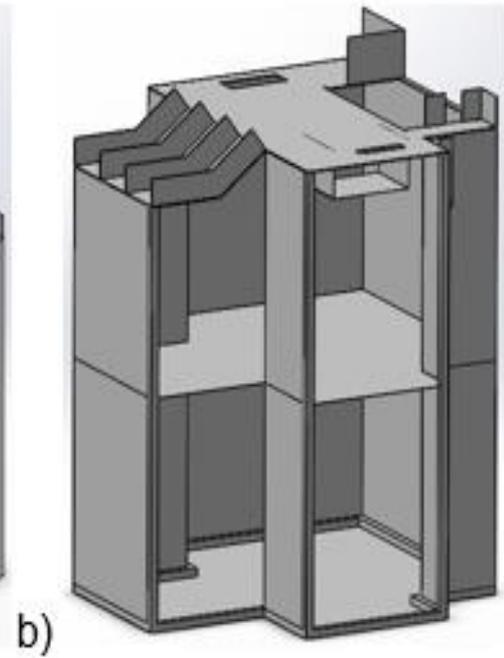
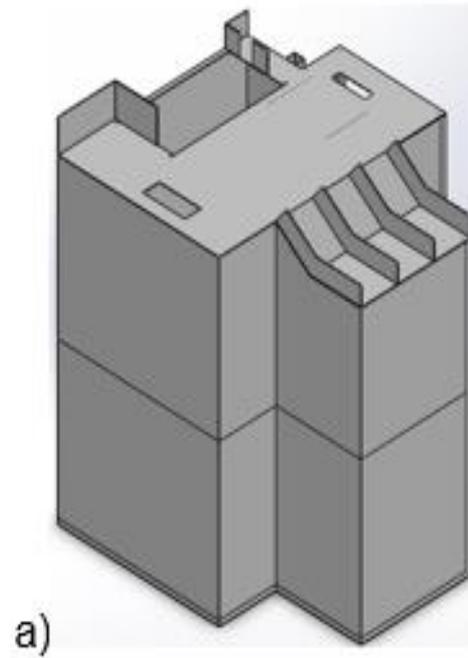
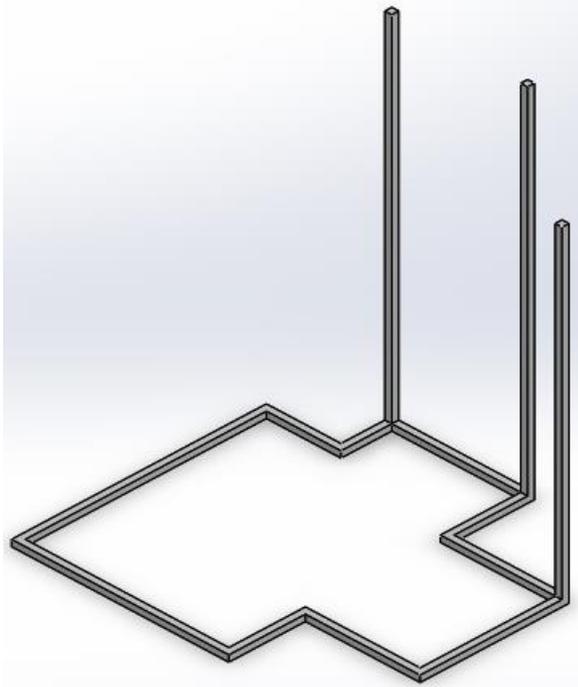
Combinación entre el empalme de doble espiga
y el ensamble a media madera
Ensamble C



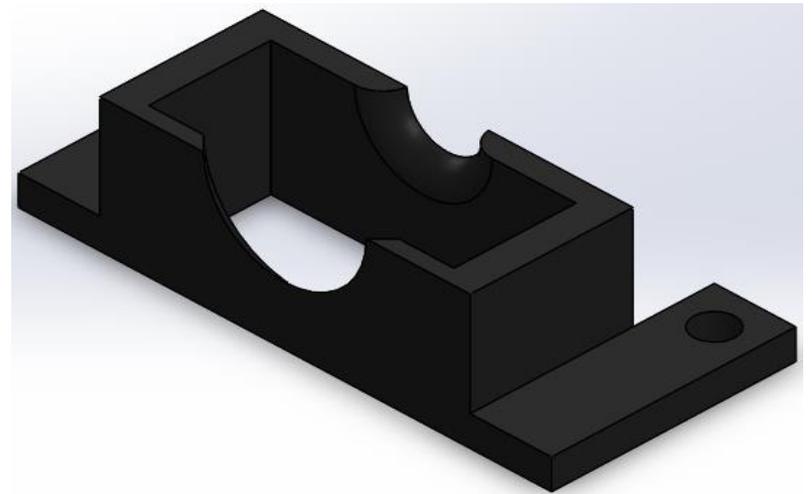
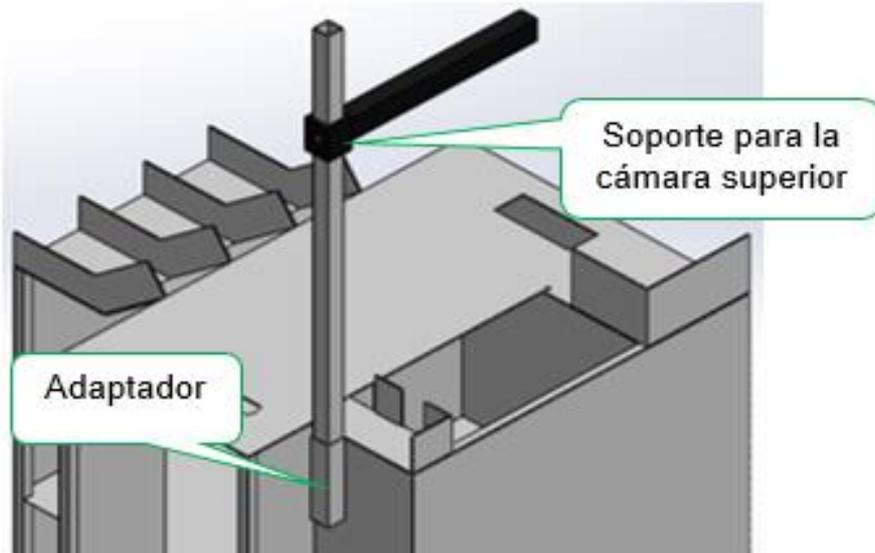
ESTRUCTURA MECÁNICA



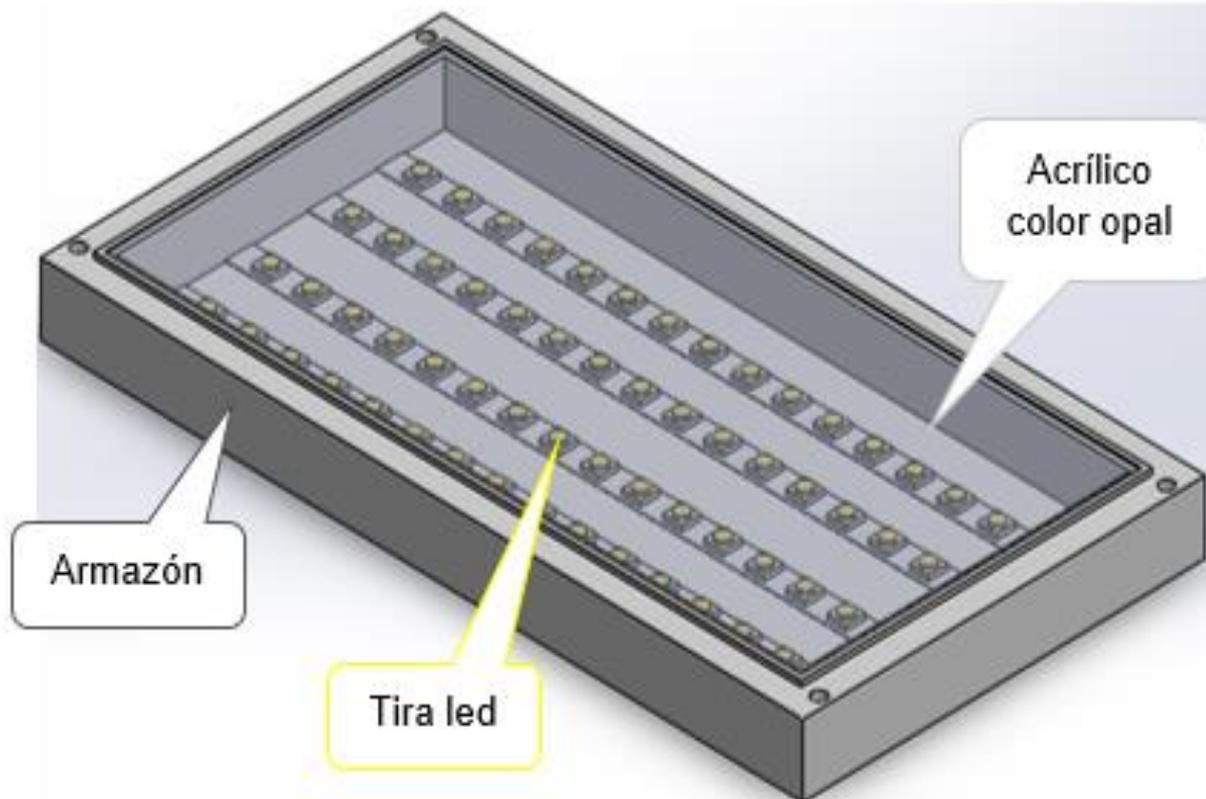
ESTRUCTURA MECÁNICA



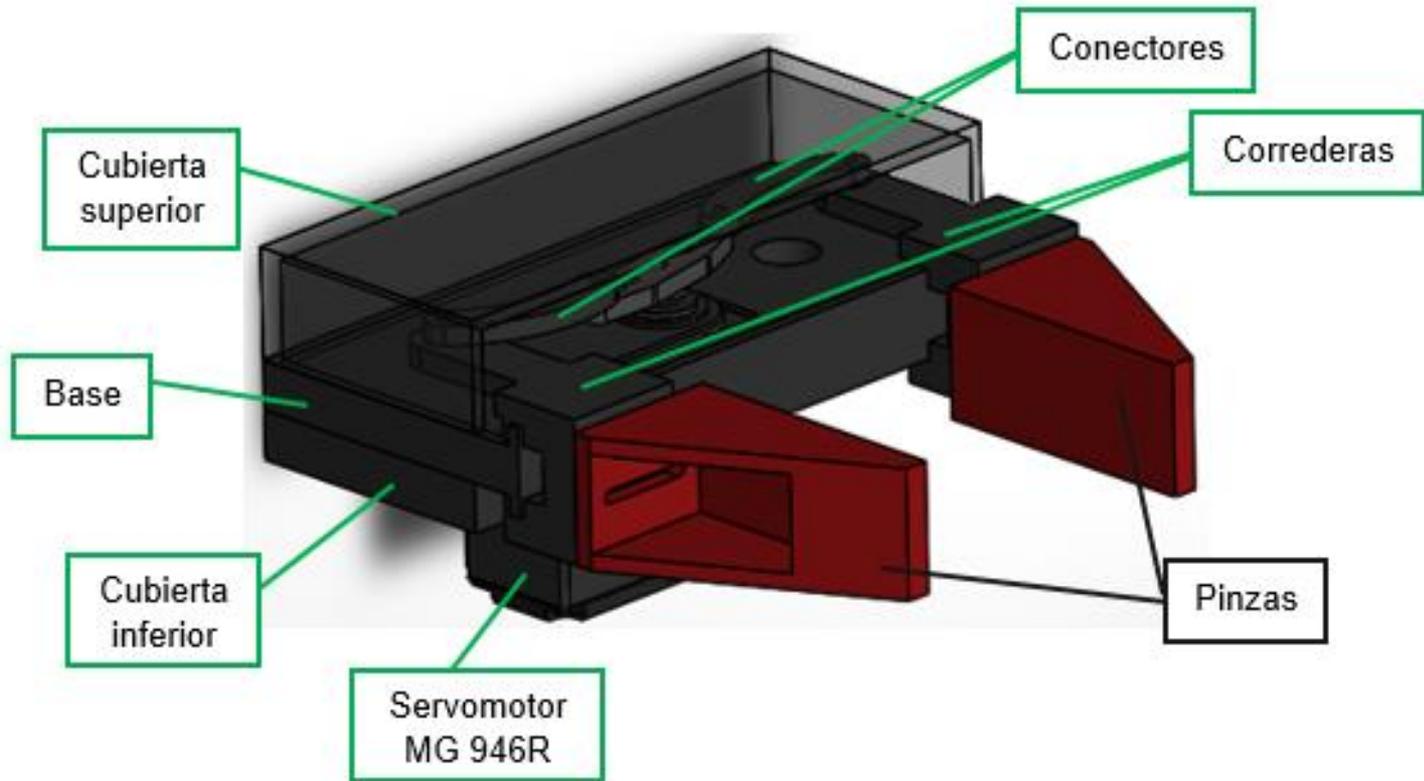
SOPORTES PARA LAS CÁMARAS



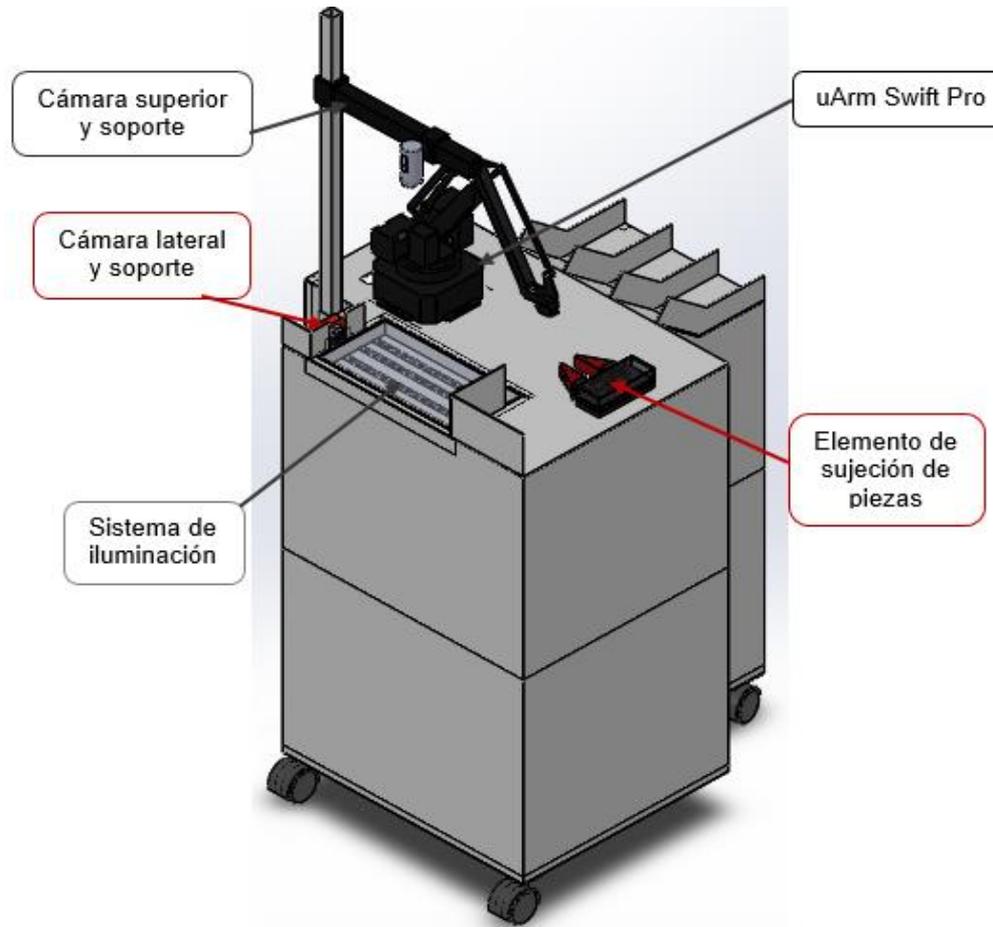
SISTEMA DE ILUMINACIÓN



ELEMENTO DE SUJECCIÓN



ENSAMBLE COMPLETO DEL SISTEMA MECATRÓNICO



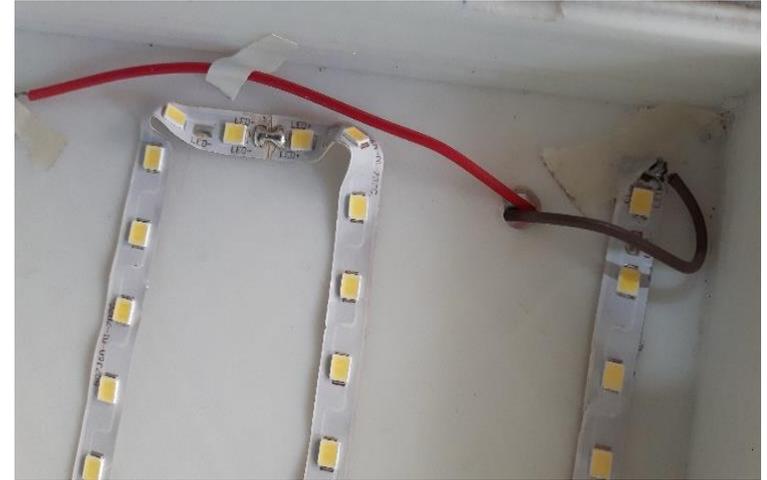
CONSTRUCCIÓN



PIEZAS QUE CONFORMAN LOS ENSAMBLES

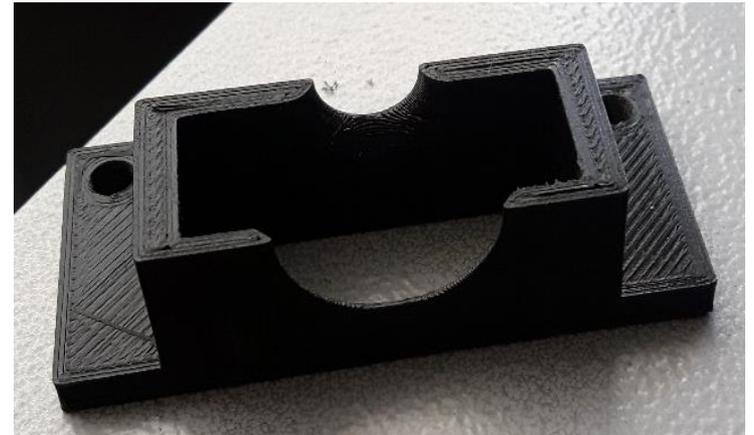


SISTEMA DE ILUMINACIÓN

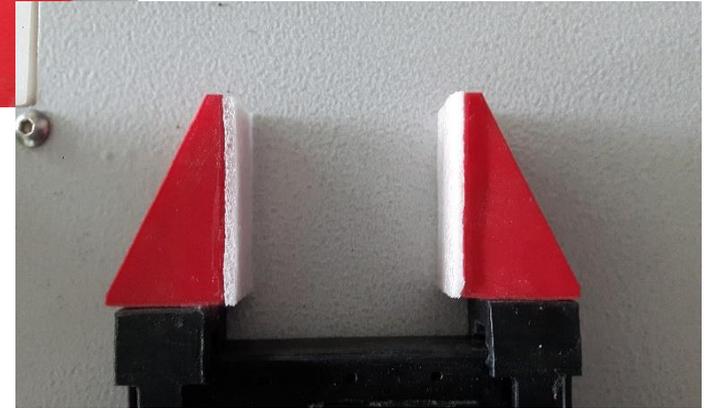
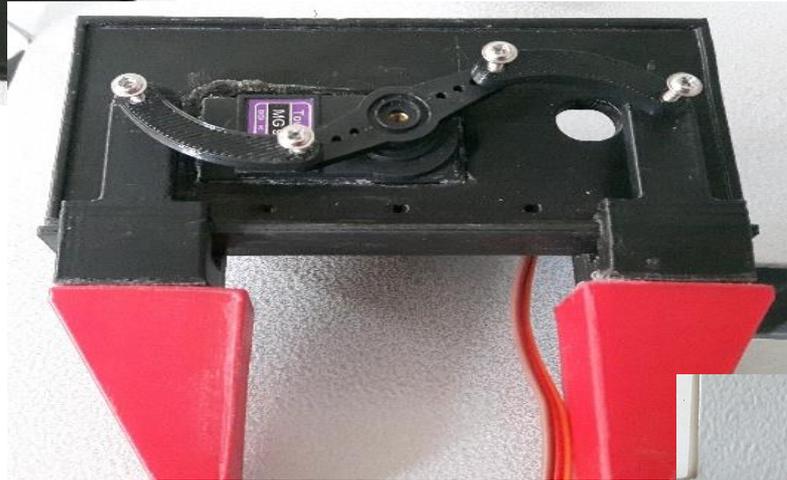
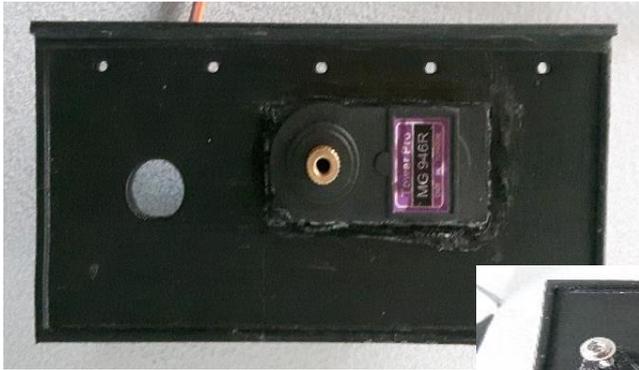


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

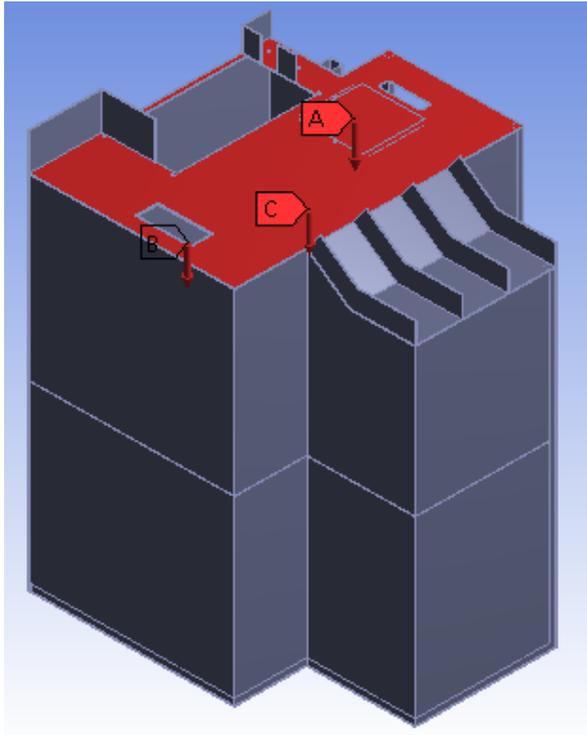
SOPORTES PARA LAS CÁMARAS



ELEMENTO DE SUJECCIÓN



ANÁLISIS ESTRUCTURAL



Peso que genera la persona al apoyarse (Kg)	Peso de los demás componentes (Kg)	Peso total (Kg)	Valor de la carga (N)	Factor de seguridad
72	6.245	78.245	766.801	3.39



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

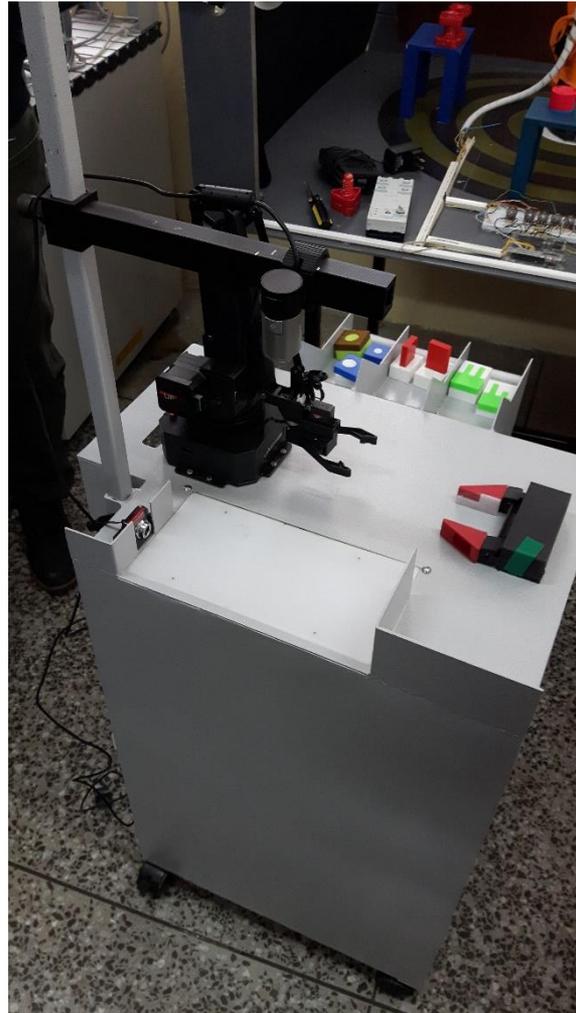
ESTRUCTURA MECÁNICA



IMPLEMENTACIÓN



SISTEMA MECATRÓNICO



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DESARROLLO DE ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

SOFTWARE UTILIZADO

OpenCv



Procesamiento de imagen, recortes, detección de patrones, detección de líneas, filtros, mejoras de la calidad de la imagen de entrada.

QML



Interfaz gráfica

Python



Entrenamiento de la red neuronal para la identificación de las piezas, compatibilidad con OpenCv y Tensorflow

C++



Programación de la aplicación del sistema

Tensorflow



Librería de código abierto de Google orientada al Deep Learning, funciones para entrenar redes y crear modelos de clasificación de imágenes de manera rápida y efectiva, permite la exportación del modelo a diferentes lenguajes entre ellos C++



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

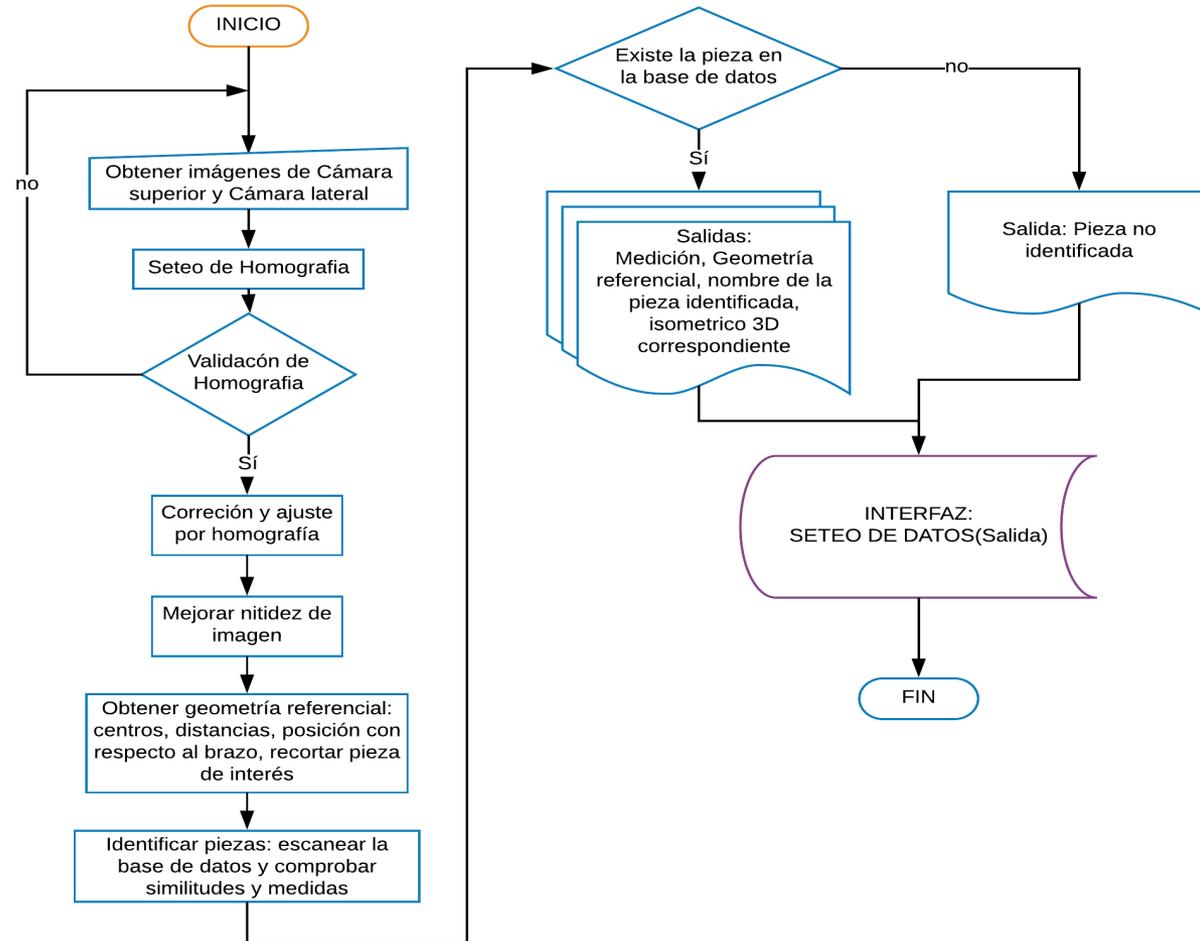
DESARROLLO DE ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

ALGORITMO

PROCESAMIENTO & MEDICIÓN

C++ y OpenCv

El análisis se lo realiza a partir de las foto tomada por nuestros elementos sensores



DESARROLLO DE ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

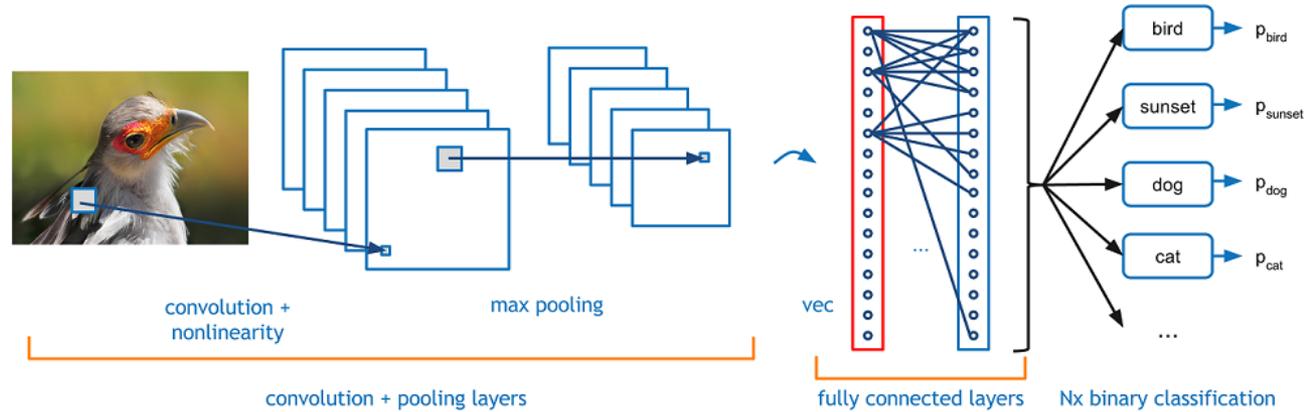
IDENTIFICACIÓN

Redes neuronales
Convolucionales

Tensorflow &
Python(OpenCv)

La red se entrena a
partir del modelo
MobileNet_0.5_224

Modelo exportado a
C++



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DESARROLLO DE ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

INTEGRACIÓN QML&C++

QML esta orientado a el uso de clases de C++

Variedad de formas de integración, tomar en cuenta la app

Interfaces dinámicas

main.qml

```
import my.lib 1.0
```

```
//...
```

```
Container {  
  attachedObjects: [  
    QClass {}  
  ]  
}
```

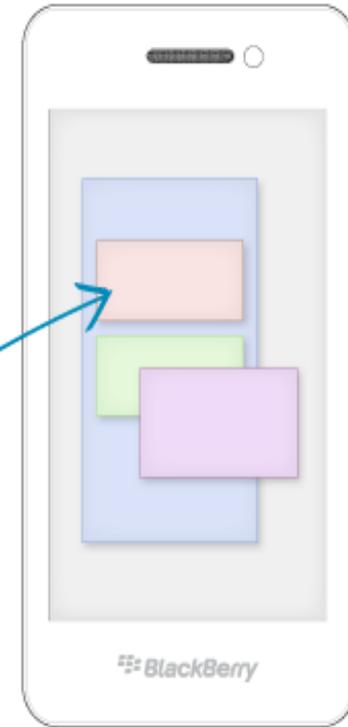
app.cpp

```
//...
```

```
qmlRegisterType  
<QClass>("my.lib",  
1, 0, "QClass")
```

```
create(main.qml)
```

```
setScene(root)
```



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

NECESIDADES DEL SISTEMA

Uso de Clases y Funciones de C++

QML facilita la maquetación.

Muestra el resultado final de análisis

Alertas de error

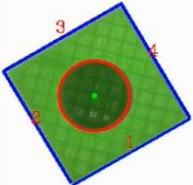


The screenshot shows a software interface with a dark green background. At the top, there are three logos: the Ecuadorian coat of arms, the ESPE logo (Universidad de las Fuerzas Armadas), and the Ingeniería Megatrónica logo. Below the logos, the title reads "CONTROL DE CALIDAD Y ENSAMBLADO DE PIEZAS MEDIANTE EL USO DE UN BRAZO ROBÓTICO". On the left, there is a 3D rendering of a white robotic arm assembly station. On the right, there are four white buttons with black text: "ENSAMBLAR", "AGREGAR ENSAMBLE", "TEST COMPONENTES", and "TEST SISTEMA". At the bottom right, the authors' names "AUCAPIÑA NEY" and "IZA BRAYAN" and the location "LATACUNGA - 2018" are displayed.

Probar funcionamiento

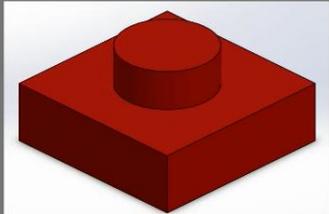
DIMENSIONAMIENTO

CÁMARA SUPERIOR
Figura con ranura Circular
Lado 1: 39.542223
Lado 2: 38.613766
Lado 3: 39.361951
Lado 4: 39.416664
Diámetro: 19.828353



Cam Lat

PIEZA DETECTADA



TIEMPOS

DIMENSIONAMIENTO E IDENTIFICACIÓN
0.757147[s]

MANIPULACIÓN
10.508547[s]

ESTADO DE LA MANIPULACIÓN

COMPLETADA

CALIBRAR CÁMARA

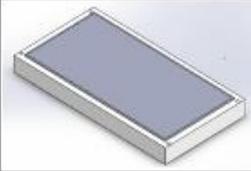
INICIAR

PARAR

SALIR

Probar componentes

SISTEMA DE ILUMINACIÓN



ACCEDER

ELEMENTO DE SUJECIÓN DE PIEZAS



ACCEDER

UARM SWIFT PRO



ACCEDER

CÁMARA



ACCEDER

SALIR

USB-RS232



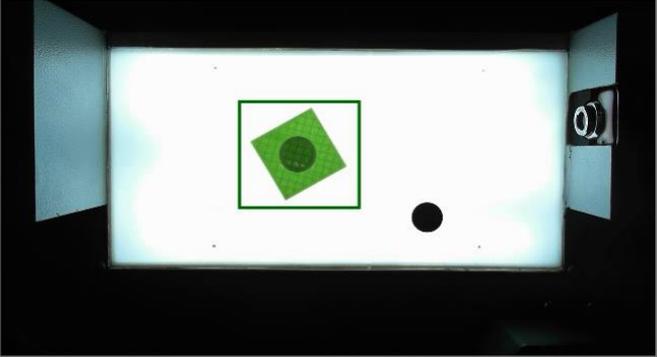
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DESARROLLO DEL SOFTWARE

Agregar Ensamblados

AGREGAR ENSAMBLE

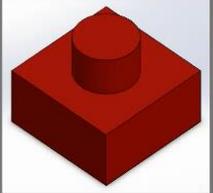
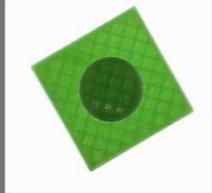
SELECCIONE EL ÁREA CON LA NUEVA PIEZA A AGREGAR



PIEZA BASE
PIEZA SECUNDARIA
ENSAMBLE

SELECCIONAR ÁREA
GUARDAR SELECCIÓN
SELECCIONAR VISTA ISOMÉTRICA
GUARDAR TODO
SALIR

IMAGEN CAPTURADA ISOMÉTRICO 3D



Ingrese altura total (mm):
25

Ingrese diferencia de altura (mm):
10

Ensamblar

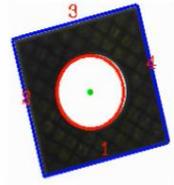
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

DIMENSIONAMIENTO

CÁMARA SUPERIOR

Figura con ranura Circular

Lado 1: 38.726777
Lado 2: 39.076328
Lado 3: 38.987603
Lado 4: 38.638488
Diámetro: 19.283921



Cam Lat

TIEMPOS

DIMENSIONAMIENTO E IDENTIFICACIÓN

0.617942[s]

ENSAMBLADO

72.114598[s]

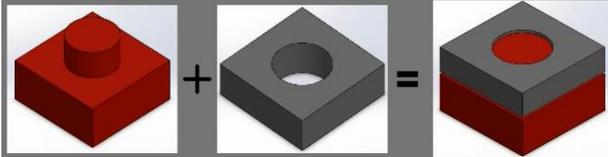
ESTADO DEL ENSAMBLE

COMPLETADO

✓

ENSAMBLE DETECTADO

PIEZA BASE + PIEZA SECUNDARIA = ENSAMBLE



CALIBRAR CÁMARA
INICIAR
PARAR
SALIR

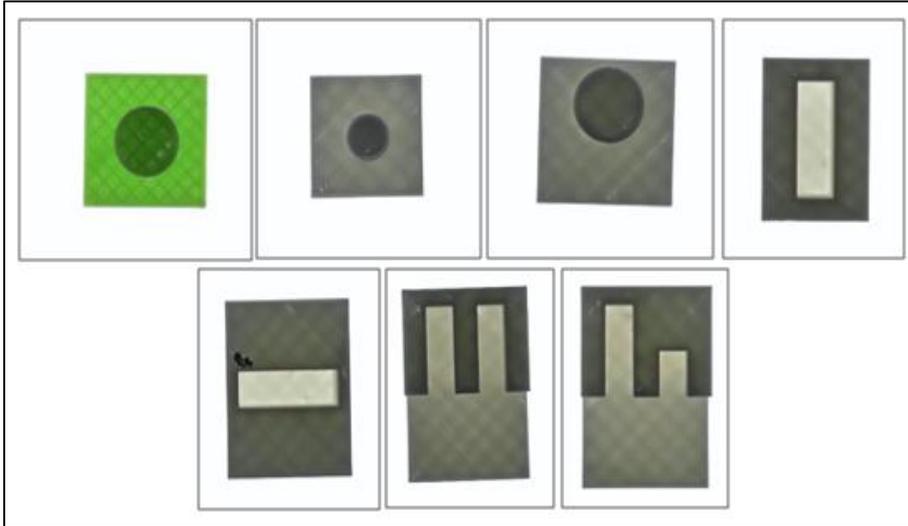


PRUEBAS Y RESULTADOS

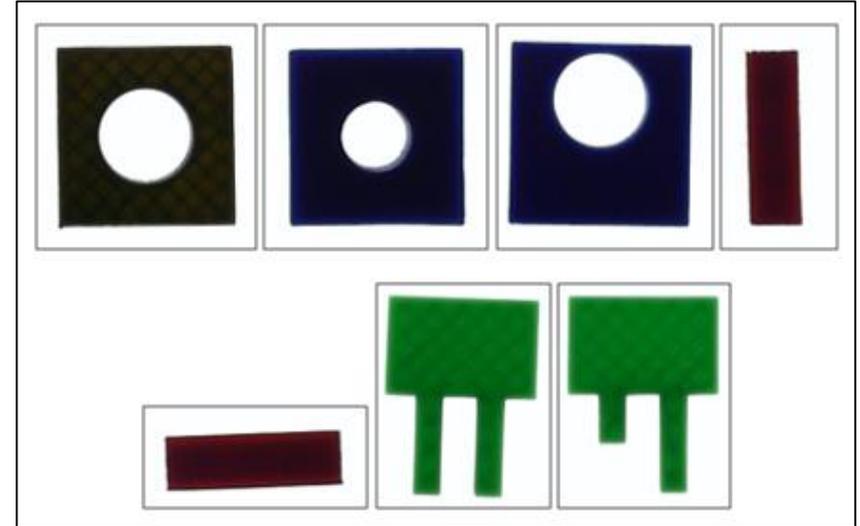


PIEZAS DE TRABAJO

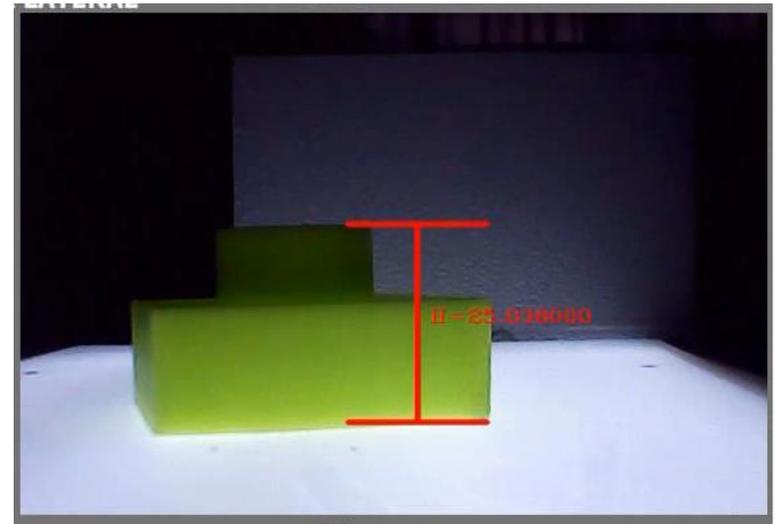
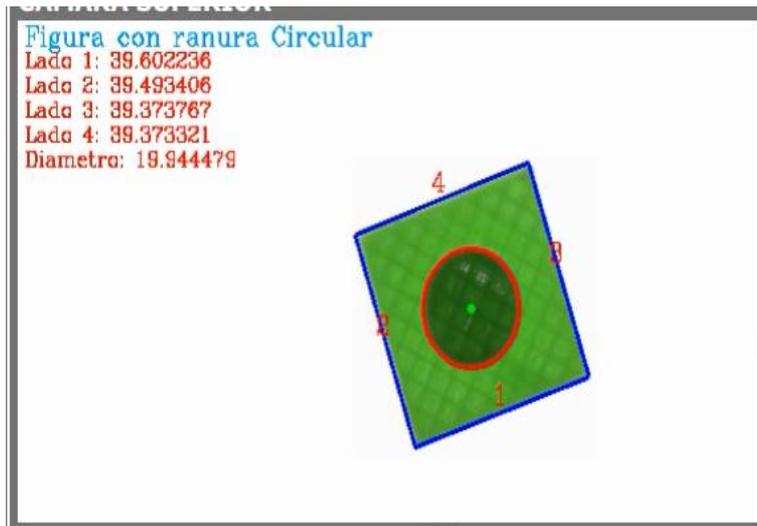
Piezas Base



Piezas Secundarias



PRUEBAS DE RECONOCIMIENTO DE BORDES



PRUEBAS DE RECONOCIMIENTO DE BORDES

Pieza	N° de pruebas	Reconocimiento de bordes correctos	Porcentaje de acierto
Pieza base ensamble A modelo 1	30	29	96,67%
Pieza secundaria ensamble A modelo 1	30	29	96,67%
Pieza base ensamble A modelo 2	30	29	96,67%
Pieza secundaria ensamble A modelo 2	30	30	100%
Pieza base ensamble A modelo 3	30	30	100%
Pieza secundaria ensamble A modelo 3	30	30	100%
Pieza base ensamble B modelo 1	30	30	100%
Pieza secundaria ensamble B modelo 1	30	30	100%
Pieza base ensamble B modelo 2	30	30	100%
Pieza secundaria ensamble B modelo 2	30	29	96,67%
Pieza base ensamble C modelo 1	30	30	100%
Pieza secundaria ensamble C modelo 1	30	30	100%
Pieza base ensamble C modelo 2	30	29	96,67%
Pieza secundaria ensamble C modelo 2	30	30	100%

Con los resultados de esta prueba, se puede decir que existe un 98,81% de confiabilidad en el reconocimiento de bordes



PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN

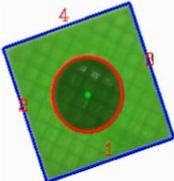
PRUEBAS DEL SISTEMA (DIMENSIONAMIENTO Y MANIPULACIÓN)

DIMENSIONAMIENTO

CÁMARA SUPERIOR

Figura con ranura Circular

Lado 1: 39.602236
Lado 2: 39.493406
Lado 3: 39.373767
Lado 4: 39.373321
Diámetro: 19.844478



Cam Lat

TIEMPOS

DIMENSIONAMIENTO E IDENTIFICACIÓN

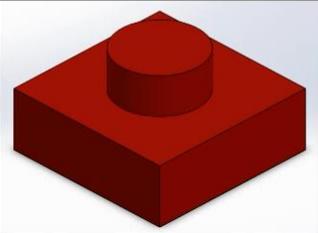
0.647762[s]

MANIPULACIÓN

ESTADO DE LA MANIPULACIÓN

COMPLETADA

PIEZA DETECTADA



CALIBRAR CÁMARA

INICIAR

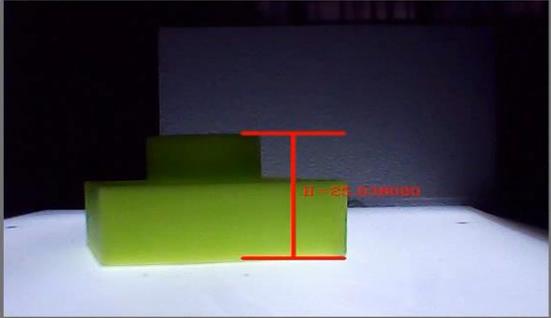
PARAR

SALIR

PRUEBAS DEL SISTEMA (DIMENSIONAMIENTO Y MANIPULACIÓN)

DIMENSIONAMIENTO

CÁMARA LATERAL



Cam Sup

TIEMPOS

DIMENSIONAMIENTO E IDENTIFICACIÓN

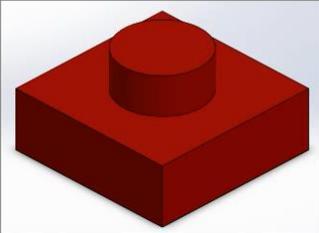
0.647762[s]

MANIPULACIÓN

ESTADO DE LA MANIPULACIÓN

COMPLETADA

PIEZA DETECTADA



CALIBRAR CÁMARA

INICIAR

PARAR

SALIR



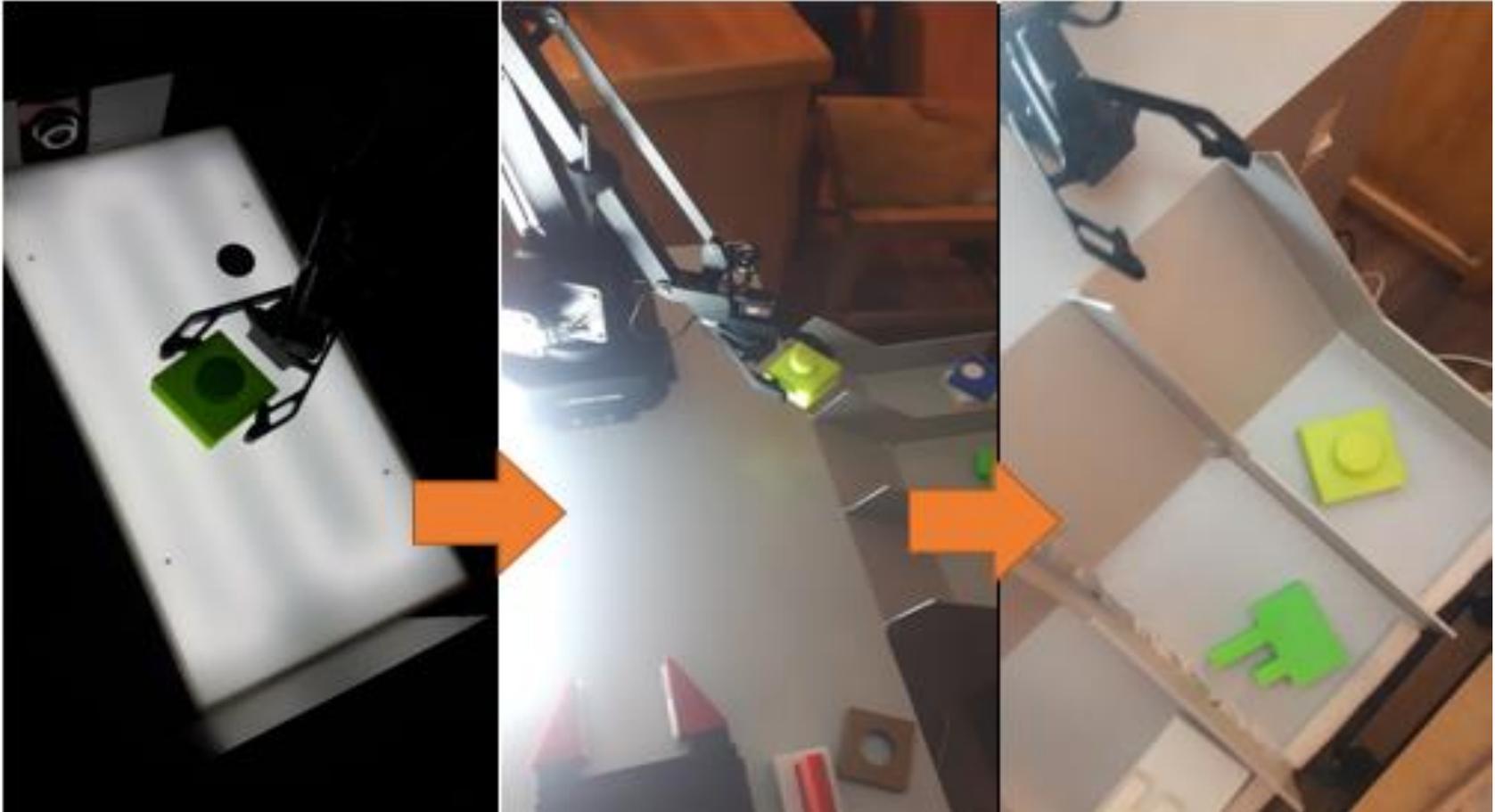
PRUEBAS DE IDENTIFICACIÓN

Pieza	N° de pruebas	Porcentaje promedio de acierto	Tiempo promedio de Dimensionamiento e Identificación
Pieza base ensamble A modelo 1	30	99,72%	0,576 s
Pieza secundaria ensamble A modelo 1	30	95,23%	0,567 s
Pieza base ensamble A modelo 2	30	94,30%	0,549 s
Pieza secundaria ensamble A modelo 2	30	91,97%	0,562 s
Pieza base ensamble A modelo 3	30	99,97%	0,573 s
Pieza secundaria ensamble A modelo 3	30	100%	0,574 s
Pieza base ensamble B modelo 1	30	99,81%	0,575 s
Pieza secundaria ensamble B modelo 1	30	99,98%	0,537 s
Pieza base ensamble B modelo 2	30	99,45%	0,591 s
Pieza secundaria ensamble B modelo 2	30	96,97	0,532 s
Pieza base ensamble C modelo 1	30	99,70%	0,588 s
Pieza secundaria ensamble C modelo 1	30	92,80%	0,584 s
Pieza base ensamble C modelo 2	30	98,57%	0,604 s
Pieza secundaria ensamble C modelo 2	30	93,41%	0,578 s

Con los resultados de esta prueba, se puede decir que existe un 97,28% de confiabilidad en la identificación.



PRUEBAS DE MANIPULACIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS DE MANIPULACIÓN

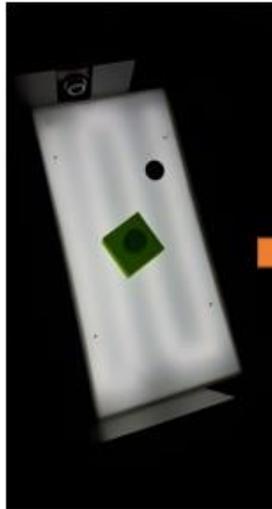
Pieza	N° de pruebas	Manipulación correcta	Porcentaje de acierto	Tiempo promedio
Pieza base ensamble A modelo 1	30	30	100%	10,5085 s
Pieza secundaria ensamble A modelo 1	30	28	93,33%	10,509 s
Pieza base ensamble A modelo 2	30	30	100%	10,509 s
Pieza secundaria ensamble A modelo 2	30	30	100%	10,507 s
Pieza base ensamble A modelo 3	30	29	96,67%	10,508 s
Pieza secundaria ensamble A modelo 3	30	30	100%	10,508 s
Pieza base ensamble B modelo 1	30	30	100%	10,508 s
Pieza secundaria ensamble B modelo 1	30	30	100%	10,509 s
Pieza base ensamble B modelo 2	30	30	100%	10,508 s
Pieza secundaria ensamble B modelo 2	30	29	96,67%	10,508 s
Pieza base ensamble C modelo 1	30	26	86,67%	10,509 s
Pieza secundaria ensamble C modelo 1	30	29	96,67%	10,509 s
Pieza base ensamble C modelo 2	30	27	90%	10,508 s
Pieza secundaria ensamble C modelo 2	30	27	90%	10,528 s

Con los resultados de esta prueba, se puede decir que existe un 96,43% de confiabilidad en la manipulación.



PRUEBAS DE ENSAMBLADO

1



FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

DIMENSIONAMIENTO

CÁMARA SUPERIOR
Figura con ranura Circular
Lado 1: 39.709444
Lado 2: 39.499169
Lado 3: 39.500831
Lado 4: 39.671517
Diametro: 20.48834

Cam Lat

TIEMPOS

DIMENSIONAMIENTO E IDENTIFICACIÓN
0.609986[s]

ENSAMBLADO

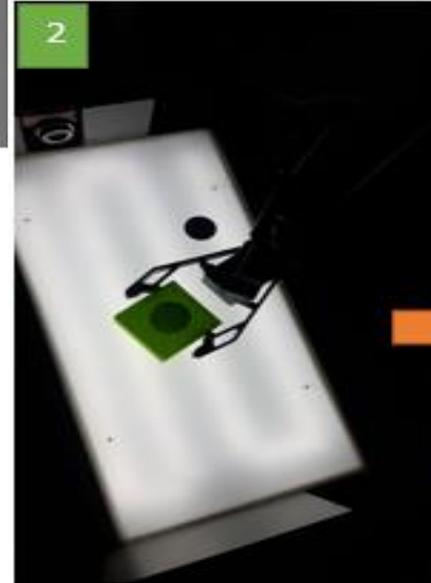
ESTADO DEL ENSAMBLE

COMPLETADO

ENSAMBLE DETECTADO

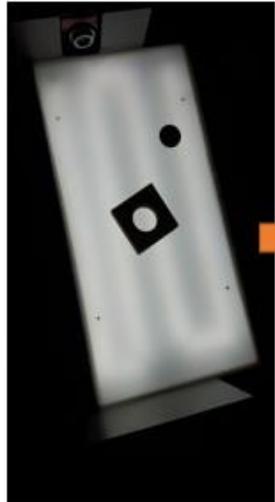
PIEZA BASE + PIEZA SECUNDARIA = ENSAMBLE

CALIBRAR CÁMARA
CONTINUAR
PARAR
SALIR



PRUEBAS DE ENSAMBLADO

3



FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

DIMENSIONAMIENTO

CÁMARA SUPERIOR

Figura con ranura Circular

Lado 1: 38.726777
Lado 2: 38.078326
Lado 3: 38.987603
Lado 4: 38.638466
Diámetro: 19.283621

Cam Lat

TIEMPOS

DIMENSIONAMIENTO E IDENTIFICACIÓN

0.617942[s]

ENSAMBLADO

ESTADO DEL ENSAMBLE

COMPLETADO

ENSAMBLE DETECTADO

PIEZA BASE + PIEZA SECUNDARIA = ENSAMBLE

CALIBRAR CÁMARA
INICIAR
PARAR
SALIR

4



PRUEBAS DE ENSAMBLADO

Ensamble	N° de pruebas	Ensamble correcto	Porcentaje de acierto	Tiempo promedio
Ensamble A modelo 1	30	28	93,33%	61,368 s
Ensamble A modelo 2	30	27	90%	60,509 s
Ensamble A modelo 3	30	28	93,33%	62,523 s
Ensamble B modelo 1	30	28	93,33%	58,923 s
Ensamble B modelo 2	30	21	70%	59,508 s
Ensamble C modelo 1	30	24	80%	62,343 s
Ensamble C modelo 2	30	21	70%	61,321 s

Con los resultados de esta prueba, se puede decir que existe un 84,28% de confiabilidad en el ensamblado.



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- **Hipótesis nula (H0):**

El sistema de visión artificial no permitirá la manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas a través del uso de un brazo robótico.

- **Hipótesis alternativa (H1):**

El sistema de visión artificial permitirá la manipulación, ensamblaje y control de calidad de piezas a través del uso de un brazo robótico.

Pruebas	Bien >70% & <90%	Muy bien >=90%
Resultados de la prueba de dimensionamiento	1,143	0,102
Resultados de la prueba de identificación	1,143	0,102
Resultados de la prueba de manipulación	0,018	0,0016
Resultados de la prueba de ensamblado	10,333	0,918
Total	12,637	1,1236
Suma	13,7606	



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Se procede a calcular el valor del grado de libertad:

$$V = (\text{Cantidad de filas} - 1) * (\text{Cantidad de columnas} - 1)$$

$$V = (4 - 1) * (2 - 1)$$

$$V = 3$$

Y se trabaja con un valor de significancia de $p=0,05$

Grados de libertad	Probabilidad										
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,01	0,001
1	0,004	0,02	0,06	0,15	0,46	1,07	1,64	2,71	3,84	6,64	10,83
2	0,10	0,21	0,45	0,71	1,39	2,41	3,22	4,60	5,99	9,21	13,82
3	0,35	0,58	1,01	1,42	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	11,34	16,27
4	0,71	1,06	1,65	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	13,28	18,47
5	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	15,09	20,52
6	1,63	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	16,81	22,46
7	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	18,48	24,32
8	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	20,09	26,12
9	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	21,67	27,88
10	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	23,21	29,59
No significativo									Significativo		



VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Para que la hipótesis sea válida es necesario que se cumpla la condición:

$$X_{calc} > X_{tab}$$

Se tiene que:

$$X_{cal} = 13,76$$

$$X_{tab} = 7,82$$

$$13,76 > 7,82$$

Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.



CONCLUSIONES

El sistema de visión artificial del proyecto se basa en sensores de imagen con ópticas e informática especializada en adquisición y tratamiento de imágenes, para que el hardware (actuadores externos) y el software (algoritmos de procesamiento y control) sean capaces de analizar, procesar y medir parámetros para la toma de decisiones.

Para el desarrollo de la aplicación del sistema de visión artificial se hizo uso del IDE Qt Creator.

La técnica de medición por geometría referencial, descrita en el proyecto, resulta muy útil a la hora de medir piezas pequeñas, mostró un alto grado de efectividad en las mediciones de lados y diámetros.

El algoritmo de ensamble se basó en la posición, orientación y validación de las piezas, dado que la técnica de geometría referencial facilitaba la obtención de estos parámetros.



Dado que la aplicación implementada abarca el ensamble de piezas, se debe considerar las dimensiones en el plano de la pieza, así como la altura de la misma para lo cual se utilizó la cámara lateral.

En el caso de la selección del manipulador, el método cualitativo por puntos dio como mejor alternativa al uArm Swift pro, en el cual los parámetros más importantes fueron la repetibilidad, alcance máximo y grados de libertad del mismo

La estructura mecánica se encuentra diseñada de tal forma que el sistema de visión artificial, el elemento de sujeción y las canaletas en las que se deben depositar las piezas o ensambles estén dentro del espacio de trabajo del uArm Swift Pro

Para validar el sistema de visión artificial se hicieron pruebas de reconocimiento de bordes, dimensionamiento, identificación, manipulación y ensamblaje de piezas



***GRACIAS POR SU
ATENCIÓN***



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA