



- 1 **Objetivos**
- 2 **Hipótesis**
- 3 **Marco Teórico**
- 4 **Diseño**
- 5 **Implementación**
- 6 **Pruebas y resultados**
- 7 **Validación de la Hipótesis**
- 8 **Conclusiones y recomendaciones**

## ***Objetivo General***

Diseñar y construir un robot Scara para la clasificación de elementos manufacturados mediante visión artificial hacia un módulo de transporte

## **Objetivos Específicos**

Diseñar y seleccionar componentes para el robot Scara.

Construir el robot Scara con verificación funcional de sus sistemas

Programar el sistema de clasificación de objetos mediante visión artificial

Implementar el brazo robótico con el sistema de visión artificial.

Ejecutar pruebas de funcionamiento.

¿Es posible mediante el diseño y construcción de un robot SCARA clasificar elementos manufacturados hacia un módulo de transporte?

## Variable Independiente

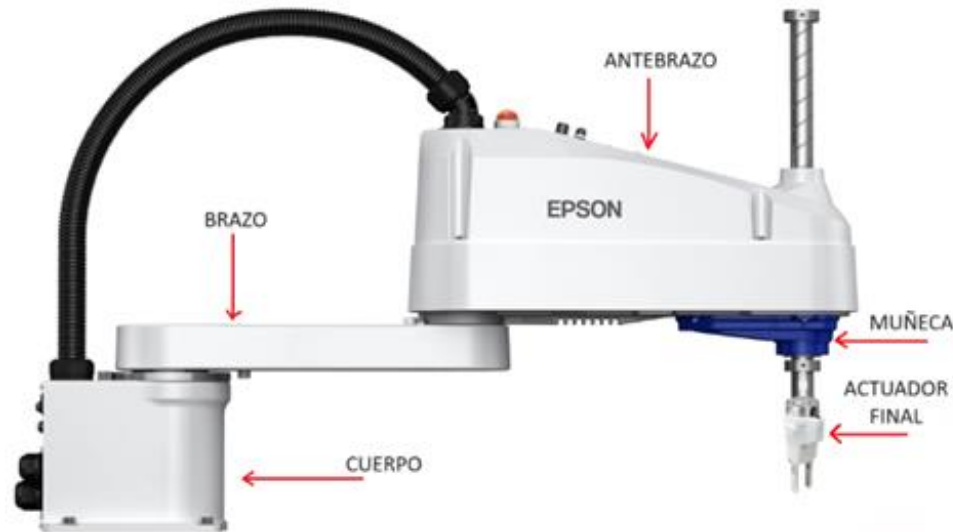
Robot Scara

## Variables Dependientes

Clasificación de elementos manufacturados

## Robot Scara

El robot Scara, se caracteriza por tener un brazo flexible en el plano horizontal, pero en eje Z es mucho más rígido. Este posee dos eslabones, una junta prismática y dos de revolución, todas ellas orientadas en el mismo eje. (The power business school, 2023)



## *Cinemática*

La cinemática del robot estudia el movimiento de este con respecto a un sistema de referencia. Así, la cinemática se interesa por la descripción analítica del movimiento espacial del robot como una función del tiempo, y en particular por las relaciones entre la posición y la orientación del extremo final del robot. (Barrientos, 2017),

## *Dinámica*

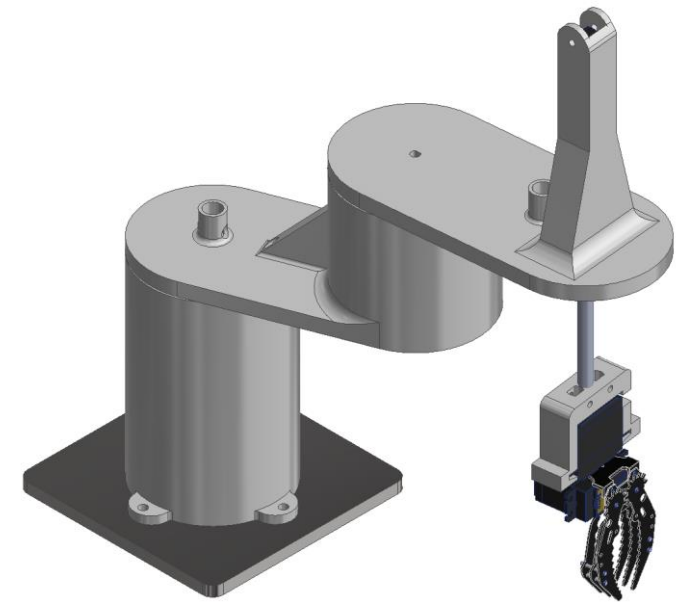
La dinámica se ocupa de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo. El modelo dinámico de un robot pretende conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas implícitas en este. (Barrientos, 2017)

## ***Visión Artificial***

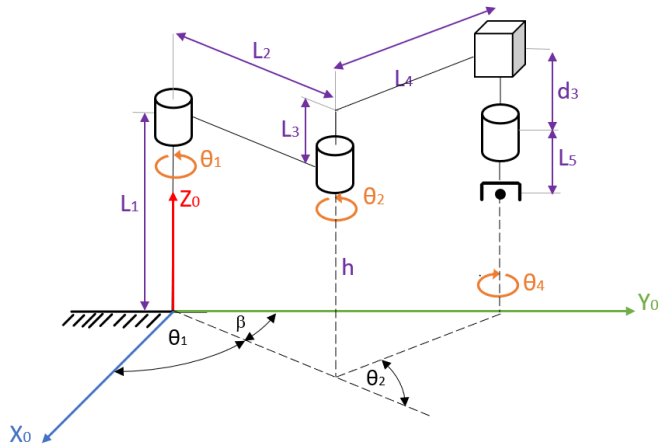
Se trata de un conjunto de tecnologías que permite adquirir, gestionar y analizar información visual. La visión artificial, que enseña a los ordenadores a 'ver' y entender el contenido de las imágenes digitales. Pretende dar a las computadoras una comprensión visual del mundo. Donde dicho análisis se puede hacer con el machine learning (ML) y Deep learning (DL). Aplicar ML y DL a imágenes digitales y videos para clasificar (reconocer) los objetos que aparecen en ellas. (Diaz, 2021)



Núm.	Sistemas	Subsistemas	Elementos
1	Sistema mecánico	Cinemática y dinámica del robot	Movimiento y posicionamiento del robot
		Geometría del robot	Cuerpo Brazo Antebrazo Muñeca Actuador final
2	Sistema eléctrico y control	Tarjeta de control	Actuadores
			Drivers
			Fuente de Alimentación
	Visión artificial	Cámara	
Detección de objetos por color y forma			
3	UI	Interfaz de control	Software
			Interacción con usuario



## Cinemática Inversa



**Componente angular eslabón 1**

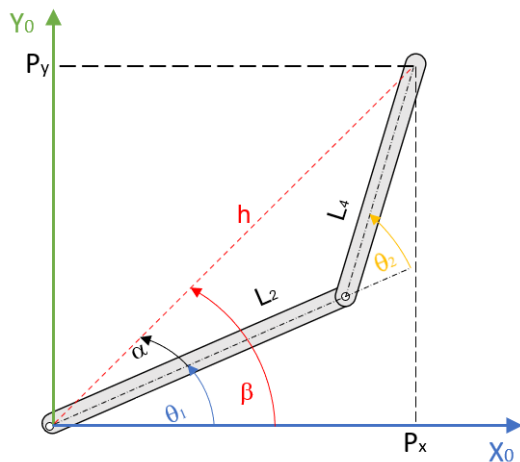
$$\theta_1 = \tan^{-1} \left( \frac{P_y}{P_x} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{L_4 \sin(\theta_2)}{L_2 + L_4 \cos(\theta_2)} \right)$$

**Componente angular eslabón 2**

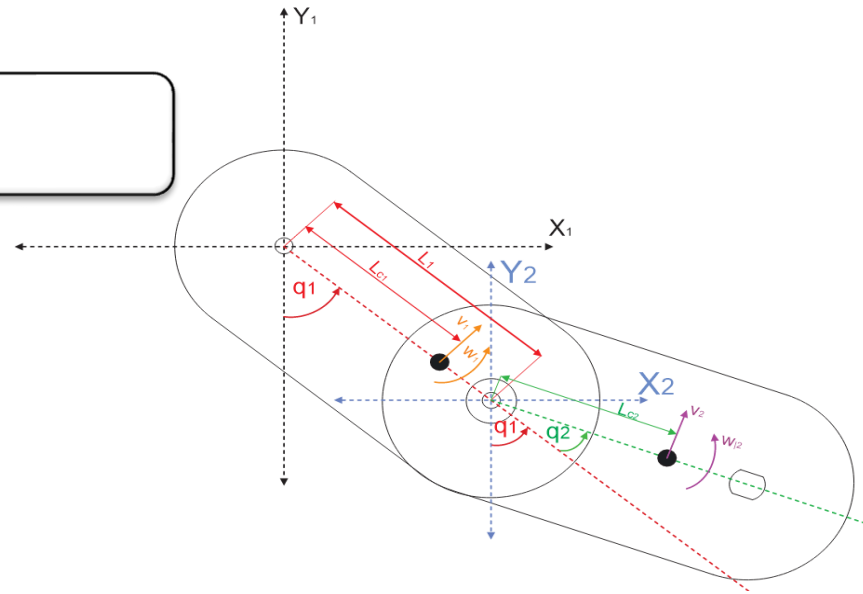
$$\theta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{\pm \sqrt{1 - r^2}}{r} \right)$$

**Componente de efector final**

$$d_3 = L_1 + L_3 - L_5 - P_z$$

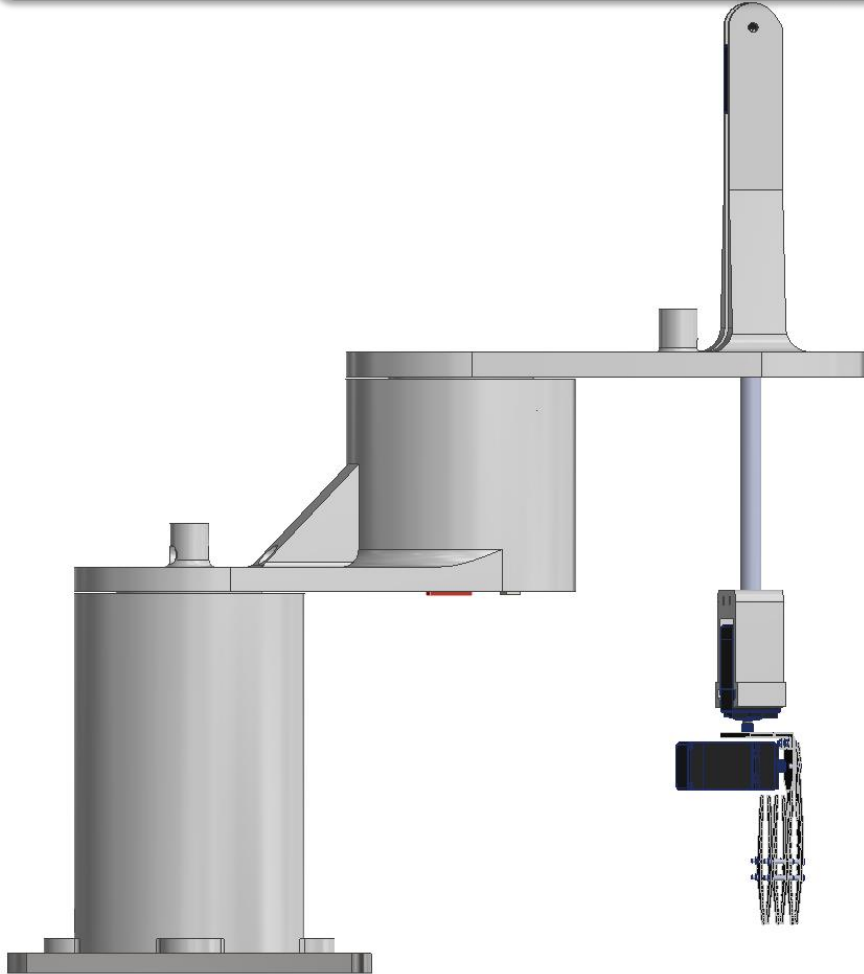


# Dinámica



<p>Componente de torción del eslabón 1</p>	$\tau_1 = [m_1 l_{c1}^2 + m_2 l_1^2 + m_2 l_{c2}^2 + 2m_2 l_1 l_{c2} \cos(q_2) + I_1 + I_2] \ddot{q}_1$ $+ [m_2 l_{c2}^2 + m_2 l_1 l_{c2} \cos(q_2) + I_2] \ddot{q}_2$ $- [2m_2 l_1 l_{c2} \text{sen}(q_2) \dot{q}_1] \dot{q}_2 - [m_2 l_1 l_{c2} \text{sen}(q_2) \dot{q}_2] \dot{q}_2$
<p>Componente de torción del eslabón 2</p>	$\tau_2 = [m_2 l_{c2}^2 + m_2 l_1 l_{c2} \cos(q_2) + I_2] \ddot{q}_1$ $+ [m_2 l_{c2}^2 + I_2] \ddot{q}_2$ $- [m_2 l_1 l_{c2} \text{sen}(q_2) \dot{q}_1] \dot{q}_2$

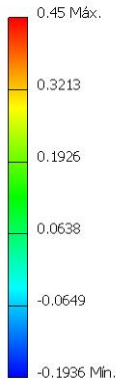
## Diseño Mecánico del Robot Scara



Propiedad	Valor
Densidad $\gamma$	12.16024854 KN/m <sup>3</sup>
Esfuerzo de Flexión $S_y$	60 MPa
Esfuerzo permisible $\sigma_p$	30 MPa
Factor de seguridad	2
Elongación	3%
Módulo de elasticidad	2.7 GPa
Resistencia máxima	$S_u = 55 \text{ MPa}$

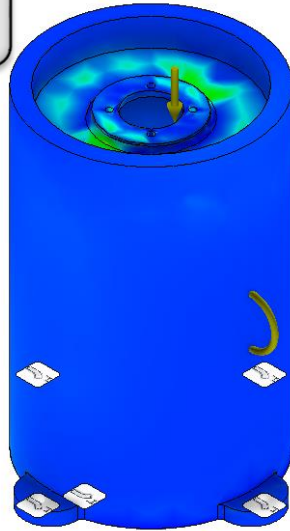
## Análisis de Esfuerzos del Cuerpo

Tipo: Primera tensión principal  
Unidad: MPa  
2/15/2024, 3:05:26 PM

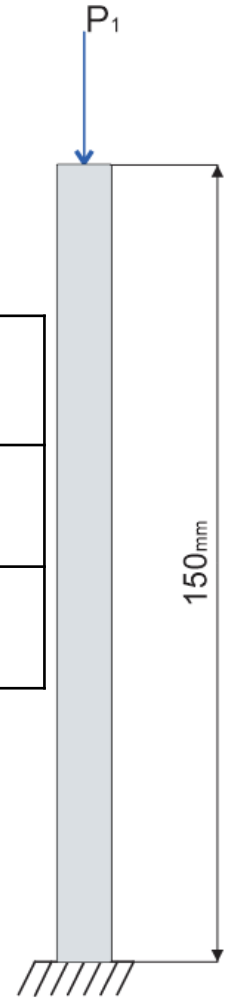


$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0.0045 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{m\acute{i}n} = 0.00119 \text{ kPa}$$



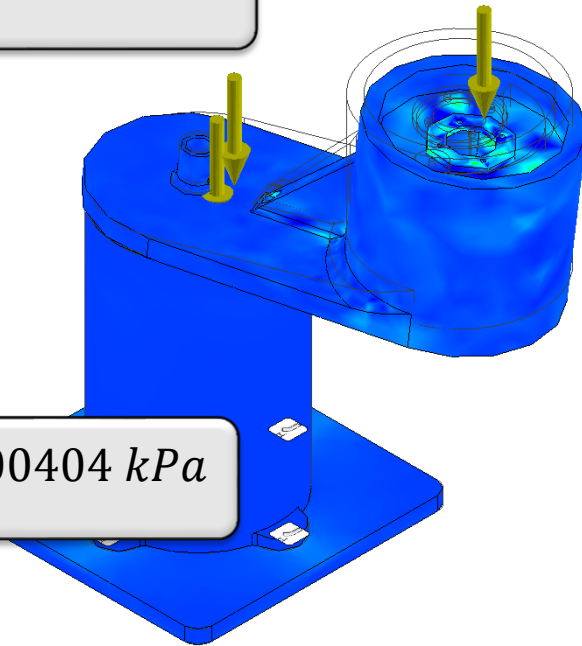
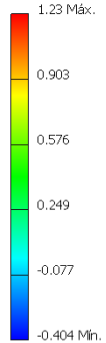
Carga crítica	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{(SR)^2} = 3.689 \text{ kN}$
Carga permisible	$P_a = \frac{P_{cr}}{N} = 1.844 \text{ kN}$
Momento máximo	$M_{m\acute{a}x} = \sigma_p \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4) = 1692.019 \text{ MPa}$



## Análisis de Esfuerzos del Brazo

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0.00123 \text{ kPa}$$

Tipo: Primera tensión principal  
Unidad: MPa  
2/15/2024, 3:50:21 PM



$$\sigma_{min} = 0.000404 \text{ kPa}$$



Momento máximo	$M_{m\acute{a}x} = 1.6817 \text{ Nm}$
Carga permisible	$\sigma_{flex} = \frac{Mc}{I} = 3.186 \text{ MPa}$
Momento máximo	$\sigma_{flex} < \frac{S_u}{6}$ ; $3.186 \text{ MPa} < 9.16 \text{ MPa}$ (Diseño Seguro)

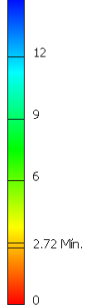
## Análisis de Esfuerzos del Brazo

Tipo: Coeficiente de seguridad

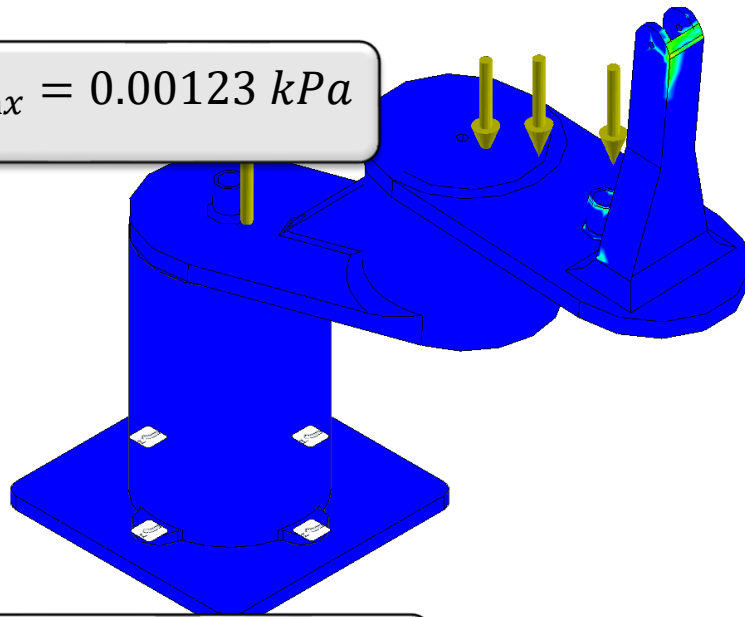
Unidad: U1

2/15/2024, 4:04:37 PM

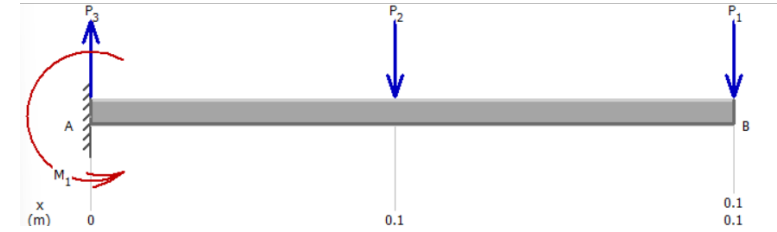
15 Máx.



$$\sigma_{m\acute{a}x} = 0.00123 \text{ kPa}$$



$$\sigma_{min} = 0.000404 \text{ kPa}$$

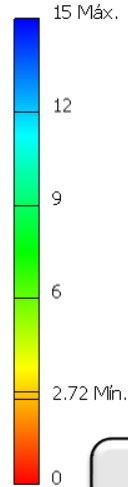


Momento máximo	$M_{m\acute{a}x} = 0.6783 \text{ Nm}$
Carga permisible	$\sigma_{flex} = \frac{Mc}{I} = 1.2852 \text{ MPa}$
Momento máximo	$\sigma_{flex} < \frac{S_u}{6} ; 1.2852 \text{ MPa} < 9.16 \text{ MPa} \text{ (Diseño Seguro)}$

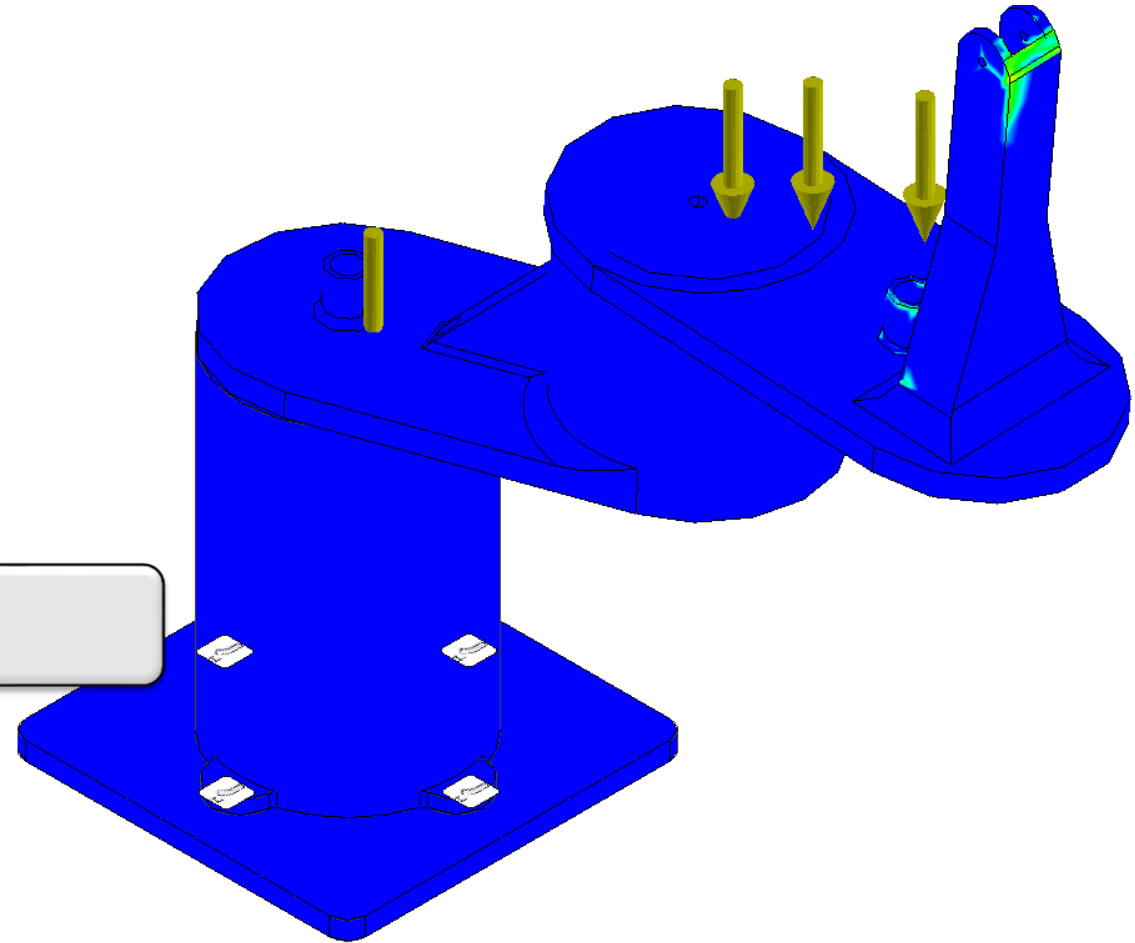
## Factor de seguridad

El factor de seguridad en todo el sistema es de  $F_s = 2.72$  el cual relaciona la carga ultima y carga admisible y carga de trabajo

Tipo: Coeficiente de seguridad  
Unidad: ul  
2/15/2024, 4:04:37 PM



$$F_s = 2.72$$





## Selección de Rodamiento



Vida nominal	$L_{10} \text{ mh} = 459245.0502h$
Carga mínima	$F_{rm} = k_r \left( 6 + \frac{4n}{n_{\text{rodamiento}}} \right) \left( \frac{dm}{100} \right)^2 = 0.549 \text{ kN}$

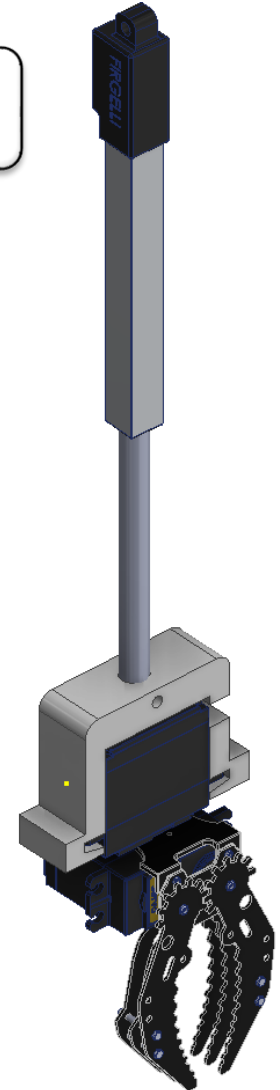
$$F_{rm} < P_a$$

$$0.549 \text{ kN} < 1.844 \text{ kN}$$

## Sistema del actuador lineal

La fuerza necesaria para levantar el peso junto con los componentes del mismo sistema

$$F = 3.9240 \text{ N}$$



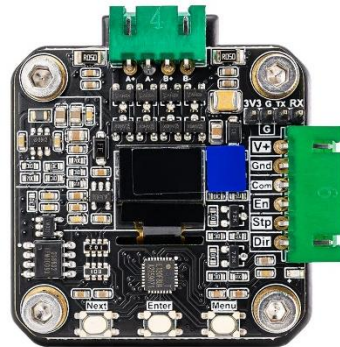
## Selección de Materiales

### Motores

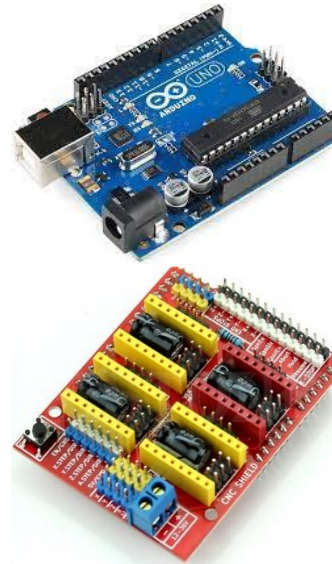


Nema 17 reductor 1:19  
Nema 17 reductor 1:21  
Servo MG995  
Micro actuador lineal eléctrico

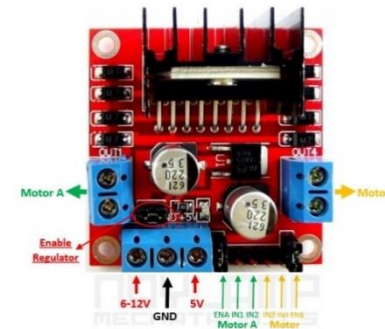
### Driver MKS SERVO 42C



### Tajeta de control Arduino CNC Shield



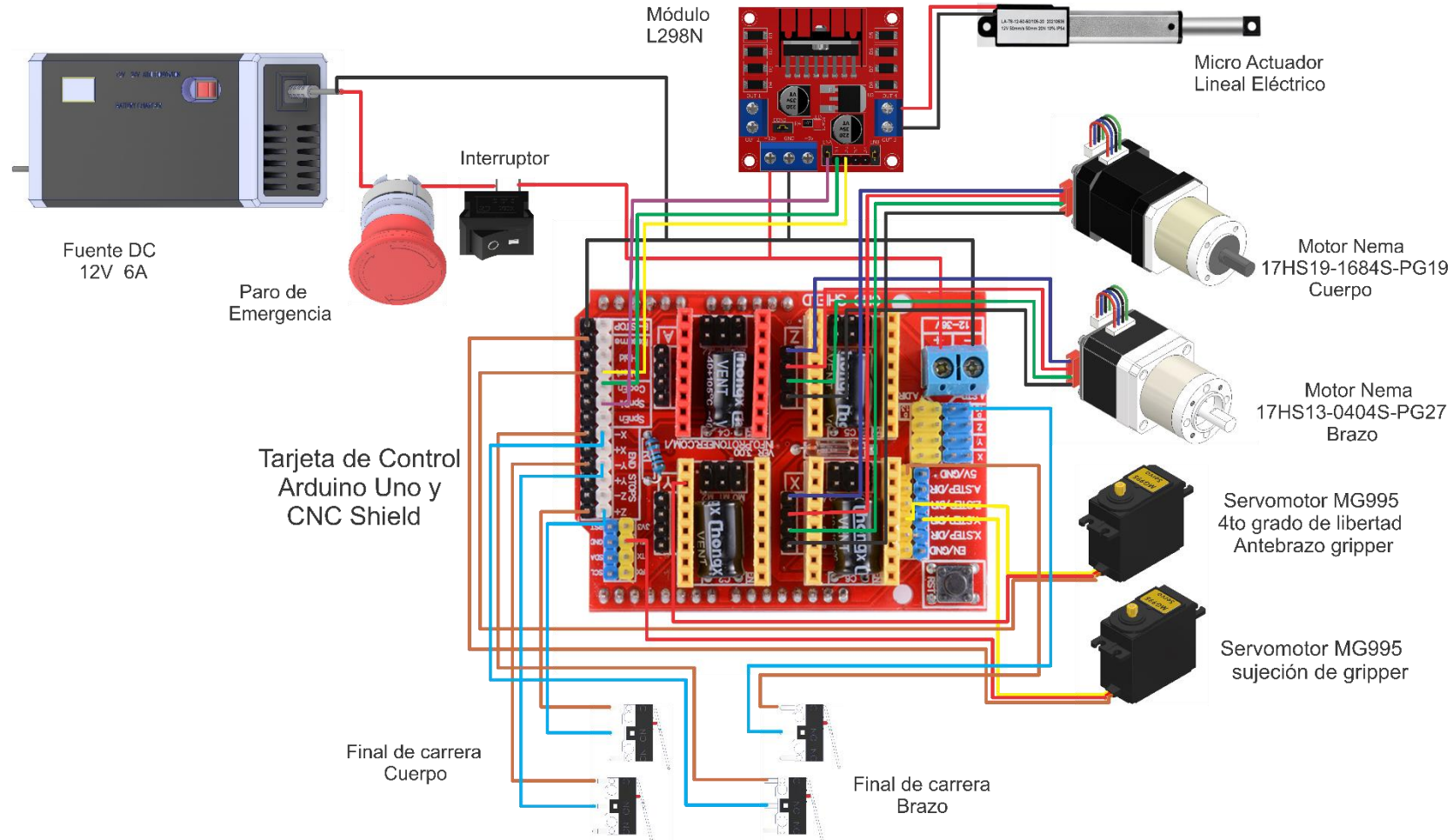
### Módulo L298N



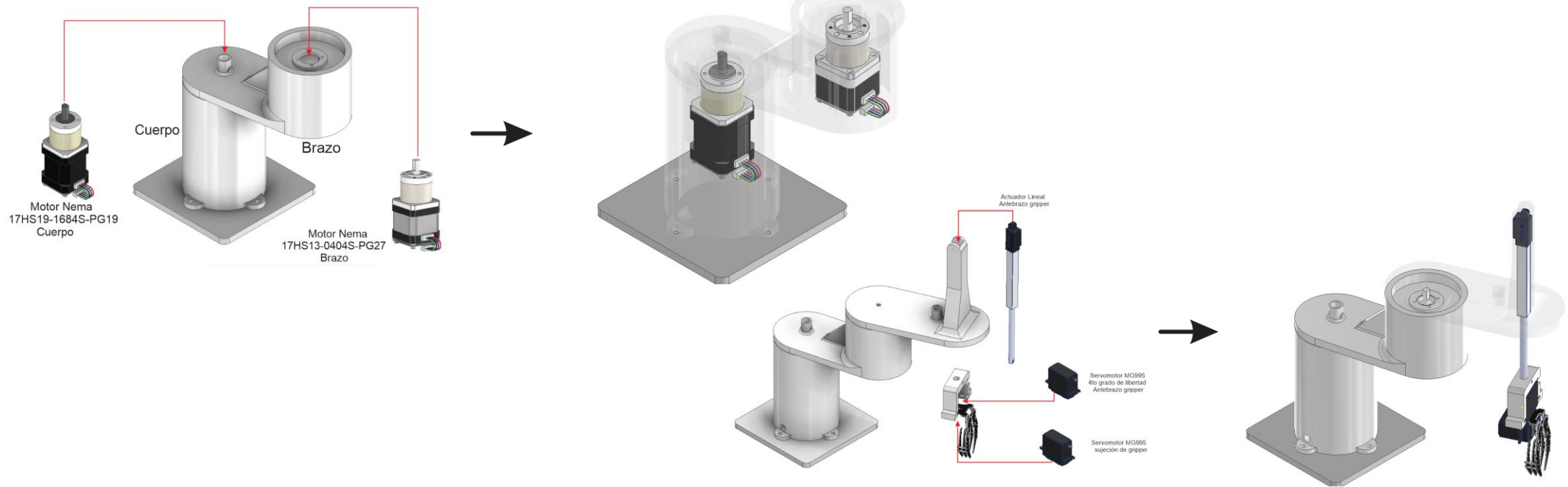
### Fuente DC 12V 6A



## Conexión del Sistema Eléctrico y Electrónico



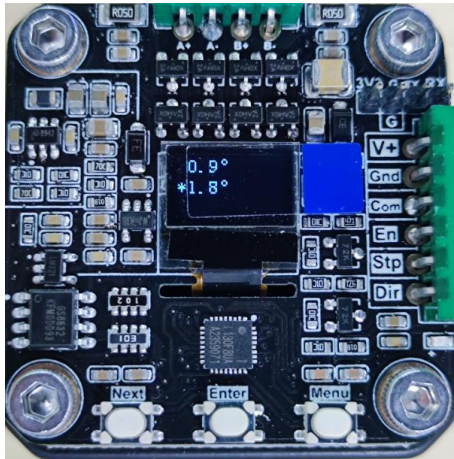
## Sistema mecánico, eléctrico y electrónico



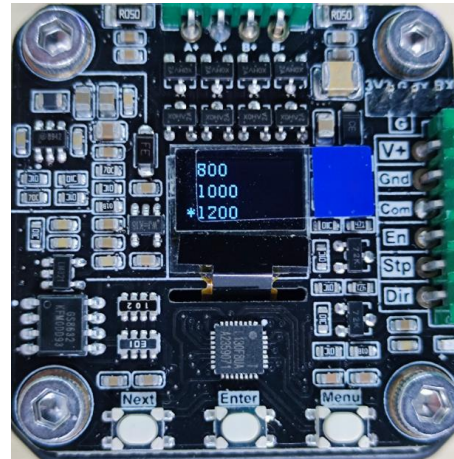


## Sintonización de Motores

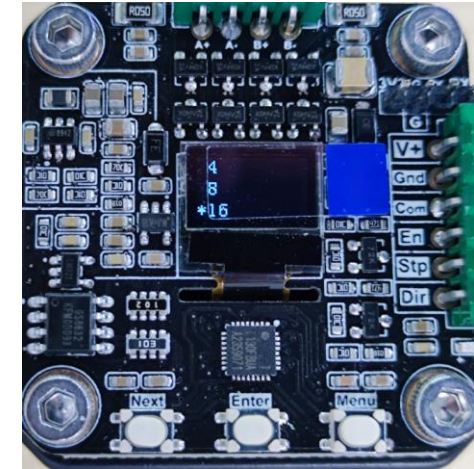
*MKS SERVO 42C en modo de tipo de motor*



*MKS SERVO 42C configuración de amperaje del motor*



*MKS SERVO 42C configuración micro Step del motor paso a paso*

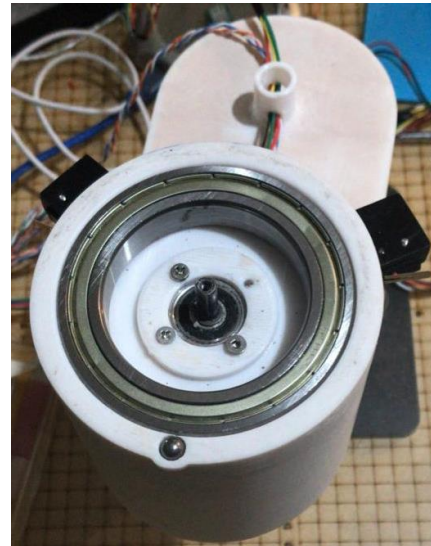


## Montaje de Mecánico del robot

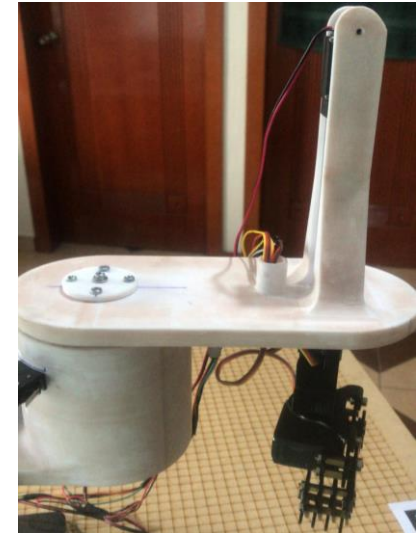
*Implementación de componentes del cuerpo del robot*



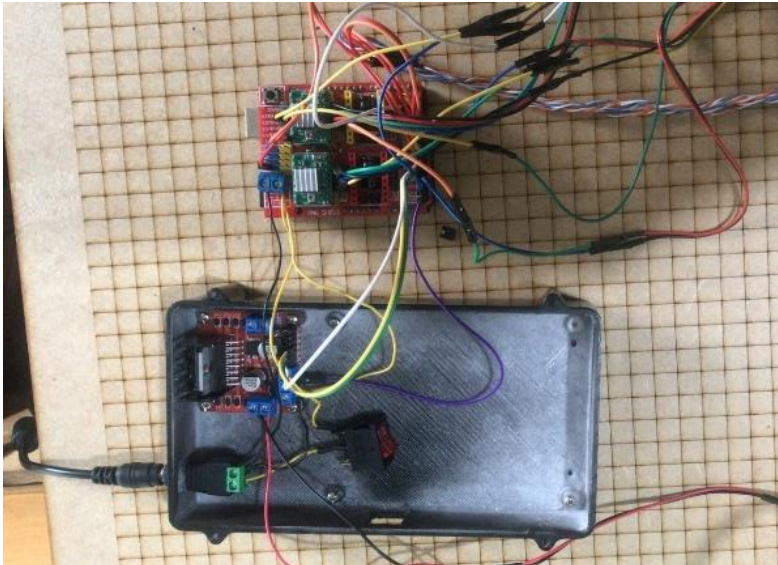
*Implementación de componentes del brazo del robot*



*Implementación de componentes del actuador final en el antebrazo del robot*



**Implementación del sistema eléctrico y electrónico**

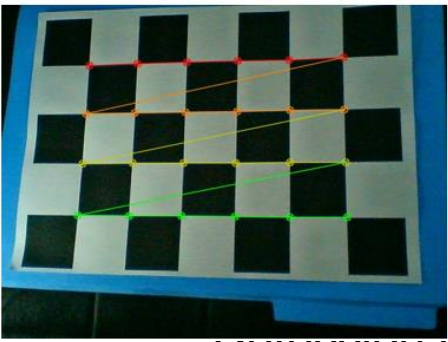


**Montaje del sistema mecánico eléctrico y electrónico del robot**





## Calibración de la Cámara



Detección de los marcadores  
delimitadores de espacio de trabajo

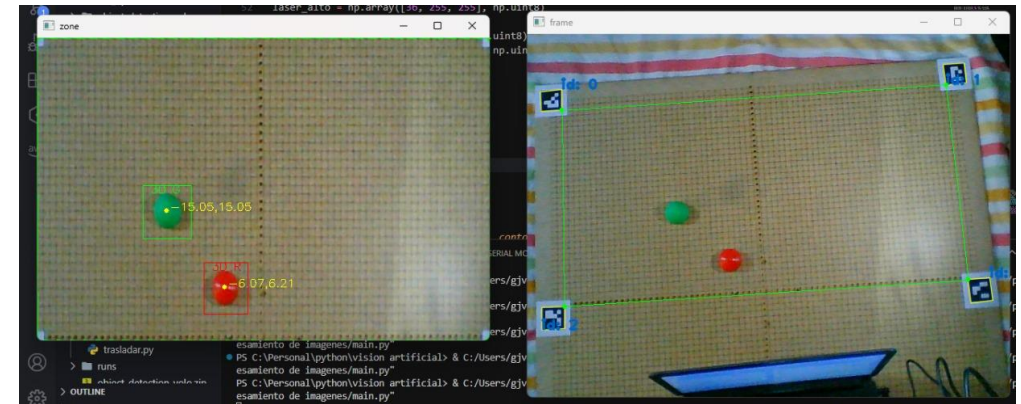


a)



b)

Posición cartesiana de objetos a clasificar  
mediante marcadores ArUco.





## Calibración de la Cámara

Clasificación de figuras mediante colores con OpenCV.

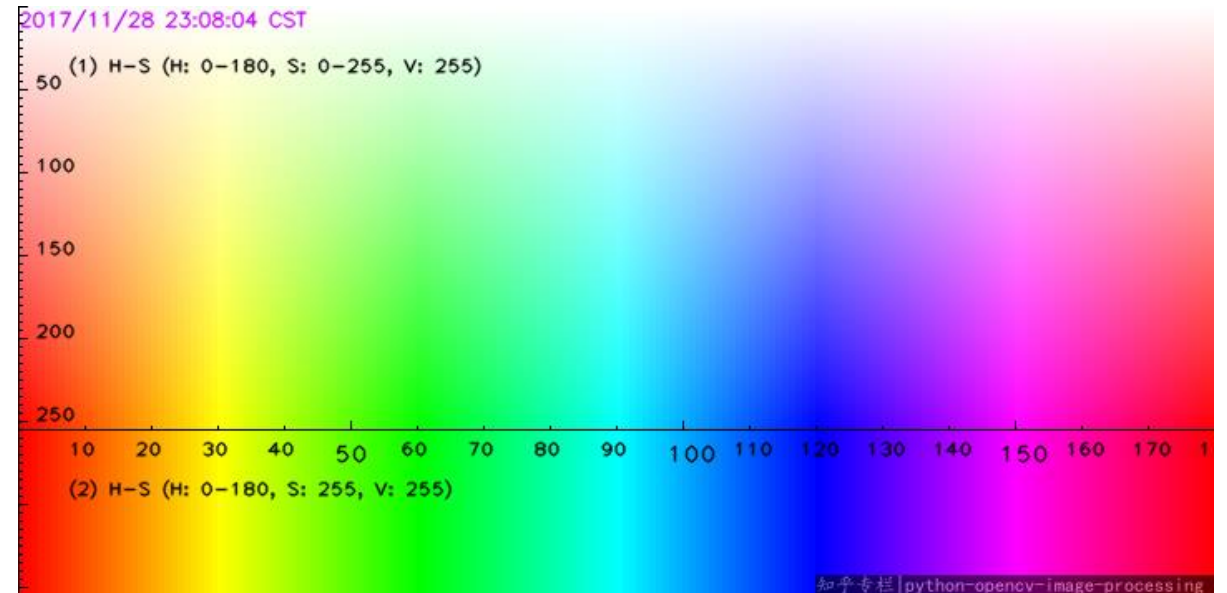
*Rango de colores en formato HSV*



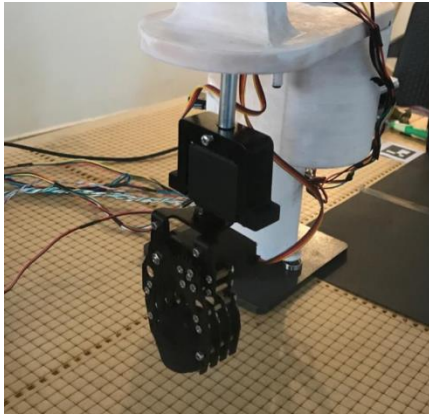
a)



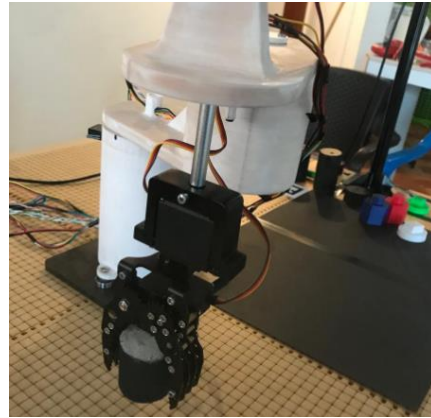
b)



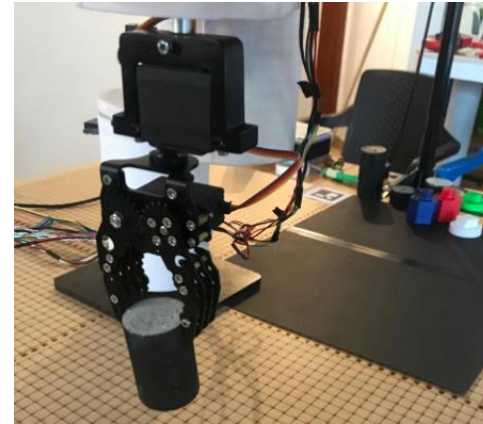
## Pruebas de agarre del Gripper



Peso de 50 gr



Peso de 100 gr



Peso de 150 gr



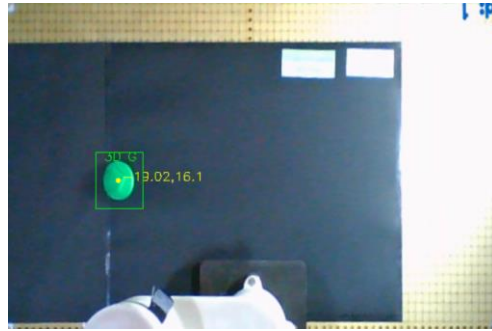
Peso de 200 gr

## Pruebas de posicionamiento



a)

**P(10.03,18.02)**

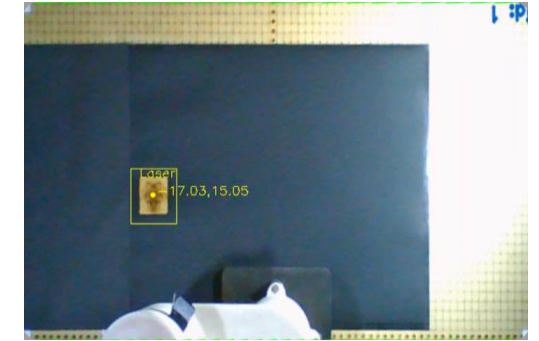


b)

**P(-19.02,16.01).**



**P(-17.03,15.05)**



**P(-17.03,15.05)**

## Pruebas de tiempo de Clasificación

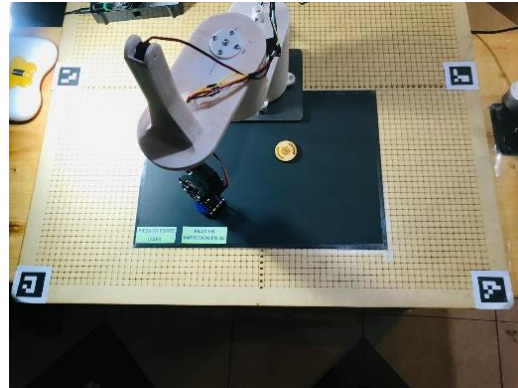
N°	Posición P(x,y)	Pieza Azul t(s)	Pieza Verde t(s)	Pieza Rojo t(s)	Pieza Blanco t(s)	Corte láser t(s)
1	(-4,10)	20.05	21.21	22.1	20.65	17.44
2	(-10,10)	18.53	18.25	19.45	18.45	17.36
3	(-17,10)	18.25	19.36	18.65	19.12	17.22
4	(-7,12)	19.5	19.12	18.75	19.36	17.32
5	(-13,12)	18.75	18.65	19.56	19.12	17.12
6	(-20,12)	18.32	18.35	19.36	18.65	17.11
7	(-4,15)	17.98	17.99	18.25	17.85	17.56
8	(-10,15)	18.45	18.12	18.47	19.35	17.36
9	(-17,15)	19.12	19.25	19.35	18.98	17.17
10	(-2,18)	18.56	18.65	18.15	18.75	17.24
11	(-6,18)	19.45	19.54	19.96	18.65	17.23
12	(-10,18)	19.26	19.62	19.26	18.45	17.14
13	(-14,18)	19.36	19.25	18.66	19.12	17.16
14	(-18,18)	18.63	18.75	19.24	18.85	17.18
15	(-21,18)	18.57	18.41	19.17	18.84	17.21
16	(-3,21)	19.85	19.16	18.89	19.11	17.65
17	(-7,21)	18.69	18.75	19.85	18.75	17.64
18	(-11,21)	18.36	18.42	19.12	18.54	17.62
19	(-14,21)	19.25	19.12	18.96	18.96	17.42
20	(-17,21)	18.65	18.75	18.93	19.12	17.55
<b>PROMEDIO</b>		18.879	18.936	19.206	18.93	17.335



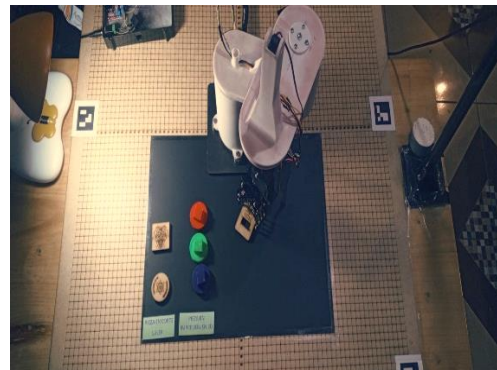
## Pruebas de tiempo de clasificación



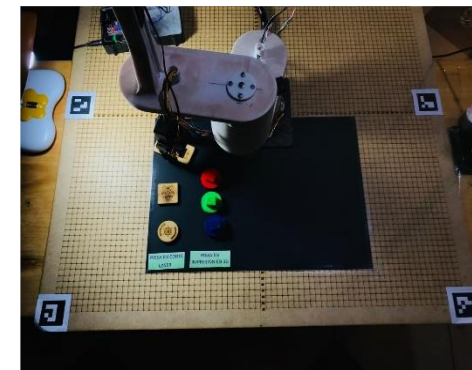
a)



b)



a)



b)

Hipótesis nula ( $H_0$ )= No es posible mediante el diseño y construcción de un robot SCARA clasificar elementos manufacturados hacia un módulo de transporte.

Hipótesis alternativa ( $H_i$ )= Mediante el diseño y construcción de un robot SCARA, es posible clasificar elementos manufacturados hacia un módulo de transporte.

Núm.	Elementos	Componentes	Funciona	No funciona	N° Pruebas	%Error
1	Manipulador	Robot Scara	28	2	30	6.67
2	Visión Artificial	Posición 3D azul	25	5	30	16.67
3		Posición 3D verde	30	0	30	0
4		Posición 3D rojo	30	0	30	0
5		Posición 3D blanco	25	5	30	16.67
6		Posición 3D láser	30	0	30	0
7		Clasificación	3D azul	23	7	30
8	3D verde		23	7	30	23.33
9	3D rojo		23	7	30	23.33
10	3D blanco		23	7	30	23.33
11	Láser círculo		23	7	30	23.33
12	Láser cuadrado		23	7	30	23.33
13	Láser Rectángulo		23	7	30	23.33
<b>TOTAL</b>			<b>324</b>	<b>66</b>	<b>390</b>	<b>15.64</b>

$$f_t = \frac{T_i * T_f}{N} \quad (1)$$

- El cálculo de la frecuencia esperada funcional y no funcional se realiza mediante la Ecuación 70.

$$f_{esperada\ funcional} = \frac{30 * 324}{390}$$

$$f_{esperada\ funcional} = 24.923$$

$$f_{esperada\ no\ funcional} = \frac{30 * 66}{390}$$

$$f_{esperada\ no\ funcional} = 5.076$$



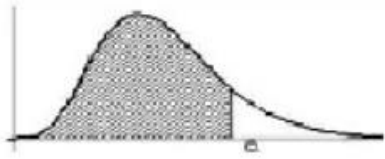
Datos	$f_o$	$f_t$	$(f_o - f_t)$	$(f_o - f_t)^2$	$\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$
Funciona 1	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 2	25	24.923	0.077	0.0059	0.00023
Funciona 3	30	24.923	5.077	25.775	1.034
Funciona 4	30	24.923	5.077	25.775	1.034
Funciona 5	25	24.923	0.077	25.775	0.00023
Funciona 6	30	24.923	5.077	25.775	1.034
Funciona 7	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 8	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 9	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 10	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 11	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 12	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
Funciona 13	23	24.923	-1.923	3.697	0.148
No funciona 1	7	5.076	1.924	3.701	0.729
No funciona 2	5	5.076	-0.076	0.0057	0.0011
No funciona 3	0	5.076	-5.076	25.765	5.076
No funciona 4	0	5.076	-5.076	25.765	5.076
No funciona 5	5	5.076	-0.076	0.0057	0.0011
No funciona 6	0	5.076	-5.076	25.765	5.076
No funciona 7	7	5.076	1.924	3.701	0.528
No funciona 8	7	5.076	1.924	3.701	0.528
No funciona 9	7	5.076	1.924	3.701	0.528
No funciona 10	7	5.076	1.924	3.701	0.528
No funciona 11	7	5.076	1.924	3.701	0.528
No funciona 12	7	5.076	1.924	3.701	0.528
No funciona 13	7	5.076	1.924	3.701	0.528
<b>TOTAL</b>					<b>25.348</b>

$$(r-1)*(c-1)$$

$$(13-1)*(2-1)=12$$

Para poder determinar el porcentaje de confianza se utilizará un grado de libertad de 12, en la tabla de distribución de Chi-cuadrado

**F(a) = P ( X ≤ a )      PERCENTILES DE LA DISTRIBUCIÓN  $\chi^2$**



<i>n</i>	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,75	0,5	0,25	0,05	0,025	0,01	0,005
1	7,879	6,635	5,024	3,841	2,706	1,323	0,455	0,102	0,004	0,001	0,000	0,000
2	10,597	9,210	7,378	5,991	4,605	2,773	1,386	0,575	0,103	0,051	0,020	0,010
3	12,838	11,345	9,348	7,815	6,251	4,108	2,366	1,213	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,860	13,277	11,143	9,488	7,779	5,385	3,357	1,923	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,750	15,086	12,833	11,070	9,236	6,626	4,351	2,675	1,145	0,831	0,554	0,412
6	18,548	16,812	14,449	12,592	10,645	7,841	5,348	3,455	1,635	1,237	0,872	0,676
7	20,278	18,475	16,013	14,067	12,017	9,037	6,346	4,255	2,167	1,690	1,239	0,989
8	21,955	20,090	17,535	15,507	13,362	10,219	7,344	5,071	2,733	2,180	1,646	1,344
9	23,589	21,666	19,023	16,919	14,684	11,389	8,343	5,899	3,325	2,700	2,088	1,735
10	25,188	23,209	20,483	18,307	15,987	12,549	9,342	6,737	3,940	3,247	2,558	2,156
11	26,757	24,725	21,920	19,675	17,275	13,701	10,341	7,584	4,575	3,816	3,053	2,603
12	28,300	26,217	23,337	21,026	18,549	14,845	11,340	8,438	5,226	4,404	3,571	3,074

Para la validación de la hipótesis se realizaron pruebas de funcionamiento, en el que se obtuvo el valor del Chi-cuadrado de 25.348 el cual es mayor a 23.337 , el cual es el valor crítico de la tabla porcentual de Chi-cuadrado, obteniendo un valor de confiabilidad del 97.5% comprobando así la validez de la hipótesis.

Por lo tanto, se puede validar la Hipótesis alternativa que dice que, “Mediante el diseño y construcción de un robot SCARA, es posible clasificar elementos manufacturados hacia un módulo de transporte”, y rechazar la Hipótesis Nula.

- Mediante el análisis de esfuerzo realizado revela un factor de seguridad de  $F_s=2.72$  unidades en el sistema ensamblado, este valor representa la relación entre la carga ultima, la carga admisible y la carga de trabajo, confirmando la capacidad del sistema para levantar el peso de 200 gramos.
- Se determina que el tiempo de reconocimiento en piezas fabricadas mediante impresión 3D y corte láser es del 0.857 % y 0.65 % de error respectivamente, garantizando la precisión de acierto en los objetos manufacturados.
- Como resultado del anterior el error la posición para elementos fabricados en impresión 3D y corte laser es bajo respectivamente, tanto para la coordenada X como para la Y, estos valores son mínimas por lo que garantiza el funcionamiento efectivo y preciso del sistema de clasificación.
- En definitiva, a través de 30 pruebas realizadas del sistema de clasificación de elementos manufacturados se obtiene un porcentaje de error del 15.64%, considerando el entorno de luz como factor principal, valida el funcionamiento de la máquina (robot Scara).
- Con la herramienta estadística Chi-cuadrado, se obtuvo un nivel de confiabilidad del 97 %, lo que confirma la validez de la hipótesis planteada.

- Se recomienda de que el área de trabajo este configurado dentro de los limites adecuados, con un rango de -24 a 24 cm para la coordenada X y de 0 a 24 cm para la coordenada Y, esto garantizará un funcionamiento optimo del sistema de visión artificial.
- Se recomienda optar por un Gripper de mayor tamaño al manipular elementos de un volumen considerable, asegurando el mismo esté dentro de los límites de capacidad de carga del robot Scara.
- Para mejorar la precisión y eficiencia en la clasificación de elementos manufacturados, se recomienda operar en entornos que no tenga mucha variedad de luz, esto minimizará al mínimo las interferencias o fallas causadas por el ambiente.
- Para garantizar una captura de detalle óptima en piezas con características más complejas, se sugiere emplear una cámara de mayor resolución.

# Gracias



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