

Informe sobre Brazo Robótico de 4-DOF

Ivon Orjuela, Juan Perez, Mateo Castro, Gabriel Rodriguez, Mateo Diaz

June 12, 2024

Resumen

En este informe, proporcionaremos un análisis exhaustivo del brazo robótico de cuatro grados de libertad que hemos diseñado, ensamblado y evaluado. Incluiríremos una descripción detallada de cada uno de los requisitos establecidos inicialmente, presentando resultados que se acercan lo más posible a los valores reales obtenidos.

1 Introducción

En la era de la automatización y la robótica, el desarrollo de brazos robóticos ha revolucionado sectores como la manufactura, la medicina y la exploración espacial. Este informe se centra en un brazo robótico de 4 grados de libertad (4DOF), examinando detalladamente sus componentes, principios de funcionamiento y aplicaciones. Un brazo robótico de 4DOF tiene la capacidad de moverse en cuatro ejes diferentes, lo que le otorga una gran flexibilidad y versatilidad para ejecutar diversas tareas con alta precisión y repetibilidad.

En este informe, se tratarán los aspectos técnicos del brazo robótico, incluyendo su diseño mecánico, los sistemas de actuadores y sensores, así como el control y la programación necesarios para su operación. También se analizarán las aplicaciones prácticas de este tipo de robot en distintas industrias, destacando tanto sus capacidades como los desafíos que implica su implementación. El objetivo es ofrecer una visión integral del funcionamiento y las aplicaciones de un brazo robótico de 4DOF, enfatizando su impacto en la eficiencia y la innovación tecnológica.

2 Diseño Conceptual e Investigación

2.1 Funcionalidades y Aplicaciones de un Brazo Robótico de 4 Grados de Libertad (DOF)

Un brazo robótico de 4 grados de libertad (DOF) es un dispositivo que puede realizar movimientos complejos y precisos en diferentes direcciones. Esta ca-

pacidad lo convierte en una herramienta versátil y eficiente en múltiples aplicaciones industriales, médicas, educativas y domésticas. Este informe explora las funcionalidades sólidas de un brazo robótico 4 DOF, sus aplicaciones claras y diversas fuentes de inspiración y potencial de adaptación.

2.2 Funcionalidades Sólidas

2.2.1 Control de Movimiento Preciso

Un brazo robótico 4 DOF permite realizar movimientos precisos y controlados en diferentes direcciones. Esta capacidad es esencial en aplicaciones que requieren alta precisión y flexibilidad. La precisión en el movimiento permite la ejecución de tareas delicadas y complejas con exactitud, lo que es crucial en industrias como la automotriz y la medicina.

2.2.2 Flexibilidad y Adaptabilidad

La posibilidad de realizar movimientos en diferentes direcciones y ángulos dota a los brazos robóticos de una notable flexibilidad y adaptabilidad. Esta característica los hace útiles en diversos entornos y tareas, desde la manufactura hasta la investigación científica. La versatilidad es un factor clave para su implementación en múltiples aplicaciones.

2.2.3 Control de Torque y Fuerza

La capacidad de controlar el torque y la fuerza en cada articulación permite que los brazos robóticos realicen tareas que requieren tanto fuerza como precisión. Esta funcionalidad es esencial para la manipulación de objetos pesados o delicados, garantizando seguridad y eficiencia en su manejo. Es particularmente importante en operaciones de ensamblaje y manipulación de materiales.

2.2.4 Integración con Sistemas de Visión

La integración con sistemas de visión y algoritmos de visión por computadora permite a los brazos robóticos detectar y evitar obstáculos, mejorando la precisión y la seguridad en la ejecución de tareas complejas. Esta funcionalidad es vital en aplicaciones que requieren un alto grado de precisión y seguridad operativa.

2.2.5 Control Remoto y Teleoperado

La capacidad de ser controlado remotamente permite operar el brazo robótico desde una distancia segura, lo cual es especialmente útil en entornos peligrosos o inaccesibles para los humanos. Esta característica es esencial en aplicaciones en entornos hostiles, como áreas con temperaturas extremas o atmósferas tóxicas.

2.2.6 Integración con Software de Control

La compatibilidad con software de control y programación permite a los usuarios programar y controlar el brazo robótico para realizar tareas específicas y complejas. Esta funcionalidad aumenta la personalización y la eficiencia del robot, adaptándolo a las necesidades específicas de cada aplicación.

2.3 Aplicaciones Claras

2.3.1 Industria Automotriz

Los brazos robóticos 4 DOF son comunes en la industria automotriz para tareas como estampado, montaje, pintura y ensamblaje final. Su precisión y consistencia mejoran la eficiencia y la calidad de la producción.

2.3.2 Cirugía y Medicina

En el campo médico, los brazos robóticos 4 DOF se emplean para realizar cirugías mínimamente invasivas con gran precisión, reduciendo el trauma para los pacientes y mejorando los resultados quirúrgicos. Son herramientas esenciales en procedimientos que requieren alta precisión y control.

2.3.3 Educación e Investigación

En el ámbito educativo y de investigación, los brazos robóticos 4 DOF permiten a estudiantes y científicos experimentar con conceptos de robótica y automatización. Facilitan el aprendizaje y la innovación en tecnología robótica.

2.3.4 Asistencia en Tareas Repetitivas o Peligrosas

Estos robots pueden realizar tareas repetitivas de ensamblaje con mayor precisión que los humanos, así como manipular materiales peligrosos y operar en entornos hostiles. Son cruciales para reducir riesgos laborales y mejorar la seguridad en operaciones industriales.

2.3.5 Micromanipulación y Tareas de Precisión

En aplicaciones que requieren la manipulación precisa de objetos pequeños y delicados, como la reparación de componentes electrónicos o la restauración de obras de arte, los brazos robóticos 4 DOF son herramientas indispensables.

2.3.6 Automatización Industrial

Los brazos robóticos 4 DOF pueden automatizar tareas industriales como soldadura, pintura y manipulación de materiales, mejorando la eficiencia y reduciendo la necesidad de intervención humana en tareas peligrosas o repetitivas.

2.3.7 Aplicaciones Domésticas y Asistencia Personal

En el hogar, estos robots pueden asistir a personas con discapacidades en tareas cotidianas, realizar tareas domésticas como limpiar o lavar platos, y proporcionar compañía y entretenimiento a personas mayores o solas.

2.4 Fuentes de Inspiración y Potencial de Adaptación

2.4.1 Solectroshop

Ofrece kits de brazos robóticos 4 DOF para aficionados y educación, facilitando la adquisición y experimentación con estos dispositivos.

2.4.2 igus Robolink

Proporciona brazos robóticos 4 DOF para aplicaciones industriales y educativas, con software gratuito y opciones de personalización.

2.4.3 Lynxmotion

Ofrece brazos robóticos 4 DOF con servomotores inteligentes y software de control, ideales para aplicaciones educativas y de investigación.

2.4.4 Quanser

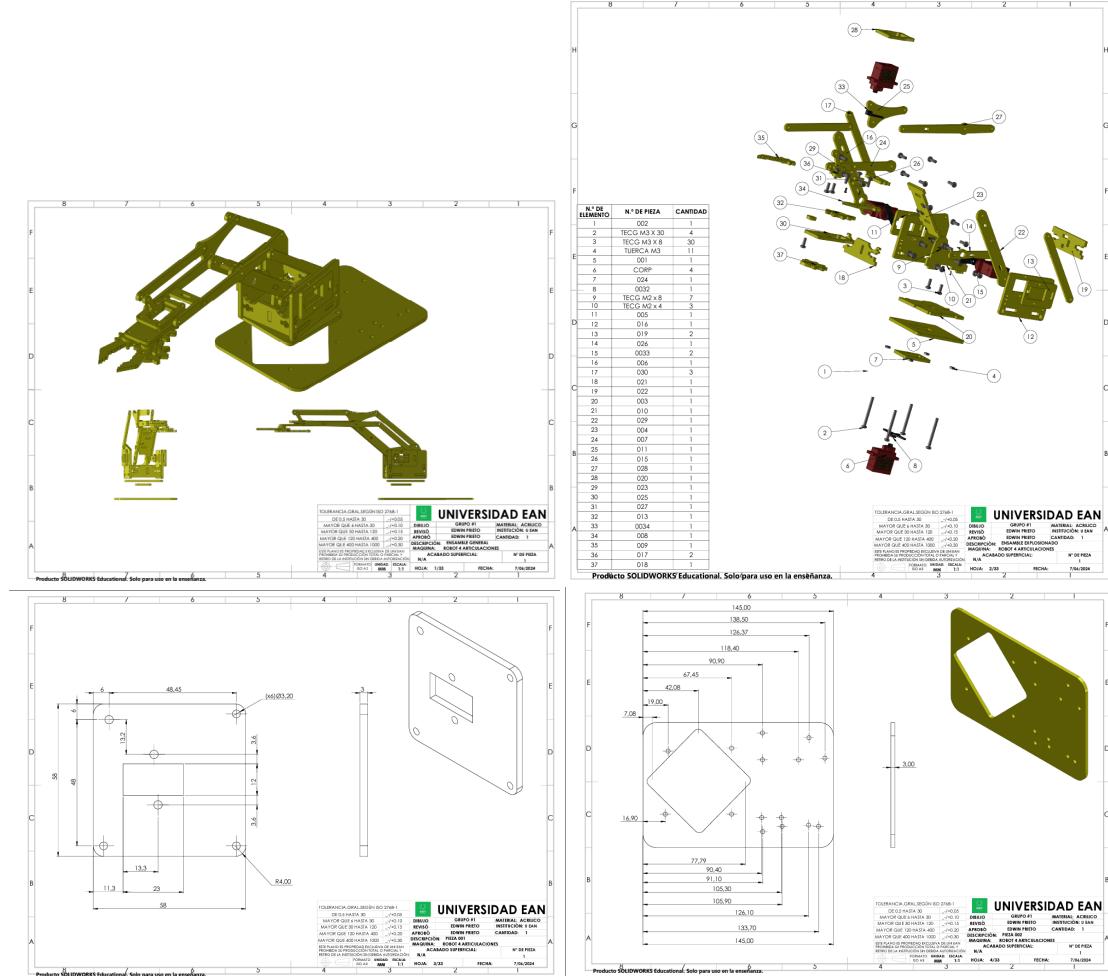
Proporciona un brazo robótico 4 DOF con control de torque y fuerza, ideal para investigación y educación.

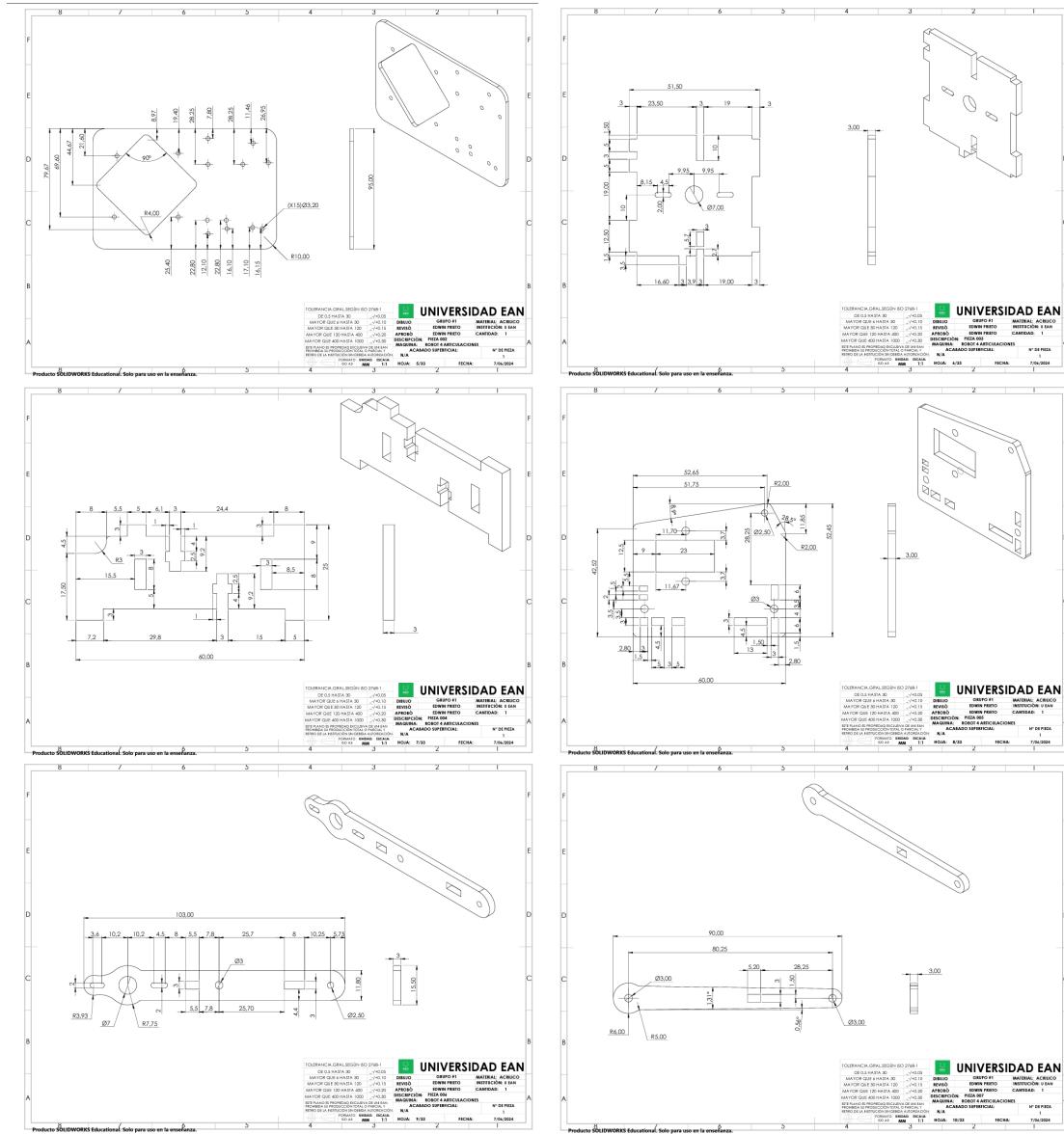
2.4.5 Naturaleza y Tecnología Existente

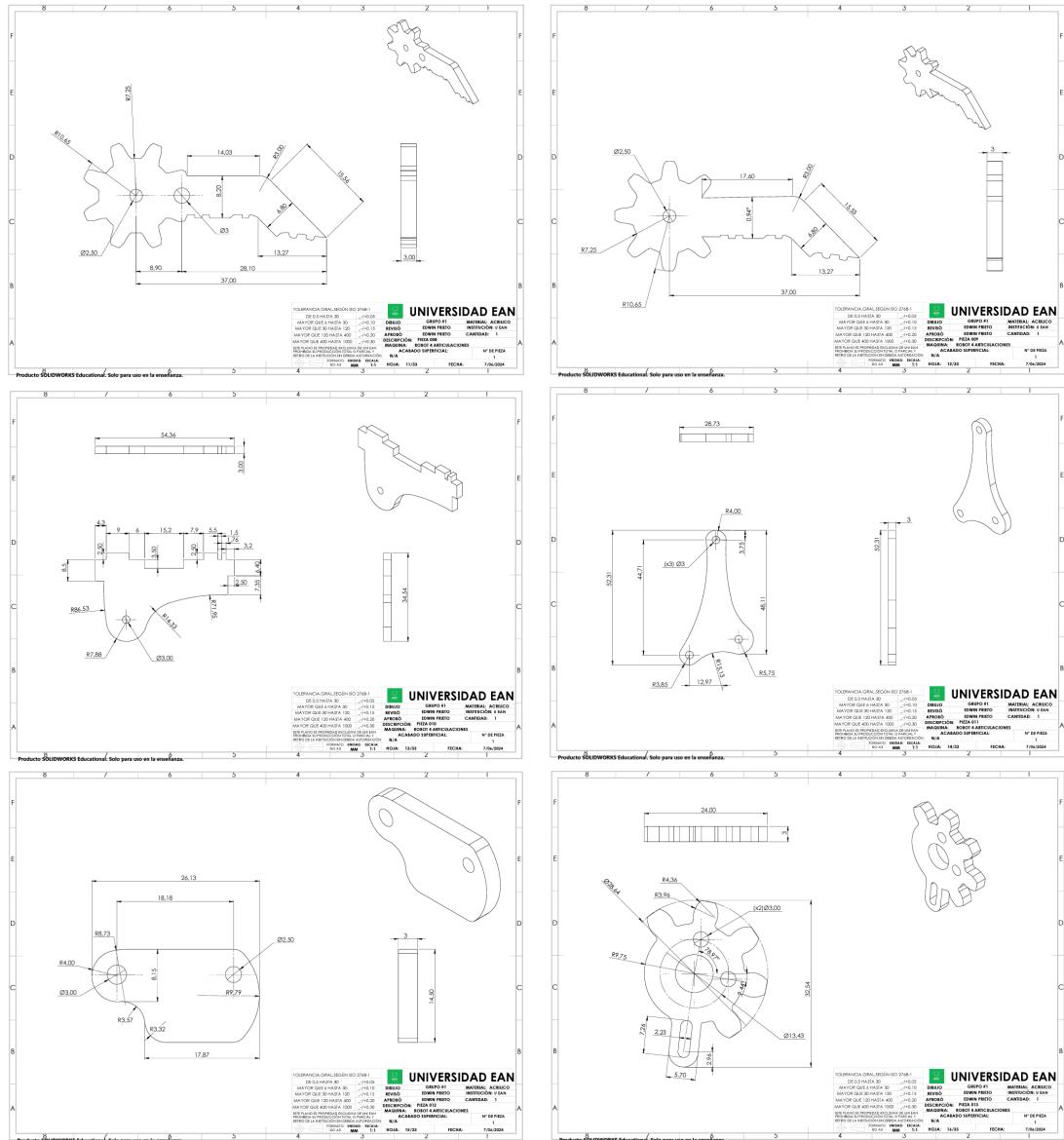
La naturaleza, con sus diversos mecanismos de movimiento en animales, así como la tecnología existente en brazos robóticos industriales y exoesqueletos, ofrecen inspiración y bases para desarrollar nuevas funcionalidades en robots 4 DOF.

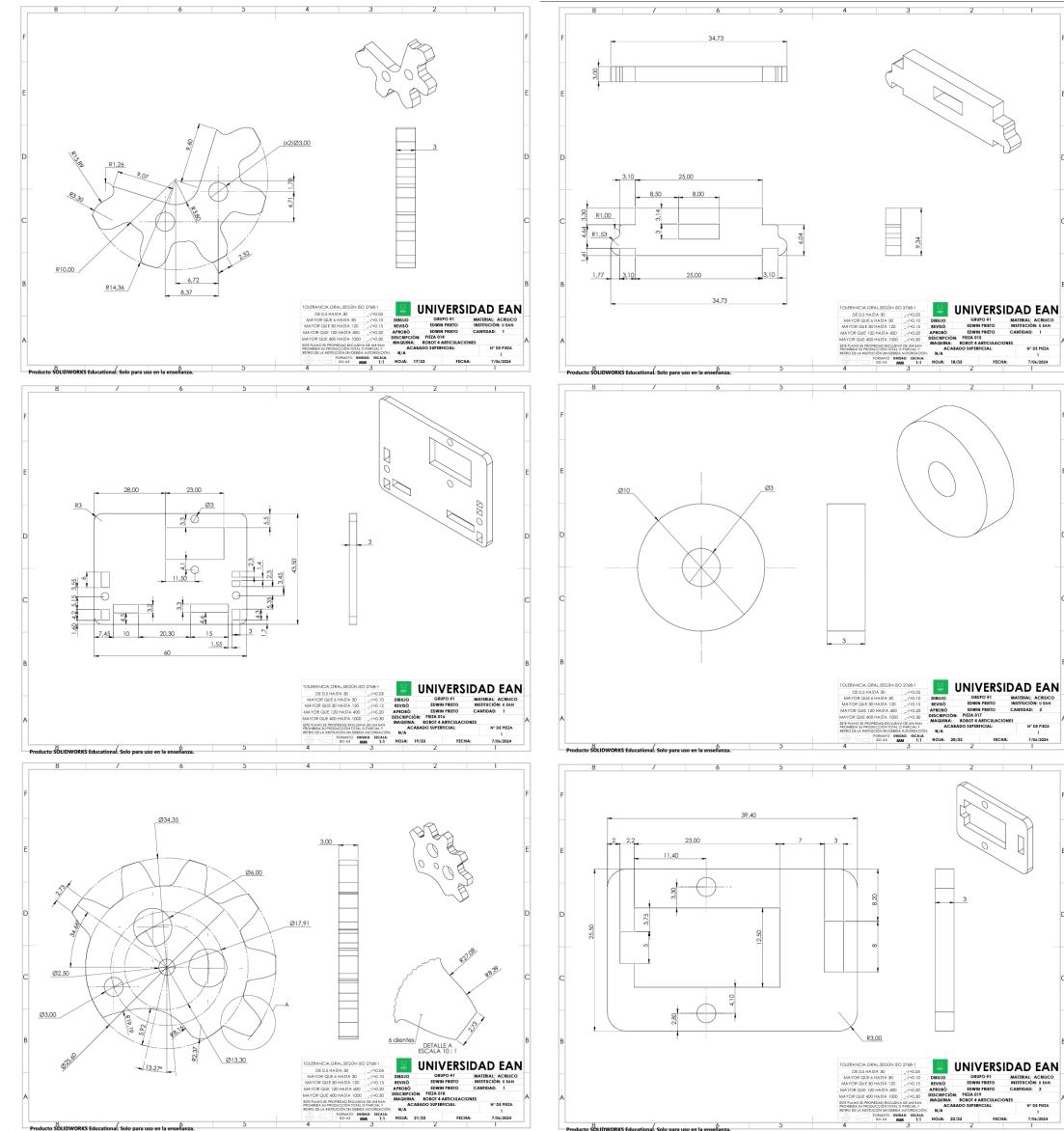
3 Diseño CAD y Cinemática

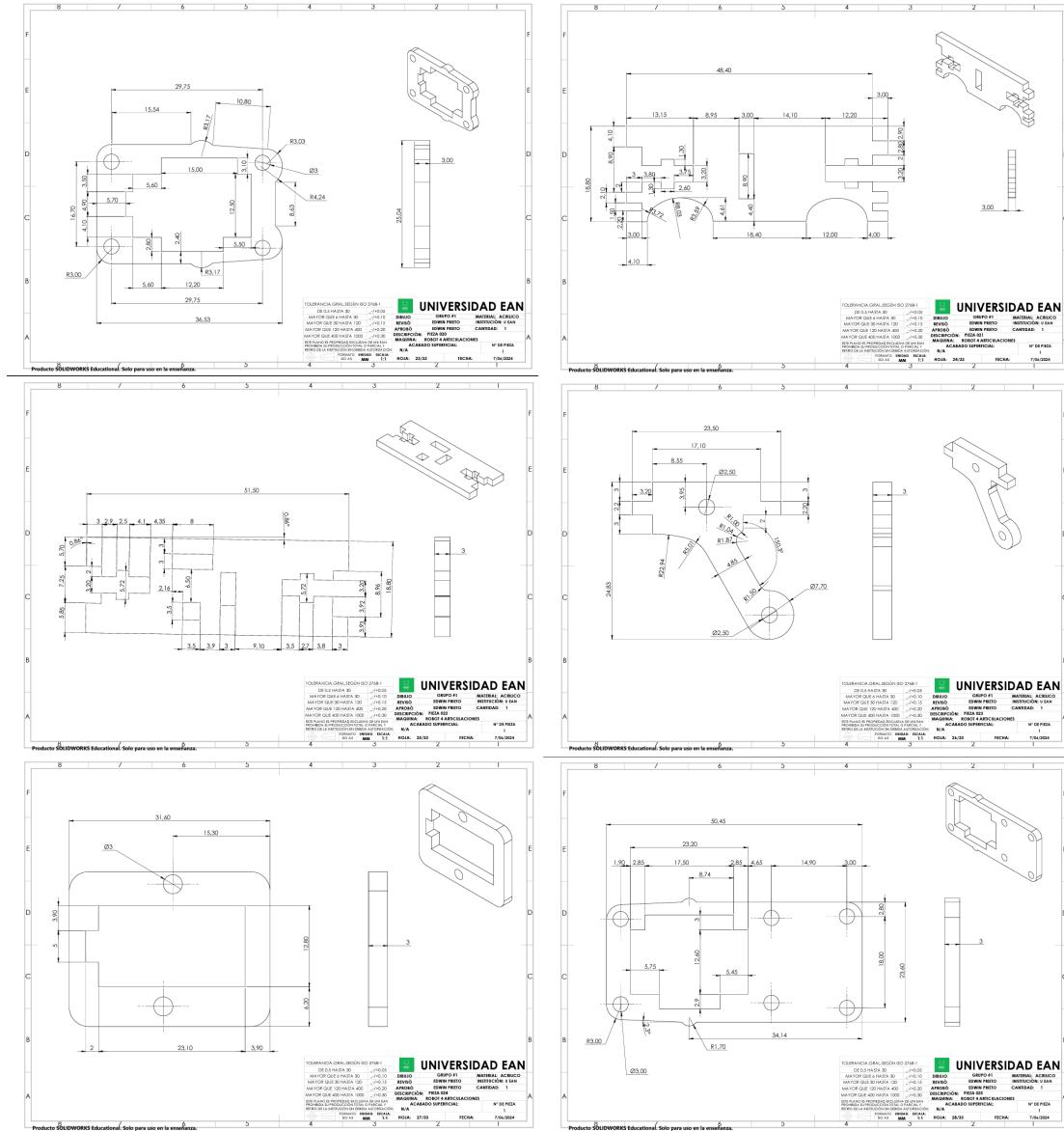
3.1 Diseño CAD

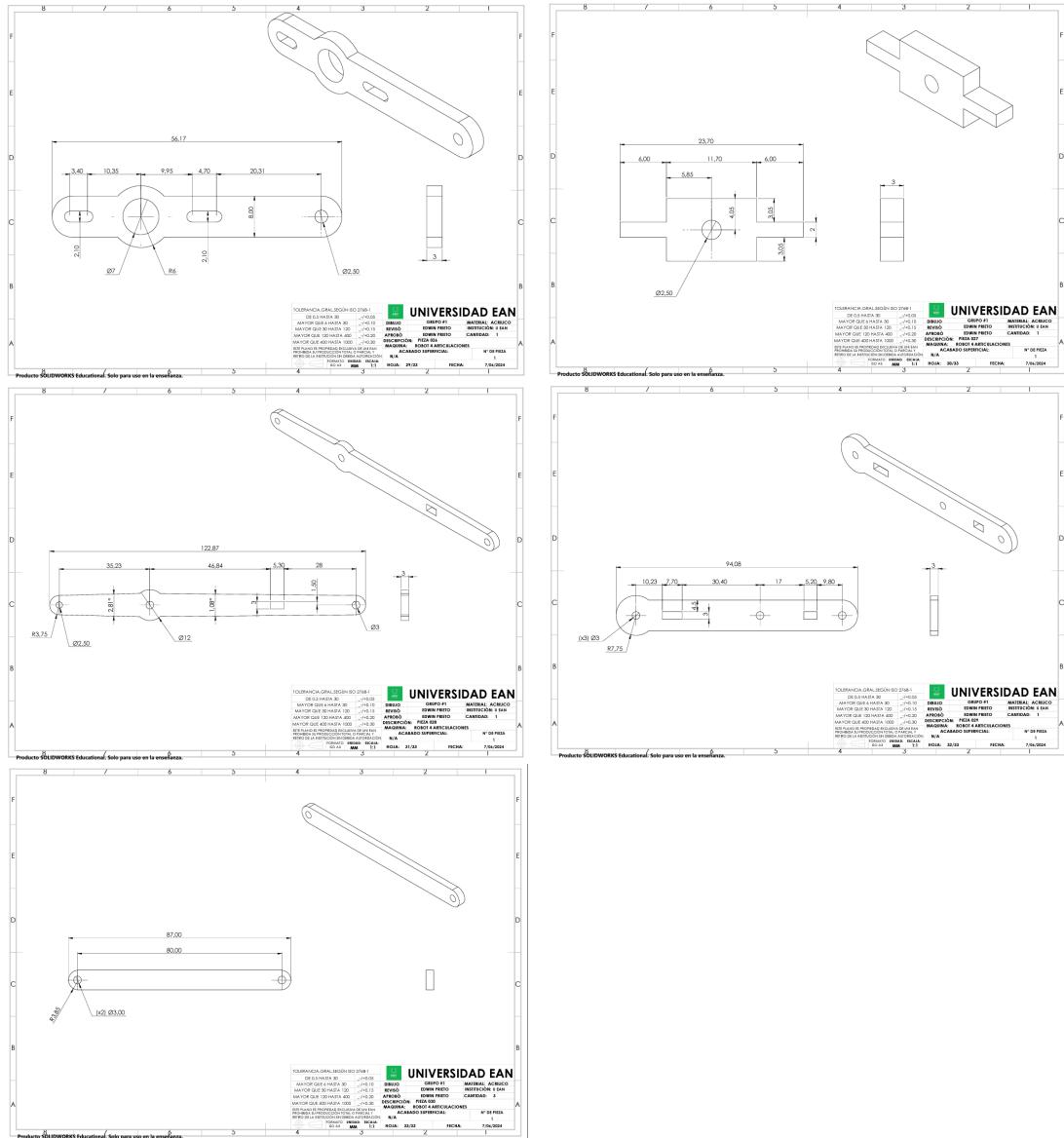












4 Cinemática directa

4.1 Denavit-Hartenberg

Articulacion	Z		X	
	theta	d1	a1	alfa1
1	Theta1	L1	0	90
2	theta2	0	0	180
3	theta3	L2	0	0
4	theta4	0	L3	-90

$L_1 = 7 \text{ cm}$
 $L_2 = 8 \text{ cm}$
 $L_3 = 20 \text{ cm}$

4.2 Matrices homogéneas

```
T = [ cos(theta) -sin(theta) 0 a * cos(theta)
      sin(theta)  cos(theta) 0 a * sin(theta)
      0          0          1      d
      0          0          0      1 ]
```

Articulación 1:

```
T_1 = [ cos(theta_1) -sin(theta_1) 0 L_1 * cos(theta_1)
        sin(theta_1)  cos(theta_1) 0 L_1 * sin(theta_1)
        0            0            1      0
        0            0            0      1 ]
```

Articulación 2:

$$T_2 = \begin{bmatrix} -\cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Articulación 3:

$$T_3 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_3) & -\sin(\theta_3) & 0 & L_2 * \cos(\theta_3) \\ \sin(\theta_3) & \cos(\theta_3) & 0 & L_2 * \sin(\theta_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Articulación 4:

$$T_4 = \begin{bmatrix} -\sin(\theta_4) & 0 & \cos(\theta_4) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \cos(\theta_4) & 0 & \sin(\theta_4) & L_3 * \cos(\theta_4) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

4.3 Matriz de transformación

$$T = T_4 * T_3 * T_2 * T_1$$

$$T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & -\sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 \\ \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} L_1 \cos(\theta_1) + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ L_1 \sin(\theta_1) + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

5 Cinemática inversa

```
1 import numpy as np
2 from roboticstoolbox import DHRobot, RevoluteDH
3 from spatialmath import SE3
4
5 # Definimos los parámetros del robot
6 L1 = 0.07
7 L2 = 0.08
8 L3 = 0.2
9
10 # Definimos los enlaces utilizando los parámetros DH
11 links = [
12     RevoluteDH(d=0, a=L1, alpha=np.pi/2),
13     RevoluteDH(d=0, a=0, alpha=np.pi, offset=np.pi),
14     RevoluteDH(d=0, a=L2, alpha=0),
15     RevoluteDH(d=0, a=L3, alpha=-np.pi/2),
16 ]
17
18 # Creamos el objeto Robot
19 robot = DHRobot(links, name="SimpleRobot")
20
21 # Definimos la posición deseada
22 pos_deseada = SE3(0.1, 0.2, 0.3)
23
24 # Calculamos la cinemática inversa
25 ik_sol = robot.ikine_LM(pos_deseada)
26
27 # Imprimimos las soluciones
28 if ik_sol.success:
29     print("Soluciones:")
30     print(ik_sol.q)
31 else:
32     print("No se encontraron soluciones")
```

Este código es la manera de cómo utilizamos la biblioteca roboticstoolbox para calcular la cinemática inversa de un robot teniendo en cuenta la tabla de Denavit-Hartenberg (DH) y la biblioteca spatialmath para manipulaciones espaciales como la creación de matrices de transformación homogénea.

- import numpy as np: Importa la biblioteca NumPy bajo el nombre np, es comúnmente utilizada para operaciones matriciales y numéricas en Python.
- from roboticstoolbox import DHRobot, RevoluteDH: Importa la clase DHRobot y RevoluteDH desde la biblioteca roboticstoolbox. Esta biblioteca proporciona herramientas para trabajar con robots manipuladores, incluyendo cálculos de cinemática directa, inversa, y simulaciones.
- from spatialmath import SE3: Importa la clase SE3 desde la biblioteca spatialmath, que se utiliza para representar transformaciones espaciales.
- Se definen los parámetros del robot: L1, L2 y L3, que representan las longitudes de los eslabones del robot manipulador.
- Se define la estructura del robot utilizando los parámetros DH. Cada enlace se define como un objeto RevoluteDH, que especifica los parámetros Denavit-Hartenberg de cada eslabón del robot
- Se crea el objeto del robot robot utilizando la clase DHRobot, pasando la lista de enlaces creada anteriormente y asignándole un nombre.
- Se define la posición deseada del efecto final del robot utilizando una matriz de transformación homogénea (SE3). En este caso, se establece una posición específica (0.1, 0.2, 0.3) en el espacio tridimensional.
- Se calcula la cinemática inversa del robot para alcanzar la posición deseada utilizando el método ikine-LM() del objeto robot. Este método implementa un algoritmo de mínimos cuadrados para resolver la cinemática inversa.
- Se verifica si se encontraron soluciones para la cinemática inversa. Si ik-sol.success es True, significa que se encontraron soluciones y se imprimen; de lo contrario, se imprime un mensaje indicando que no se encontraron soluciones.

Básicamente este código muestra cómo definir la estructura de un robot manipulador utilizando parámetros Denavit-Hartenberg y calcular su cinemática inversa para alcanzar una posición deseada en el espacio tridimensional.

6 Análisis estructural

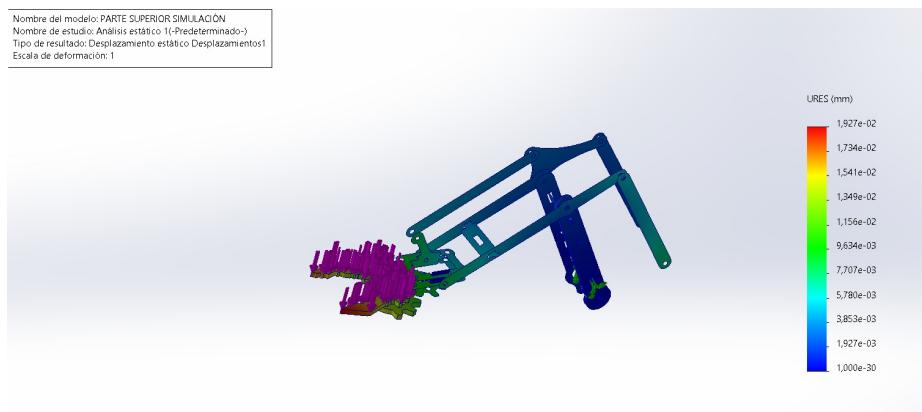
6.1 Tensión

Nombre del modelo: PARTE SUPERIOR SIMULACIÓN
Nombre de estudio: Análisis estático 1c-(Predeterminado)-
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1

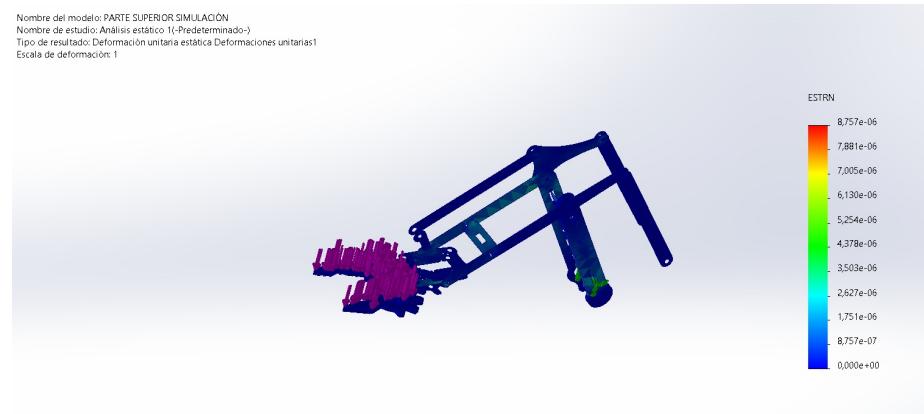


6.2 Desplazamiento

Nombre del modelo: PARTE SUPERIOR SIMULACIÓN
Nombre de estudio: Análisis estático 1c-(Predeterminado)-
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1



6.3 Deformación



6.4 Informe en SolidWorks

 Nombre del modelo: PARTE SUPERIOR SIMULACIÓN Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Enlèv. mat.-Extru.1	Sólido	Masa: 0,00154493 kg Volumen: 1,28745e-06 m^3 Densidad: 1.199,99 kg/m^3 Peso: 0,0151403 N	C:\Users\dayana marin\Desktop\UNIVERSIDAD\TRABAJO PRIMER SEMESTRE 2024\DISEÑO MECATRONICO\ROBOT FINAL 2\008.SLDPR ^T Jun 12 08:36:54 2024
Congé1	Sólido	Masa: 0,00157336 kg Volumen: 1,31114e-06 m^3 Densidad: 1.199,99 kg/m^3 Peso: 0,0154189 N	C:\Users\dayana marin\Desktop\UNIVERSIDAD\TRABAJO PRIMER SEMESTRE 2024\DISEÑO MECATRONICO\ROBOT FINAL 2\009.SLDPR ^T Jun 4 22:59:35 2024
Boss.-Extru.1	Sólido	Masa: 0,00179492 kg Volumen: 1,49576e-06 m^3 Densidad: 1.200 kg/m^3 Peso: 0,0175902 N	C:\Users\dayana marin\Desktop\UNIVERSIDAD\TRABAJO PRIMER SEMESTRE 2024\DISEÑO MECATRONICO\ROBOT FINAL 2\018.SLDPR ^T Jun 5 23:53:29 2024
Boss.-Extru.1	Sólido	Masa: 0,00383998 kg Volumen: 3,1999e-06 m^3 Densidad: 1.200 kg/m^3 Peso: 0,0376318 N	C:\Users\dayana marin\Desktop\UNIVERSIDAD\TRABAJO PRIMER SEMESTRE 2024\DISEÑO MECATRONICO\ROBOT FINAL 2\029.SLDPR ^T Jun 4 23:05:33 2024

Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Análisis estático 1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla mixta
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\dayana marin\Desktop\UNIVERSIDAD\TRABAJO PRIMER SEMESTRE 2024\DISEÑO MECATRONICO\para simular)

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	3,43239e-06	7,2876e-07	0,00499745	0,00499745
Momento de reacción(N.m)	-7,56327e-05	0,000652703	-3,90134e-05	0,000658227

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 0,005 N

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	3,43239e-06	7,2876e-07	0,00499745	0,00499745

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-7,56327e-05	0,000652703	-3,90134e-05	0,000658227

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	1,60071e-07	-2,02097e-07	-2,28104e-06	2,29556e-06

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-8,95992e-05	0,00070352	-2,86989e-05	0,000709783

7 BOM y Planificación de Fabricación

N.º de Elemento	Nombre	Material	Cantidad
1	Base	Acrílico	1
2	Tornillo M3 x 30	-	4
3	Tornillo M3 x 8	-	30
4	Tuerca M3	-	11
5	Base	Acrílico	1
6	Servomotor SG90	-	4
7	Base	Acrílico	1
8	Brazo Servo	Plástico	4
9	Tornillo M2 x 8	-	1
10	Tornillo M2 x 4	-	3
11	Soporte	Acrílico	1
12	Soporte	Acrílico	2
13	Soporte	Acrílico	2
14	Brazo Servo	Plástico	4
15	Articulación	Acrílico	1
16	Soporte	Acrílico	1
17	Soporte	Acrílico	1
18	Soporte	Acrílico	1
19	Soporte	Acrílico	1
20	Articulación	Acrílico	1
21	Articulación	Acrílico	1
22	Soporte	Acrílico	1
23	Soporte	Acrílico	1
24	Soporte	Acrílico	1
25	Soporte	Acrílico	1
26	Articulación	Acrílico	1
27	Articulación	Acrílico	1
28	Soporte	Acrílico	1
29	Soporte	Acrílico	1
30	Brazo Servo	Plástico	4
31	Brazo Servo	Plástico	4
32	Articulación	Acrílico	1
33	Soporte	Acrílico	1
34	Soporte	Acrílico	1
35	Articulación	Acrílico	1
36	Soporte	Acrílico	2
37	Soporte	Acrílico	1

7.1 Estrategia de Fabricación Basada en Diseño y Material

Para la fabricación del brazo robótico, se ha elegido estratégicamente el uso de acrílico y plástico como materiales principales. Este enfoque se basa en las propiedades específicas de estos materiales y en las necesidades del diseño del robot.

7.1.1 Selección de Material

Acrílico: Este material se usa principalmente para las bases, soportes y articulaciones debido a su rigidez, transparencia y facilidad de corte con láser. Estas propiedades permiten una alta precisión en la fabricación de piezas complejas y una buena resistencia estructural.

Plástico: Utilizado para las piezas de los brazos servo, el plástico es ligero y tiene suficiente resistencia para soportar el movimiento y la carga de los servomotores SG90. Además, permite un ensamblaje sencillo y seguro con los servos.

7.1.2 Técnicas de Fabricación

Corte Láser: El acrílico es cortado con precisión usando láser, lo que asegura bordes limpios y medidas exactas. Esta técnica es ideal para la fabricación de piezas planas con detalles intrincados.

Moldeo por Inyección o Impresión 3D: El plástico de los brazos servo puede ser fabricado mediante moldeo por inyección para producción en masa, o impresión 3D para prototipos y series pequeñas, permitiendo una fabricación flexible y adaptada a cambios de diseño.

7.1.3 Idoneidad del Material

La combinación de acrílico y plástico proporciona una estructura robusta y ligera, ideal para aplicaciones de robótica educativa y de investigación. Además, ambos materiales son relativamente económicos y ampliamente disponibles, lo que facilita la producción y el mantenimiento del robot.

8 Diseño de Sistemas de Control

El ideal de controlar este brazo robótico es por medio de un código que nos permite conectar visualstudio con arduino para manejar el brazo por medio de una cámara que detecta el movimiento de nuestros gestos. El elemento principal que se encarga de esta orquestación es el arduino uno, que con sus múltiples capacidades de procesamiento nos permite esto.

9 Programación

9.1 Arduino

```
delay(450);
servo2.write(120);
delay(450);
servo3.write(180);
delay(450);
servo4.write(0);
delay(450);

}

void loop() {
{
int longitud = 0;
if (miBT.available())
{
    car = miBT.read();
    if (car == 'x') { //x marca el fin del numero enviado via BT
        encode = true;
    }
    else
    {
        incode = (incode + car);
    }
}

if (encode) {
    longitud = incode.length();
    char sel = incode.charAt(0); // a, b, c ó d
    num1 = incode.charAt(1); // centena de los grados
    num2 = incode.charAt(2); // decena de los grados
    num3 = incode.charAt(3); // unidad de los grados

    if (longitud == 4) { // p.e. a180, se resta 48 para ajustar el ASCII a un numero
        num = (num1 - 48) * 100 + (num2 - 48) * 10 + num3 - 48;
    }
}

#include <Servo.h>
#include <SoftwareSerial.h>
Servo servo1; //base
Servo servo2; //brazo
Servo servo3; //antebrazo
Servo servo4; //pinza
SoftwareSerial miBT(6, 7); // rx, tx
int pinservo1 = 8;
int pinservo2 = 12;
int pinservo3 = 10;
int pinservo4 = 11;
char car; //caracter recibido vía BT
String incode = ""; //código recibido
boolean encode = false; //fin del recepción

long num1 = 0; //centena 100 grados
long num2 = 0; //decena 10-90 grados
long num3 = 0; //unidad 0-9 grados
long num = 0; //numero recibido 0-180 grados: num1+num2+num3

void setup(){
servo1.attach(pinservo1);
servo2.attach(pinservo2);
servo3.attach(pinservo3);
servo4.attach(pinservo4);
pinMode(pinservo1, OUTPUT); //0 pinza cerrada --> 180 pinza abierta
pinMode(pinservo2, OUTPUT);
pinMode(pinservo3, OUTPUT);
pinMode(pinservo4, OUTPUT);
miBT.begin(9600);
delay(2000);

servo1.write(90);
```

```

        }
        if (longitud == 3) { // p.e. c94
            num = (num1 - 48) * 10 + num2 - 48;
        }
        if (longitud == 2) { // p.e. d5
            num = num1 - 48;
        }

        switch (sel) //incode.charAt(0); // a, b, c ó d
        {
            case 'a':
                servo4.write(num); //mueva servo 4 los grados recibidos
                car = '0';
                incode = "";
                encode = false;
                delay(200);
                break;
            case 'b':
                servo3.write(num); //mueva servo 3 los grados recibidos
                car = '0';
                incode = "";
                encode = false;
                delay(200);
                break;
            case 'c':
                servo2.write(num); //mueva servo 2 los grados recibidos
                car = '0';
                incode = "";
                encode = false;
                delay(200);
                break;
            case 'd':
                servo1.write(num); //mueva servo 1 los grados recibidos
                incode = "";
                encode = false;
                delay(200);
                break;
            case 'c':
                servo2.write(num); //mueva servo 2 los grados recibidos
                car = '0';
                incode = "";
                encode = false;
                delay(200);
                break;
            case 'd':
                servo1.write(num); //mueva servo 1 los grados recibidos
                car = '0';
                incode = "";
                encode = false;
                delay(200);
                break;
        }
    }
}

```

10 Conclusión

- La elección de acrílico y plástico para la fabricación del brazo robótico no solo garantiza un equilibrio óptimo entre rigidez y ligereza, sino que también permite una producción eficiente y precisa de los componentes necesarios, asegurando así la funcionalidad y durabilidad del robot.
- Los robots 4 DOF tienen un gran potencial para transformar diversas industrias y mejorar la calidad de vida de las personas. Al explorar y aplicar las funcionalidades mencionadas, y al continuar innovando en el campo de la robótica, podemos crear robots 4 DOF que sean más versátiles, capaces y beneficiosos para la sociedad.
- La integración de nuevas tecnologías y la adaptación de soluciones inspiradas en la naturaleza y la investigación académica contribuirán al desarrollo continuo de estos dispositivos, ampliando su alcance y efectividad en múltiples campos.

References

- [1] RobotShop. (s/f). Brazo Robótico Lynxmotion SES V2 - 4 DOF con Servos Inteligentes Instalados. Recuperado de <https://eu.robotshop.com/es/products/brazo-robotico-lynxmotion-ses-v2-4-dof-c-servos-inteligentes-instalados>
- [2] Bonga. (s/f). Título del recurso. Recuperado de <https://bonga.unisimon.edu.co/items/75d069f2-09df-4c66-84f3-260ae24a93ce>
- [3] Autor, A. (Año). Título del artículo. *Nombre de la revista, volumen*(número), páginas. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372015000200008&script=sci_arttext
- [4] Quanser. (s/f). Título del recurso. Recuperado de <https://www.quanser.com/>
- [5] Solectroshop. (s/f). Título del recurso. Recuperado de <https://solectroshop.com/es/>
- [6] Lynxmotion. (s/f). Título del recurso. Recuperado de <https://www.lynxmotion.com/>
- [7] igus. (s/f). Título del recurso. Recuperado de <https://www.igus.es/info/articulated-robot>