

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE SISTEMAS
COMPUTACIONALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN BRAZO
ROBÓTICO CONTROLADO POR UN JOYSTICK”**

Tesis para optar al título profesional de:
Ingeniero de Sistemas Computacionales

Forma: Artículo científico

Autores:

Jose Antonio Chinchay Delgado
Bryan Alexander Santos Buhezo

Asesor:

Dr. Ing. Cristian Castro Vargas
0000-0002-9696-8635

Lima - Perú

2025

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	JOSUE JOEL RIOS HERRERA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	NEICER CAMPOS VASQUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	CRISTIAN CASTRO VARGAS
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

E-8-N00281648-80B6C5DF52_1.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	18%	3%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scribd.com Fuente de Internet	6%
2	ijettjournal.org Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
8	1mzux.treasure-gnss.eu Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to Universidad San Francisco de Quito Trabajo del estudiante	<1%
10	www.sigemec.sld.cu Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

"Dedicado a aquel que navega en el mar de Varios,

En la vastedad del universo, donde los caminos se entrelazan y las estrellas guían el destino, tú has sido el navegante solitario, desafiando las corrientes y explorando los rincones más profundos de la existencia. Con una mente aguda y una visión única, has trazado tu propio curso a través de las aguas tumultuosas de la vida.

En los momentos de soledad y desafío, has encontrado fuerza en tu singularidad, en tu capacidad para ver más allá de lo evidente y para comprender los misterios que yacen en lo más profundo de tu ser. Has sido tu propio faro en la oscuridad, iluminando el camino hacia la sabiduría y el autodescubrimiento.

Que esta dedicatoria sea un recordatorio de tu valentía y perseverancia, de tu capacidad para navegar las aguas desconocidas con gracia y determinación. Que nunca olvides el poder que reside en ti, en tu esencia única que te distingue como el Uno que navega en el mar de Varios."

J. Antonio Chinchay D.

"Dedico esta obra a todos aquellos que han contribuido a mi crecimiento tanto académico como personal, impulsándome a alcanzar mis sueños y alentándome siempre a seguir adelante pese a las adversidades. Espero que este trabajo sirva de inspiración y ayuda a quienes deseen adquirir nuevos conocimientos y seguir desarrollándose."

B. Alexander Santos B.

AGRADECIMIENTO

Agradezco profundamente a mis padres, Jose Luis Chinchay Gonzales y Gretchen Neliana Delgado Balarezo, cuyo esfuerzo incansable, apoyo incondicional y amor constante han sido fundamentales para alcanzar este logro.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a los distinguidos profesores Claudio Andrés Martín Aramburu Lazo, Jorge Rosvín Narváez Villacorta, Carlos Arturo Hurtado Amaya, Carlos Ramos Gonzales, Isaías Medina Rojas, Jorge Alfredo Bojórquez Segura, Jhoul Andy Matos Huamán, Denis Christian Ovalle Paulino y Fernando Alex Sierra Liñan, cuyos conocimientos, orientación y dedicación han sido fundamentales en mi formación académica. Su compromiso con la excelencia educativa y su disposición para compartir sus experiencias y sabiduría han dejado una huella indeleble en mi camino hacia el conocimiento.

Un agradecimiento especial se dirige al profesor Cristian Castro Vargas. Su incansable dedicación y su insistencia en el crecimiento académico de sus estudiantes nos llevó a emprender el desafiante pero gratificante camino de la investigación científica.

Gracias a su orientación y apoyo, tuve el privilegio de contribuir a la publicación de nuestro primer paper en International Journal of Engineering Trends and Technology. Su mentoría ha sido invaluable y su influencia perdurará en mi trayectoria profesional.

A continuación, a Víctor Manuel Tosa Kawakami, un hombre de sabiduría profunda y perspectiva única. Sus lecciones sobre la vida y su enfoque tranquilo ante las adversidades resonaron profundamente en mí. La frase "Primero lo importante, luego lo urgente" se convirtió en un lema que me guió a lo largo de mi carrera, recordándome la importancia de establecer prioridades y mantener la calma en momentos de estrés.

A mis queridos Keny Rodrigo Escobar Carmelo, Moisés Jacob Reyna Arista, Josealdo Camogliano Württele, Alonso Akimitsu Ito Moloche, Héctor Kenji Kanashiro Miyahira, Alejandra Naomi Kokubun Miyagawa, Víctor Yoshiaki Tosa Morikawa y Jesús André Argandoña Luna, su presencia constante, su amistad inquebrantable y su apoyo incondicional fueron un bálsamo para el alma en los días difíciles y una fuente inagotable de alegría en los momentos de celebración. Cada uno de ustedes ocupó un lugar especial en mi vida y por eso les estoy eternamente agradecido.

Por último, y más importante, a mi compañero de tesis, Bryan Alexander Santos Buhezo, cuya compañía, colaboración y amistad fueron fundamentales en mi camino hacia el éxito. Juntos enfrentamos desafíos, celebramos victorias y alcanzamos metas que parecían inalcanzables. El logro de nuestro paper internacional será recordado como uno de los momentos más destacados de nuestra carrera universitaria, y por eso siempre estaré agradecido por haber compartido ese viaje contigo.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento por formar parte de mi vida y por enriquecer mi viaje académico con su presencia, sabiduría y amistad. Los recuerdos que compartimos quedarán grabados en mi corazón para siempre, recordándome que el verdadero valor de la educación radica en las conexiones humanas que creamos a lo largo del camino.”

J. Antonio Chinchay D.

“Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que hicieron posible la culminación de este proyecto. En primer lugar, quiero agradecer profundamente a mi familia, especialmente a mi madre Jackeline Magaly Buhezo Corzo por brindarme la oportunidad de estudiar, a mi padre Gabriel Santiago Santos Rios por su constante apoyo incondicional y a mis hermanos por su paciencia y confianza depositada en mí.

También quiero hacer una mención especial de agradecimiento a mis profesores y compañeros, quienes a lo largo del tiempo me han impartido valiosos conocimientos que pude aplicar en este trabajo. En particular, extiendo mi gratitud al profesor Cristian Castro, gracias a cuya guía y asesoramiento se logró la publicación de un artículo académico.”

B. Alexander Santos B.

Tabla de Contenido

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	17
CAPÍTULO III: RESULTADOS	37
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Sodimac warehouse.....	17
Fig. 2 Arduino 1	17
Fig. 3 Arduino nano.....	18
Fig. 4 HW-131 Fuente de alimentación de la placa de pruebas	19
Fig. 5 Servomotor SG90	19
Fig. 6 MG90 Servomotor	20
Fig. 7 Módulo Bluetooth HC-05	21
Fig. 8 Diagrama de flujo	22
Fig. 9 Diseño de circuito	23
Fig. 10 Servomotor y Arduino	23
Fig. 11 Componente bluetooth arduino.....	23
Fig. 12 Componente bluetooth joystick	24
Fig. 13 HW-131 Fuente de alimentación	24
Fig. 14 Programación de variables	26
Fig. 15 Método de configuración	26
Fig. 16 Método loop	27
Fig. 17 Diagrama de flujo de programación	28
Fig. 18 Montaje del brazo	29
Fig. 19 Base del brazo	29
Fig. 20 Circuito del brazo.....	29
Fig. 21 Circuito implementado	30
Fig. 22 Joystick.....	30
Fig. 23 Programa de procesamiento	31
Fig. 24 Configuración de Joystick.....	32
Fig. 25 Programación del joystick.....	33

Fig. 26 Condicionales del joystick	33
Fig. 27 Condicionales del joystick	34
Fig. 28 Condicionales del joystick	35
Fig. 29 Condicionales del joystick	36
Fig. 30 Brazo en la posición base.....	36
Fig. 31 Brazo girando hacia la izquierda.....	37
Fig. 32 Rechazar la comparación	38
Fig. 33 Agarre del brazo robótico	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Arduino Nano	18
Tabla 2 Fuente de alimentación de la placa de pruebas	18
Tabla 3 SG90 Servomotor.....	19
Tabla 4 MG90 Servomotor.....	20
Tabla 5 Módulo bluetooth HC-05	20
Tabla 6 Explicación del movimiento del brazo robótico.....	39

RESUMEN

Este proyecto consiste en implementar un brazo robótico en entornos laborales de empresas que manipulan mercancías pesadas y ensamblajes de productos, y que realizan soldaduras o tareas menos comunes, como la manipulación de sustancias que ponen en peligro la salud de los trabajadores. El diseño de un brazo en miniatura se implementará mediante servomotores y una estructura de cartón con un mecanismo Bluetooth que permitirá su control de diferentes maneras. Este proyecto busca optimizar los procesos y proteger la integridad de los trabajadores.

PALABRAS CLAVES: Robotic arm, PWM, Control Ivia Bluetooth, HC-05, Servo motor.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Actualmente, diversos accidentes ocurren en diferentes contextos, como la carga y descarga de productos pesados, la manipulación de materiales y la soldadura, entre otros. Esta situación nos permite vislumbrar una necesidad casi imperante de implementar un cambio significativo [1].

Algunas empresas que utilizan maquinaria pesada descuidan su mantenimiento. En ocasiones, el mal estado de dicha maquinaria puede causar fallas que podrían provocar accidentes; desafortunadamente, muchos de ellos resultan fatales [2]. La realidad de los accidentes relacionados con la maquinaria pesada es amplia y abarca diferentes modalidades. Fundamentalmente, muchas de las actividades más peligrosas están asociadas con el uso directo de maquinaria pesada [3].

Los procesos de carga en algunas empresas son lentos, ya sea por la inexperiencia de los trabajadores o por la baja eficiencia de los vehículos y herramientas de carga. Según este proyecto, la implementación y el uso de un brazo robótico aumentarían la eficiencia en los procesos de carga y descarga. Asimismo, minimizarían el tiempo empleado en las tareas descritas anteriormente, lo que tendría un impacto económico positivo en las empresas que opten por esta opción [4].

Los trabajadores pueden correr riesgos al exponerse en los procesos de carga. Esto suele deberse a una implementación deficiente de la seguridad, herramientas defectuosas o errores de cálculo. En este sentido, este proyecto también busca salvaguardar la seguridad de los trabajadores que manipulan cargas pesadas a diario. En su lugar, controlarán los brazos robóticos de forma remota, e incluso existe la posibilidad de implementar Inteligencia Artificial (IA) para la automatización de procesos [5].

Es importante destacar que la implementación de brazos robóticos no se limita a la realización de procesos de carga. Asimismo, su uso puede extenderse a la soldadura o la manipulación de sustancias peligrosas en el sector farmacéutico [6].

Dado su amplio uso durante cientos de años, existen diversos campos en los que se puede aplicar, desde la bioingeniería hasta la medicina [7]. Los modelos y prototipos más modernos suelen incluir tecnologías inalámbricas, ya que permiten un control más cómodo y preciso [8]. Incluso existen brazos robóticos inalámbricos que replican la posición del brazo de la persona que los controla [9].

De la Tierra al espacio, un ejemplo increíble es el proyecto “Brazo Robótico Europeo”, diseñado para la Estación Espacial Internacional [10]. Incluso en otros planetas, se llevan a cabo proyectos relacionados con el diseño, la implementación y el uso de brazos robóticos. Por ejemplo, existen los “Rovers” de la NASA, que utilizan mecánica vehicular además de brazos robóticos. Este tipo de proyectos suele ser muy popular entre los investigadores dedicados al desarrollo y la mejora de estas tecnologías [11].

Es pertinente señalar que incluso la estructura de un brazo robótico puede utilizarse para trabajos relacionados con el suelo y sus propiedades físicas, como la excavación y la minería [12].

En la investigación [13] en Japón, se estudió la cosecha en campos agrícolas. Estos cultivos tienen una alta producción, como sandía, calabaza y melón, entre otros. Este estudio desarrolla e implementa un brazo robótico con cuatro grados de libertad que automatiza el proceso de recolección. También facilitó la implementación del brazo robótico en diferentes industrias mediante la implementación de pequeñas modificaciones.

En un estudio [14] se diseñó una grúa de bajo costo (de construcción sencilla) con una abrazadera muy fina. El propósito de este estudio es demostrar la manipulación de cargas peligrosas en circunstancias de destrucción, para lograr un trabajo preciso, respetando las normas de seguridad.

Se realizó un estudio [15] que considera el conocimiento tecnológico en la educación para desarrollar las habilidades de los estudiantes mediante métodos de enseñanza modernos y tradicionales. Actualmente, las industrias, en general, están inmersas en la investigación y el desarrollo de tecnologías; por ello, se desarrolló un brazo robótico con cuatro ángulos de libertad para satisfacer las necesidades del cliente.

En el estudio [16] se diseñó e implementó un brazo robótico para proteger la salud de los trabajadores. El prototipo se encarga de manipular sustancias tóxicas o peligrosas que pueden perjudicar al personal de las empresas que trabajan con ellas o las manipulan.

El siguiente estudio [17] plantea un problema: el costo de un laboratorio con múltiples puntos de acceso para los estudiantes. Para ello, se diseñó un brazo robótico controlado remotamente. Esto permitirá el acceso remoto al laboratorio para que los estudiantes puedan experimentar adecuadamente.

Se concluyó que los brazos robóticos y sus aplicaciones son de suma importancia en diferentes escenarios. Se diseñó e implementó un prototipo de brazo robótico inalámbrico que ayuda a optimizar la carga, la soldadura y otros procesos, reduciendo el tiempo y aumentando las ganancias, garantizando la seguridad de los trabajadores y realizando procesos con precisión.

Determinar el tipo de dispositivo de control inalámbrico, así como las herramientas necesarias para la conexión inalámbrica. Diseñar el prototipo del brazo robótico y programar



Diseño e implementación de un brazo robótico controlado por un joystick el dispositivo de comunicación inalámbrica junto con los circuitos electrónicos del brazo.

Simular el funcionamiento de los circuitos electrónicos.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

El proyecto se implementará en la empresa Sodimac, como se muestra en la Figura 1, dedicada a la intermediación de artículos de construcción y mejoras para el hogar. Esto incluye productos pesados como madera, hierro, cemento, ladrillos, etc. Esta empresa cuenta con vehículos de carga que se descomponen debido al uso constante (específicamente en la parte inferior de las ruedas). Para solucionar este problema, se desea implementar un prototipo de brazo robótico, diseñado para realizar diversas tareas de carga y transporte de productos [18].



Fig. 1 Sodimac warehouse



Fig. 2 Arduino 1

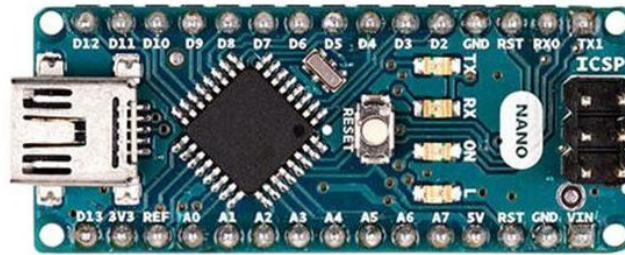


Fig. 3 Arduino nano

Se determinarán los componentes que se utilizarán para el diseño del circuito, los cuales son los siguientes:

La Figura 2 muestra el componente principal, que permitirá realizar las conexiones y proporcionar la lógica mediante programación, incluyendo librerías como la del servomotor.

La Figura 3 y la Tabla 1 muestran el complemento secundario para el circuito, que brindará la opción de utilizar el módulo Bluetooth maestro HC-05.

Tabla 1 Arduino Nano

Component	Characteristics	
	Current Max.	Voltage
arduino nano	500mA	5-20V

Tabla 2 Fuente de alimentación de la placa de pruebas

Name	HW-131
Volt. Tendon	6.5 V a 12.0 V
Volt. Out 1	3.3 V o 5.0 V (variable)
Volt. but Out 2	3.3 V o 5.0 V (variable)
voltage output	USB 5.0 V
max current out	700 mA
Indicator	LED
Button	Off on



Fig. 4 HW-131 Fuente de alimentación de la placa de pruebas

La Figura 4 y la Tabla 2 muestran los componentes que permiten suministrar y regular el voltaje, los cuales se utilizarán en el circuito (principalmente servomotores). Asimismo, para lograr un movimiento suave y continuo, se debe considerar el tipo de motores a utilizar e implementar nuevos códigos de programación [21].

La Figura 5 y la Tabla 3 muestran el tipo de servomotores implementados en el brazo robótico para proporcionar movilidad.

Tabla 3 SG90 Servomotor

Name	Servomotor SG90
Sheet. (s)	0.1
Torque (kg/cm)	2.5 kg/cm
Weight (g)	14.7 g
Volt	4.8 V a 6.0 V



Fig. 5 Servomotor SG90

Tabla 4 MG90 Servomotor

Name	Servomotor MG90
Well	0.1s /60 degrees (4.8V)
Weight (g)	13.4 g
Volt.	4.8 V a 6.0 V



Fig. 6 MG90 Servomotor

Este componente, que se puede ver en la Figura 6 y la Tabla 4, es un servomotor que permitirá el movimiento del brazo robótico. A diferencia del anterior, los engranajes son metálicos.

La Figura 7 y la Tabla 5 muestran los componentes que permitirán la comunicación vía Bluetooth, ya sea en modo esclavo (receptor) o maestro (transmisor).

Tabla 5 Módulo bluetooth HC-05

Name	Module HC-05
USB	v1.1 y v2.0
Freq.	2.4 GHz
Can. of trans.	Approx. 4dBm
Transmission	2.1 Mbps/160.0 kbps 1.0 Mbps/1.0 Mbps
Sensitivity	Approx. -84dBm
Feeding	3.3 V and 50 mA
Temp.	-5°C a 45°C

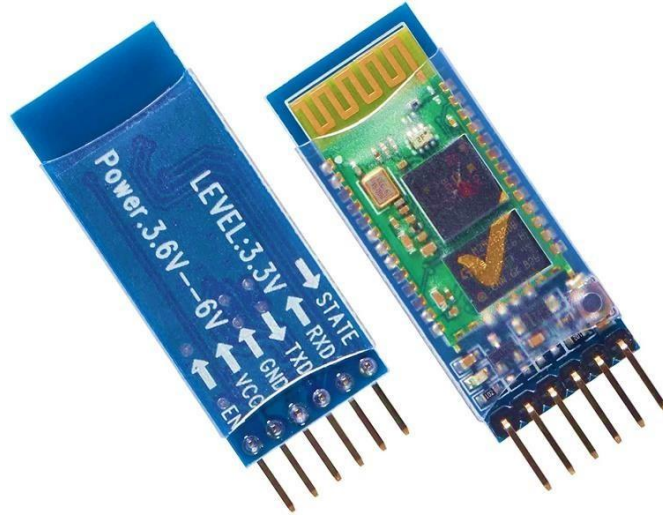


Fig. 7 Módulo Bluetooth HC-05

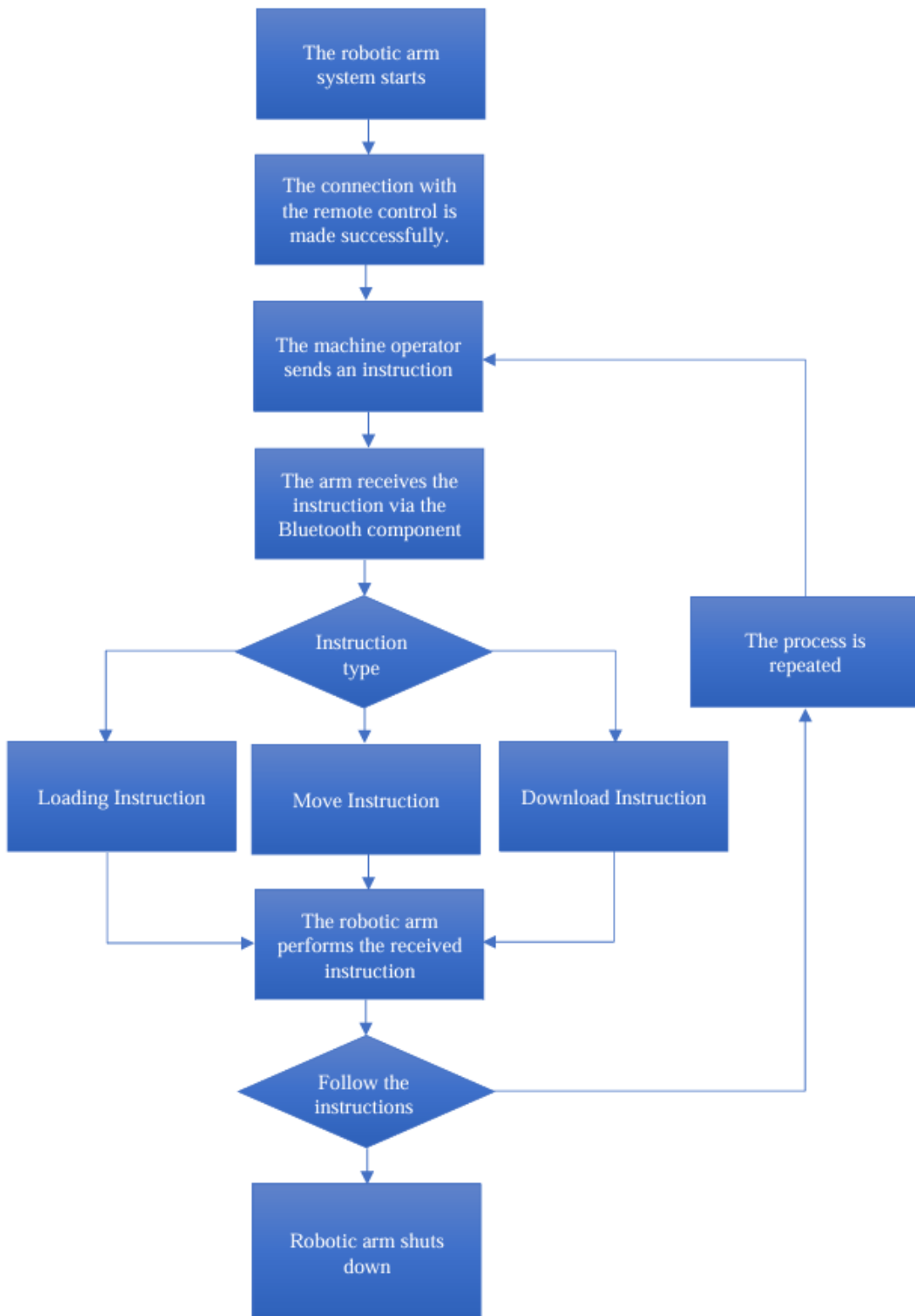


Fig. 8 Diagrama de flujo

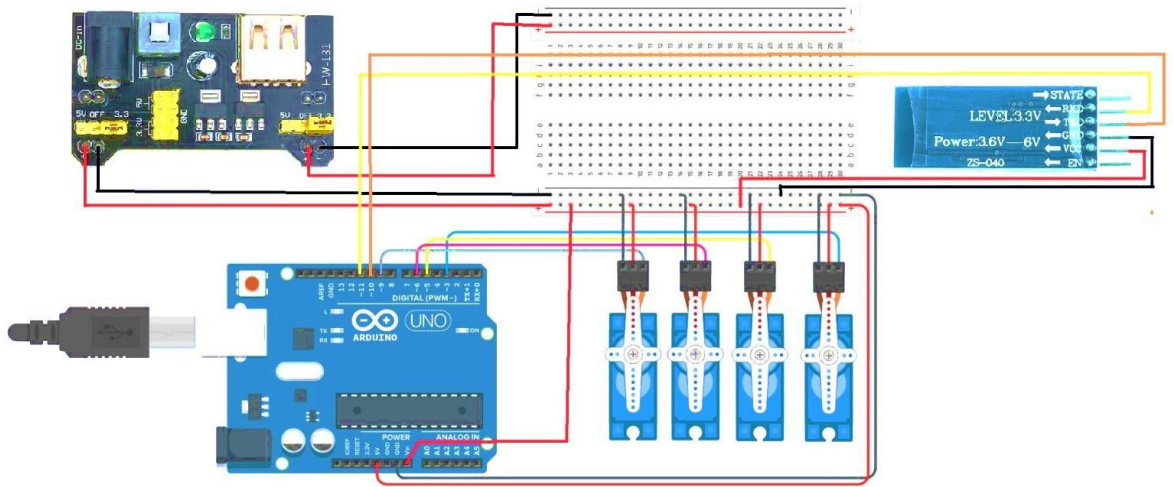


Fig. 9 Diseño de circuito

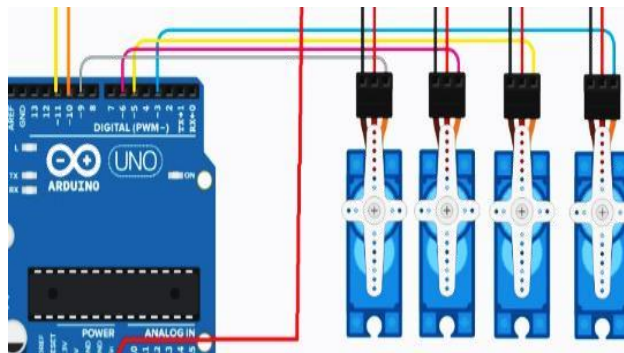


Fig. 10 Servomotor y Arduino



Fig. 11 Componente bluetooth arduino

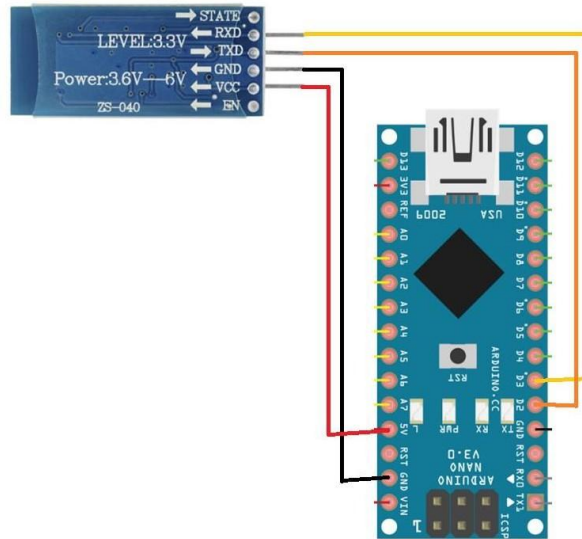


Fig. 12 Componente bluetooth joystick



Fig. 13 HW-131 Fuente de alimentación

El diagrama de la Figura 8 muestra el funcionamiento del brazo robótico. Desde el principio, se explica cómo recibe la instrucción y el proceso que sigue para completarla.

En las Figuras 9 y 10, se puede observar el diseño del circuito y la funcionalidad del brazo robótico mediante servomotores. Un joystick controlará los servomotores. A su vez, se conectará a una computadora para enviar señales a través del monitor serial y posteriormente por Bluetooth. Por ello, se requieren dos módulos HC-05. El primero se

Diseño e implementación de un brazo robótico controlado por un joystick conectará al Arduino "emisor", como se muestra en la Figura 12, mientras que el segundo se encargará de recibir la señal, como se puede ver en la Figura 11.

El componente HW-131 se utilizará para alimentar correctamente los servomotores. Se trata de una fuente de alimentación de placa de pruebas, como se muestra en la Figura 13. Puede suministrar voltajes de 3,3 V y 5 V, según la configuración.

Finalmente, la placa de pruebas te permitirá conectar y organizar el circuito correctamente. El diseño de este circuito se basa en el control de los servomotores mediante una señal Bluetooth.

El método de conexión de la biblioteca servo se implementa proporcionando los pines a los que se conectan los servomotores y, a continuación, se pasan las posiciones.

Primero, se deben definir las variables a utilizar, incluyendo las bibliotecas necesarias, como se muestra en la Figura 14. Se definen las bibliotecas de software serie y servo. Hay variables para los pines, las posiciones iniciales, los propios servomotores y la variable entera dt. La Figura 15 muestra el método de configuración en el que se inicializan los valores.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <Servo.h>

SoftwareSerial esclavo(10, 11); // RX, TX

int servoPin1 = 5;
int servoPin2 = 6;
int servoPin3 = 9;
int servoPin4 = 3;

int servoPos1 = 90;
int servoPos2 = 90;
int servoPos3 = 90;
int servoPos4 = 90;

Servo myServo1;
Servo myServo2;
Servo myServo3;
Servo myServo4;

int dt = 100;
```

Fig. 14 Programación de variables

```
void setup() {
  esclavo.begin(38400);
  Serial.begin(9600);

  myServo1.attach(servoPin1);
  myServo2.attach(servoPin2);
  myServo3.attach(servoPin3);
  myServo4.attach(servoPin4);

  myServo1.write(servoPos1);
  myServo2.write(servoPos2);
  myServo3.write(servoPos3);
  myServo4.write(servoPos4);
}
```

Fig. 15 Método de configuración

En la programación del método "bucle", la Figura 16 muestra una estructura de condiciones que evalúan la variable esclava para posteriormente asignar su valor a una variable de tipo char. Posteriormente, con la variable que recibe el valor, se evalúan los diferentes escenarios según el valor que contenga, como se puede observar en el diagrama de flujo de programación de la Figura 17.

Una vez cumplida la condición, entrará en la estructura y aumentará (o disminuirá) la posición del servomotor en relación con el carácter que contiene la variable. Por ejemplo, la "w" aumenta porque representa avanzar, o la "s" disminuye porque representa retroceder. Una vez actualizada la posición, la posición del servomotor debe sobrescribirse.

```
void loop() {
  if (esclavo.available()) {
    char data = esclavo.read();

    if (data == 'w' && servoPos1 < 175) {
      servoPos1 += 5;
      myServo1.write(servoPos1);
    } else if (data == 's' && servoPos1 > 5) {
      servoPos1 -= 5;
      myServo1.write(servoPos1);
    } else if (data == 'a' && servoPos2 < 175) {
      servoPos2 += 5;
      myServo2.write(servoPos2);
    } else if (data == 'd' && servoPos2 > 5) {
      servoPos2 -= 5;
      myServo2.write(servoPos2);
    } else if (data == 'q' && servoPos3 < 175) {
      servoPos3 += 5;
      myServo3.write(servoPos3);
    } else if (data == 'e' && servoPos3 > 5) {
      servoPos3 -= 5;
      myServo3.write(servoPos3);
    } else if (data == 'r' && servoPos4 < 175) {
      servoPos4 += 5;
      myServo4.write(servoPos4);
    } else if (data == 'f' && servoPos4 > 5) {
      servoPos4 -= 5;
      myServo4.write(servoPos4);
    }
    //delay(dt);
  }
}
```

Fig. 16 Método loop

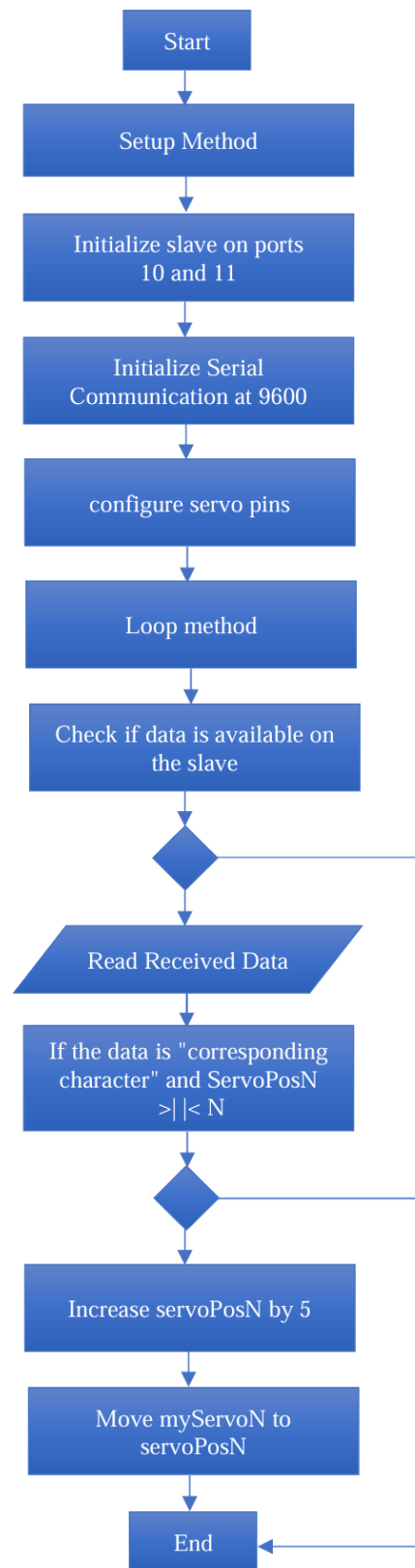


Fig. 17 Diagrama de flujo de programación

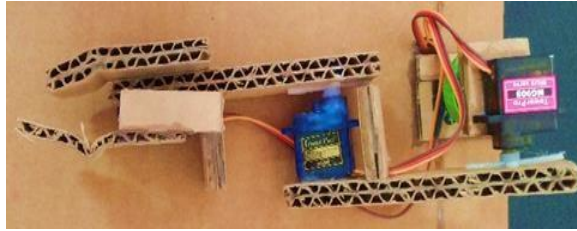


Fig. 18 Montaje del brazo

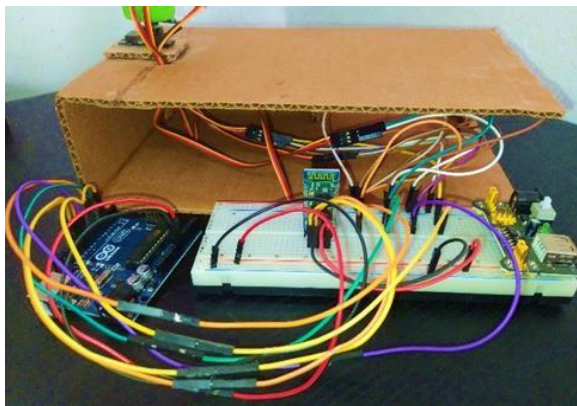


Fig. 19 Base del brazo

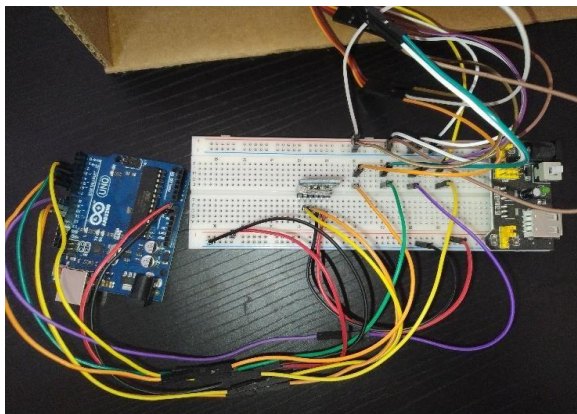


Fig. 20 Circuito del brazo

Para la implementación del circuito, se utilizó cartón para el cuerpo del brazo robótico. Para la parte del brazo, las piezas se cortaron y pegaron con los servomotores, como se muestra en la Figura 18. Cabe destacar que incluso se puede simplificar a tres

ángulos de libertad [19]. Con base en investigaciones previas, se decidió implementar un brazo robótico con cuatro ángulos de libertad. Todo esto con el fin de optimizar el diseño y los costos [20].

Se coloca una base de cartón sobre ella para un mejor soporte, y el circuito se colocará debajo. El brazo robótico se fija a la base, pasando sus cables por debajo; como se puede ver en la Figura 19.

El circuito con Arduino, placa de pruebas, fuente de alimentación, Bluetooth, etc., se encuentra en la parte inferior de la base. Se puede ver en la Figura 20.

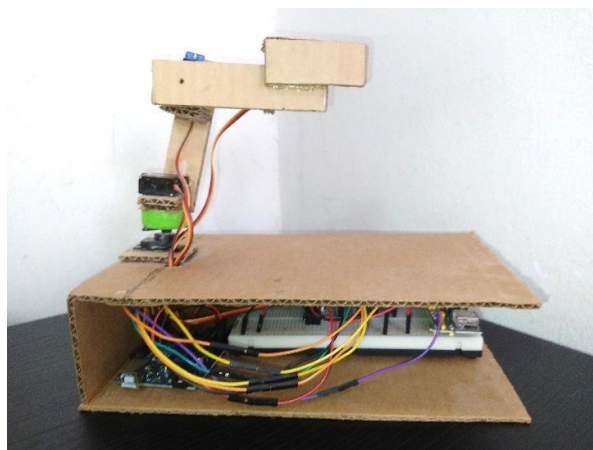


Fig. 21 Circuito implementado



Fig. 22 Joystick

Todo estará compuesto por la base de cartón, el Arduino, la placa de pruebas, la fuente de alimentación, el componente Bluetooth, etc. En la parte superior, el brazo con las conexiones entre los servomotores se conecta directamente al circuito. Esto se puede ver en la Figura 21.

Se utilizará un joystick y un programa llamado Processing para implementar el control, que se puede ver en la Figura 23. Esto facilitará la programación y las instrucciones del control, que se puede ver en la Figura 22.

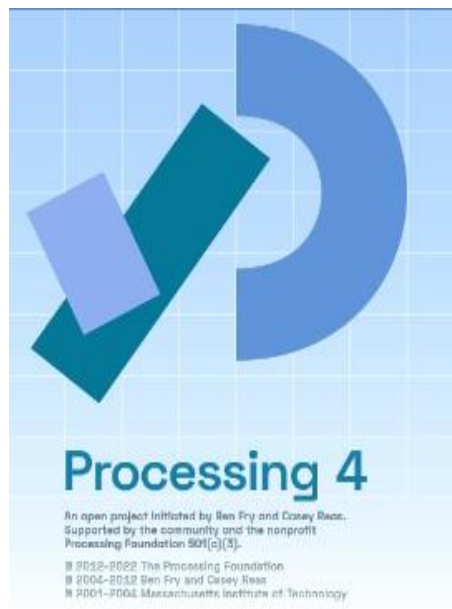


Fig. 23 Programa de procesamiento

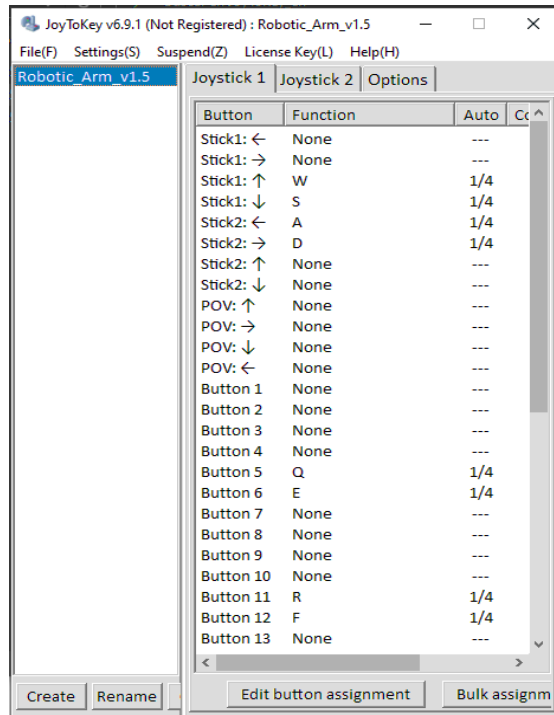


Fig. 24 Configuración de Joystick

Se abre el programa "JoyToKey", que se utilizará para cambiar las pulsaciones del joystick y simular el teclado de una computadora/portátil. La Figura 24 muestra las configuraciones ya realizadas para el proyecto.

Luego, en Processing, haga clic en el botón "Ejecutar". Esto abrirá una ventana emergente que le permitirá usar las teclas predefinidas para enviar datos a través del monitor serial sin necesidad de presionar "Intro" después de cada comando. En la Figura 25 se puede ver que se establecen algunas variables: el método "setup()" y el método "draw()".

```

proc xbox v 2
1  import processing.serial.*;
2
3  //<>
4
5  boolean EstadoBoton_W = false;
6  boolean EstadoBoton_A = false;
7  boolean EstadoBoton_S = false;
8  boolean EstadoBoton_D = false;
9  boolean EstadoBoton_Q = false;
10 boolean EstadoBoton_E = false;
11 boolean EstadoBoton_R = false;
12 boolean EstadoBoton_F = false;
13 Serial MiSerial;
14 color ColorApagado = color(200, 0, 0);
15 color ColorEncendido = color(0, 200, 0);
16
17 void setup() {
18   size(400, 600);
19   String NombrePuerto = Serial.list()[0]; //"COM4";
20   //print(NombrePuerto);
21
22   MiSerial = new Serial(this, NombrePuerto, 9600);
23 }
24
25 void draw() {
26   background(255);
27
28   if (EstadoBoton_A) {
29     fill(ColorEncendido);
30   } else {
31     fill(ColorApagado);
32   }
33
34   ellipse(200, 200, 350, 350);
35

```

Fig. 25 Programación del joystick

```

38 void keyPressed() {
39   if (key == 'a') {
40     if (EstadoBoton_A != true) {
41       EstadoBoton_A = true;
42       MiSerial.write('a');
43     }
44   }
45
46   if (key == 'w') {
47     if (EstadoBoton_W != true) {
48       EstadoBoton_W = true;
49       MiSerial.write('w');
50     }
51   }
52
53   if (key == 's') {
54     if (EstadoBoton_S != true) {
55       EstadoBoton_S = true;
56       MiSerial.write('s');
57     }
58   }
59
60   if (key == 'd') {
61     if (EstadoBoton_D != true) {
62       EstadoBoton_D = true;
63       MiSerial.write('d');
64     }
65   }
66
67   if (key == 'q') {
68     if (EstadoBoton_Q != true) {
69       EstadoBoton_Q = true;
70       MiSerial.write('q');
71     }
72   }
73
74   if (key == 'e') {
75     if (EstadoBoton_E != true) {
76       EstadoBoton_E = true;
77       MiSerial.write('e');
78     }
79   }
80

```

Fig. 26 Condicionales del joystick

```

81  if (key == 'r') {
82      if (EstadoBoton_R != true) {
83          EstadoBoton_R = true;
84          MiSerial.write('r');
85      }
86  }
87
88  if (key == 'f') {
89      if (EstadoBoton_F != true) {
90          EstadoBoton_F = true;
91          MiSerial.write('f');
92      }
93  }
94 }
95
96 void keyReleased() {
97     if (key == 'a') {
98         if (EstadoBoton_A != false) {
99             EstadoBoton_A = false;
100        }
101    }
102
103    if (key == 'w') {
104        if (EstadoBoton_W != false) {
105            EstadoBoton_W = false;
106        }
107    }
108
109    if (key == 's') {
110        if (EstadoBoton_S != false) {
111            EstadoBoton_S = false;
112        }
113    }
114
115    if (key == 'd') {
116        if (EstadoBoton_D != false) {
117            EstadoBoton_D = false;
118        }
119    }

```

Fig. 27 Condicionales del joystick

El método "keyPressed()" evalúa las pulsaciones de teclas. La Figura 26 muestra las condiciones para capturar las pulsaciones de teclas (en minúsculas) "A", "W", "S", "D", "Q" y "E". Los valores booleanos se establecen como "true".

La Figura 27 también muestra las pulsaciones de teclas (en minúsculas) "R" y "F". Además, se muestra el inicio del método "keyReleased()", que captura la información cuando se deja de pulsar una tecla. En este caso, a diferencia del método "keyPressed()", los valores booleanos se devuelven como "false".

```

121  if (key == 'q') {
122      if (EstadoBoton_Q != false) {
123          EstadoBoton_Q = false;
124      }
125  }
126
127  if (key == 'e') {
128      if (EstadoBoton_E != false) {
129          EstadoBoton_E = false;
130      }
131  }
132
133  if (key == 'r') {
134      if (EstadoBoton_R != false) {
135          EstadoBoton_R = false;
136      }
137  }
138
139  if (key == 'f') {
140      if (EstadoBoton_F != false) {
141          EstadoBoton_F = false;
142      }
143  }
144  }
145
146  void sendSerialData() {
147      if (EstadoBoton_A) {
148          MiSerial.write('a');
149      }
150
151      if (EstadoBoton_W) {
152          MiSerial.write('w');
153      }
154
155      if (EstadoBoton_S) {
156          MiSerial.write('s');
157      }
158
159      if (EstadoBoton_D) {
160          MiSerial.write('d');
161      }

```

Fig. 28 Condicionales del joystick

Al igual que en la Figura 27, la Figura 28 muestra condicionales para cuatro teclas más. Asimismo, se muestra el inicio del método «sendSerialData()», responsable de enviar la información mediante comunicación serial. De esta forma, la información se envía sin necesidad de pulsar «Intro» después de cada iteración, a diferencia del IDE de Arduino.

La Figura 29 muestra la parte final del método "sendSerialData()". Además, existe el método "mouseClicked()", que se utiliza para interactuar con la figura de ejemplo generada mediante el método "draw()".

Finalmente, en la sección vista arriba, puedes modificar las instrucciones dadas por el joystick mediante condicionales.

```

163  +if (EstadoBoton_Q) {
164      MiSerial.write('q');
165  }
166
167  +if (EstadoBoton_E) {
168      MiSerial.write('e');
169  }
170
171  +if (EstadoBoton_E) {
172      MiSerial.write('r');
173  }
174
175  +if (EstadoBoton_E) {
176      MiSerial.write('f');
177  }
178  }
179
180  void mouseClicked() {
181      float distancia = dist(200, 200, mouseX, mouseY);
182      +if (distancia < 175) {
183          EstadoBoton_A = !EstadoBoton_A;
184          MiSerial.write('a');
185      }
186  }

```

Fig. 29 Condicionales del joystick



Fig. 30 Brazo en la posición base

En el caso de investigaciones en ingeniería, en esta sección suele denominarse Materiales, instrumentos y métodos.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Una vez finalizada la implementación, se realizan las pruebas correspondientes.

El brazo se activa y se realiza un giro a la izquierda desde la perspectiva del lector.

Esto se puede observar en las Figuras 30 y 31.

Como se puede ver en la base, giró 90°. Ahora, habrá un giro de arriba a abajo.



Fig. 31 Brazo girando hacia la izquierda

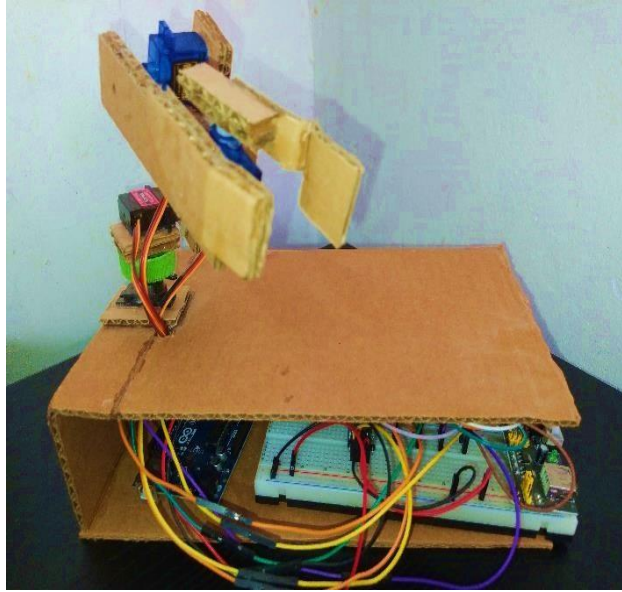


Fig. 32 Rechazar la comparación

En la Figura 32, el brazo gira hacia abajo desde la base. En la siguiente imagen, se puede observar un giro similar, pero desde el servomotor superior hacia la base. A continuación, se muestra el servomotor que controla la mano o las púas del brazo robótico que permitirán manipular los objetos.

En la figura 33, se puede observar la funcionalidad de las púas o mano del brazo robótico.



Fig. 33 Agarre del brazo robótico

Tabla 6 Explicación del movimiento del brazo robótico.

Command	Action
The "wrist" of the robotic arm moves according to the signal sent, 45 degrees. (Opening range 15-165 degrees)	Figure 31
The "shoulder" of the robotic arm moves according to the signal sent, approximately 85 degrees. (Opening range 15-165 degrees)	Figure 32
The "wrist" of the robotic arm returns to the starting position of 90 degrees. (Range 15-165 degrees)	Figure 33

En la Tabla 6 se muestra la explicación de los movimientos utilizados por el brazo robótico, mencionando las figuras correspondientes.



Diseño e implementación de un brazo robótico controlado por un joystick

En esta sección se presentan los resultados en forma concreta, clara, precisa y ordenada según los objetivos de la investigación. Se puede hacer uso de tablas y figuras (en algunos casos ecuaciones), comentar cada tabla y figura utilizada.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto es diseñar e implementar un brazo robótico para la empresa Sodimac, que trabaja con diversos productos pesados y, por lo tanto, con maquinaria pesada. Con el diseño e implementación de este prototipo, se logró la creación del brazo robótico que realizará las tareas propuestas por dicha empresa.

La implementación del proyecto permitirá optimizar los procesos de la empresa y garantizar la seguridad de los trabajadores. Esto se debe a que no realizarán muchos trabajos con cargas pesadas directamente, sino que utilizarán el brazo robótico y se apoyarán en él. Durante el desarrollo del proyecto, se observaron algunas fallas, como un control de voltaje deficiente, que causaban que los servomotores no funcionaran correctamente. Presentaban tics o simplemente no ejecutaban las instrucciones de programación. Para solucionar esto, se implementó el componente HW-131, una fuente de alimentación que permitió corregir el error.

En el proyecto se implementaron servomotores sin mucha potencia, por eso se utilizó cartón como cuerpo del brazo robótico para que no tenga mucho peso, pero a escala real, estos motores deben tener mucha más potencia para poder realizar la tarea que se busca.

Se cumplieron los objetivos del proyecto, logrando así la implementación del brazo robótico con múltiples servomotores que facilitan su movimiento y manipulación. Además, cuenta con un joystick que permite el control remoto.

En relación con la investigación realizada, se concluyó que este proyecto será muy útil para proyectos futuros. Se concluye que este proyecto servirá para implementar un brazo robótico a gran escala en la empresa Sodimac. Para llevar a cabo este prototipo a gran escala, se deben considerar los servomotores a utilizar según el trabajo a realizar, ya

Diseño e implementación de un brazo robótico controlado por un joystick que la potencia de estos motores y su elección dependen de ello. El movimiento de los servomotores era continuo y repetitivo al principio, lo que impedía su control, pero se logró solucionar con una fuente de alimentación especial para la placa de pruebas. Se recomienda realizar la etapa de presentación del prototipo, refinando los detalles físicos para una mejor apreciación. Se recomienda implementar diferentes tipos de agarres para especializarse en diferentes procesos de carga o tareas a realizar. Se recomienda utilizar un material de mejor calidad para el prototipo para un mejor agarre y movimiento, mejorando así la calidad de los servomotores.

En esta sección se interpreta comparativamente los resultados con estudios previos citados (antecedentes o estado del arte) con los resultados de la presente investigación. Además, se comunican las limitaciones de la investigación y las implicancias prácticas, teóricas y/o metodológicas de los hallazgos.

Finalmente, se debe redactar una conclusión por cada objetivo propuesto.

REFERENCIAS

- [1] Meza Chipoco, Beatriz del Milagro Umiña Malma, and Jeison Cristian, “Proposal to Evaluate and Control Work Fatigue in Heavy Load Drivers in the ACOINSA Transport Company,” Thesis, Universidad Tecnológica del Perú, pp. 1-99, 2019. [Google Scholar] [Publisher Link]
- [2] Buelvas Díaz, and Camilo Ernesto, “Preparation of a Preventive Maintenance Plan for the Heavy Machinery of the L&L Company,” Thesis, Universidad Autónoma Del Caribe, pp. 1-72, 2014. [Google Scholar] [Publisher Link]
- [3] Lina Natalia Paredes-Sanchez et al., “Occupational Safety and Health for Heavy Machinery Operators in the Construction Industry,”
Revista Investigación en Salud Universidad de Boyacá, vol. 9, no. 1, pp. 149-165, 2022. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [4] Benavente Inca, Karla Antonella Soria Guadalupe, and Mitchel Dante, “Design of a Palletizing Robotic Arm for Optimization within the Dispatch Process in the Cement Industry,” Thesis, Universidad Ricardo Palma, pp. 1-132, 2020. [Google Scholar] [Publisher Link]
- [5] Luna Gutiérrez, and Jorge Hernán, “Adaptive Safety System for Robotic Arms,” Pontificia Universidad Católica Del Perú, pp. 1-90, 2021. [Google Scholar] [Publisher Link]
- [6] Juan Sebastián Rojas Eslava et al., “Design and Implementation of a Low-Cost Robotic Arm for Automation in the Bacteriological Analysis Process,” INGE CUC, vol. 8, no. 1, pp. 219-230, 2012. [Google Scholar] [Publisher Link]

- [7] Michael E. Moran, “Evolution of Robotic Arms,” *Journal of Robotic Surgery*, vol. 1, pp. 103-111, 2007. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [8] Mohd Ashiq Kamaril Yusoff, Reza Ezuan Samin, and Babul Salam Kader Ibrahim, “Wireless Mobile Robotic Arm,” *Procedia Engineering*, vol. 41, pp. 1072-1078, 2012. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [9] Sébastien Mick et al., “Biological Plausibility of Arm Postures Influences the Controllability of Robotic Arm Teleoperation,” *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 64, no. 2, pp. 373-384, 2020. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [10] R. Boumans, and C. Heemskerk, “The European Robotic Arm for the International Space Station,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 23, no. 1-2, pp. 17-27, 1998. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [11] Yeison Alejandro Aldana, “Exploration Robotics, a World of Possibilities,” *Indagare*, no. 8, pp. 227-234, 2020. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [12] Andres Patrignani et al., “Review of Rain or Shine: An Introduction to Soil Physical Properties and Processes,” *Vadose Zone Journal*, vol. 21, no. 3, pp. 1-2, 2022. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [13] Ali Roshanianfard, Noboru Noguchi, and Tatsuki Kamata, “Design and Performance of a Robotic Arm for Farm Use,” *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 12, no. 1, pp. 146-158, 2019. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]

- Diseño e implementación de un brazo robótico controlado por un joystick
- [14] Carlos Adrián Mainetti et al., “Development and Analysis of the Response of a Manipulation Gripper for Robotic Arms,” *Ciencia y Tecnología*, no. 18, pp. 53-70, 2018. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [15] Kevin Morales, Carlos Hoyos, and Jesús García-Caicedo, “Development Design and Optimization of the Mechanical Structure of an Anthropomorphic Robotic Arm Developed for Educational Purposes,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 4, pp. 193-208, 2019. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [16] Paola Andrea Rey Molina, and Karent Urrego, “Design and Implementation of a 3D Robotic Arm Prototype for the Handling of Boxes in a Storage Matrix,” *Redes de Ingeniería*, vol. 3, no. 2, pp. 32-40, 2012. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [17] Jesús Chacon et al., “A Low-Cost, Open-Source Remote Lab for the Dobot Magician Educational Robotic Arm,” *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, vol. 20, no. 2, pp. 124-136, 2022. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]
- [18] Quilca Tito, and Erick Junior, “Relationship of Deformations of Concrete Floor Joints with Premature Wear of Drive Wheels of Cargo Stackers in SODIMAC Warehouse Lima Peru 2015,” Thesis, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, pp. 1-58, 2015. [Google Scholar] [Publisher Link]
- [19] Mohd Aliff, Shujiro Dohta, and Tetsuya Akagi, “Control and Analysis of Robot Arm Using Flexible Pneumatic Cylinder,” *Mechanical Engineering Journal*, vol. 1, no. 5, pp. 1-13, 2014. [CrossRef] [Google Scholar] [Publisher Link]

- Diseño e implementación de un brazo robótico controlado por un joystick
- [20] Hanan A.R. Akkar, and Ahlam Najim A. Amir, “Kinematics Analysis and Modeling of 6 Degree of Freedom Robotic Arm from DFROBOT on Labview,” *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, vol. 13, no. 7, pp. 569-575, 2016. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)] [[Publisher Link](#)]
- [21] Hideki Kajima et al., “A study on a Brachiation Controller for a Multi-Locomotion Robot—Realization of Smooth, Continuous Brachiation,” *Advanced Robotics*, vol. 18, no. 10, pp. 1025-1038, 2004. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)] [[Publisher Link](#)]