



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Mecatrónica

MANO ARTICULADA CON ARDUINO

Trabajo de Investigación formativa

Programación I

AUTOR(es) :

- **Bonifacio Julian, Royer Matthew**
- **Chacón Nontol, Erwin Gleissner**
- **Gutierrez Velazquez, Diego Adolfo**
- **Padilla Muñoz, Luis Fernando**

DOCENTES :

- **Lujan Segura Edwar Glorimer**
- **Abanto Mercado Robert Francisco**

CICLO :

- **III**

Trujillo, Perú

24/07/2023



Resumen

En el proyecto realizado, acerca de cómo fabricar una mano articulada de cartón utilizando sensores flex 2.2" que hacen seguimiento de los movimientos de los dedos de la mano, se pudo apreciar el proceso de la programación hecha para transformar las señales de los sensores, con ayuda de la placa arduino, en ángulos que los servomotores sg90 puedan procesar. Se utilizaron dos protoboards, en uno se hicieron las conexiones servos-arduino y en la segunda sensores-arduino, para los servos se utilizaron resistencias de 10k que iban conectados a los pines digitales del arduino y su terminal de voltaje hacia una pila de 5V y 2A que al repartir corriente en paralelo, reparte 400mA para servo, siendo más que suficiente para que estos funcionen correctamente; para el protoboard que contiene los sensores de flexión, se soldaron los terminales con cables dupont, para poder mantener fija la conexión, ya que los terminales de los sensores son muy delgados, luego a cada terminal de los sensores que se conectaban al pin análogo del arduino, también se le colocó una resistencia de 10k que se iba al GND del módulo, los terminales sobrantes se conectan al pin de 5V. Teniendo la parte electrónica terminada se procedió a colocar los 5 servos en una parte estratégica sobre una caja de cartón, de forma que sobre estén introducidos hasta la mitad, uno en el centro de la caja y los demás en cada esquina, con los servos colocados, se amarraron hilos de Nylon en estos que iban hacia una mano de cartón, la cual ya tenía la forma de las falanges de una mano humana para permitir la flexibilidad (se aseguró cada falange con un broche). Finalmente, los cables fueron forrados con cinta aislante con el fin de evitar desorden y todo el circuito se metió en la caja en la que se encontraban los servos.

Palabras Claves:

Servomotor, sensores flex, arduino, pin digital, pin analógico.



Abstract

In the project carried out, about how to make an articulated cardboard hand using 2.2" flex sensors that track the movements of the fingers of the hand, it was possible to appreciate the programming process done to transform the signals from the sensors, with the help of the arduino board, into angles that the servomotors can process. Two breadboards were used, in one the servos-arduino connections were made and in the second sensors-arduino, for the servos 10k resistors were used that were connected to the digital pins of the arduino and its voltage terminal to a 5V and 2A battery that, when distributing current in parallel, distributes 400mA for servo, being more than enough for them to work correctly; For the breadboard that contains the flex sensors, the terminals were soldered with dupont cables, in order to keep the connection fixed, since the sensor terminals are very thin, then to each terminal of the sensors that were connected to the analog pin of the Arduino, a 10k resistor was also placed that went to the GND of the module, the remaining terminals were connected to the 5V pin. Once the electronic part was finished, we proceeded to place the 5 servos in a strategic part on a cardboard box, so that they are inserted halfway, one in the center of the box and the others in each corner, with the servos placed, Nylon threads were tied to these that went to a cardboard hand, which already had the shape of the phalanges of a human hand to allow flexibility (each phalanx was secured with a clasp). Finally, the wires were covered with insulating tape in order to avoid mess and the whole circuit was put in the box where the servos were.

Keywords:

Servo motor, flex sensors, arduino, digital pin, analog pin.



Tabla de Contenidos

Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Realidad Problemática	2
1.2. Formulación del Problema	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Justificación	2
1.4.1 Social	2
1.4.2 Tecnología	3
Capítulo 2: Marco Teórico	3
Capítulo 3: Materiales y Métodos	9
3.1. Materiales	9
3.2. Descripción general de los procedimientos	9
3.3. Desarrollo de los procedimientos	10
Capítulo 4: Resultados	21
Capítulo 5: Conclusiones y Recomendaciones	23
5.1. Conclusiones	23
5.2. Recomendaciones	24



Referencias Bibliográficas **24**

Anexos **25**

Capítulo 1

Introducción

1.1. Realidad Problemática

A nivel global, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que más de 1.5 mil millones de personas viven con alguna forma de discapacidad, teniendo un 15% de estas, discapacidades relacionadas con las extremidades superiores, como amputaciones y malformaciones; en el Perú, el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) informa que más de 2.5 millones de personas presentan alguna discapacidad, limitando sus actividades cotidianas, esto lo podemos comprobar simplemente saliendo a las calles, en las que encontramos gente con diferentes discapacidades, que por falta de recursos y ayuda no pueden llevar una vida normal. Actualmente vivimos en un mundo en el que predomina la tecnología, pero comparando nuestro país, con los de primer mundo, es triste nuestra realidad, no porque no tengamos los recursos o capacidades, sino porque vivimos en una sociedad egoísta y con falta de apoyo.

La realidad actual del país muestra una disparidad significativa en el acceso a prótesis funcionales y asequibles. El costo de una prótesis puede oscilar entre 5,000 y 25,000 soles, lo que solo permite a personas con altos recursos económicos mejorar su calidad de vida a pesar de la discapacidad. Este problema radica en que, aunque no es factible ofrecer prótesis gratuitas a todos, debido a que su elaboración es compleja, es necesario buscar soluciones para hacerlas más accesibles a la mayoría de personas, permitiéndoles una vida más independiente.

Por lo tanto, este proyecto fue elaborado con la finalidad de incentivar a las personas a sumergirse en el mundo de la robótica, que es un campo bastante amplio e interesante, enseñando el funcionamiento básico de una mano robótica y así en un futuro poder implementarlo como una prótesis de verdad, para poder lograr una mayor producción de prótesis, haciendo uso de la tecnología, y brindar una mejor calidad de vida a las personas que presenten alguna discapacidad en cualquier extremidad.

1.2. Formulación del Problema

¿ Cómo elaborar una mano articulada que permita un control intuitivo y preciso mediante el uso de sensores de flexión, servomotores y arduino, con el fin de entender el funcionamiento de manos robóticas y prótesis?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Desarrollar una mano articulada que permita una interacción natural con el usuario y la imitación de los movimientos básicos de la mano a través de servomotores y sensores de flexibilidad.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Investigar y escoger los materiales adecuados para la elaboración de la mano articulada.
- Implementar los sensores de flexión en un guante para detectar el movimiento de los dedos.
- Utilizar el entorno de desarrollo de Arduino para ser capaz de interpretar la señal analógica de los sensores de flexión y controlar los servomotores para replicar los movimientos de la mano.
- Realizar una conexión eficiente entre los diferentes componentes usados para un buen funcionamiento de la mano articulada.
- Explorar y aprender las diferentes aplicaciones y usos para la mano articulada, como la manipulación de objetos, la rehabilitación física, la investigación en robótica o la interacción humano-robot.

1.4 Justificación

- Social

En el presente proyecto se elaboró una maqueta didáctica de una mano robótica, con el cuál podamos motivar a las personas a entrar al mundo de la robótica y tecnología, demostrando que se pueden construir cosas muy interesantes y beneficiosas para la sociedad, ya que este proyecto puede ser una solución, para un futuro no tan lejano, se

pueda dar mayor accesibilidad que mejorará la calidad de vida de personas con discapacidades en las extremidades superiores, brindándoles una prótesis funcional.

- **Tecnología**

Esta mano articulada está controlada por sensores de flexión, servomotores y arduino, presenta una capacidad para promover la educación, la investigación y el desarrollo de tecnologías robóticas avanzadas de manera asequible, se puede aprender el funcionamiento de los sensores de flexión, como programar el arduino y cómo se controla la mano articulada, este proyecto puede servir como un prototipo inicial para validar ideas y conceptos antes de pasar a una etapa de producción más costosa, permitiendo probar diferentes enfoques y realizar ajustes sin incurrir en grandes inversiones.

Capítulo 2

Marco Teórico

- **Estructura de la mano:**

La mano humana realiza funciones muy importantes como la función mecánica, sensitiva y de comunicación; es el órgano principal para la manipulación física del entorno (Artículo Mano Humana, 2017).

Se subdivide en tres partes: en la palma central (metacarpo) de la que surgen cinco dedos o falanges y la aparte que une con el antebrazo llamada muñeca (carpo), está compuesta por 14 falanges en los dedos, 5 metacarpianos y 8 carpianos (Artículo Mano Humana, 2017).

Huesos de la mano



Figura 1 . Huesos de la mano.

(Fuente: http://aplicacionesdetic.blogspot.com/2009_10_01_archive.html)

Los músculos del antebrazo se conectan a los huesos de los dedos por largos tendones que pasan a través de una muñeca flexible, esta musculatura remota le da a los dedos un movimiento y fuerza que no serían posibles si todos los músculos tuvieran que estar conectados directamente (McGavin, 2014).

- **Arduino:**

Arduino es una plataforma de código abierto que consiste en una placa electrónica y un entorno de desarrollo integrado (IDE) que permite a los entusiastas de la electrónica y la programación crear proyectos interactivos de manera accesible y sencilla. Fue creado por Massimo Banzi y el equipo de Arduino en 2005. La placa Arduino consta de un microcontrolador junto con una serie de pines de entrada/salida que permiten conectar sensores, actuadores y otros dispositivos externos. Estos pines pueden programarse para realizar diversas funciones según las necesidades del proyecto. (Fernández, 2022)



Figura 2 . Arduino UNO. (Fuente: <https://naylampmechatronics.com/ardusystem-tarjetas/8-uno-r3.html>)

- Servomotores:

Los servomotores son dispositivos electromecánicos utilizados para controlar y posicionar con precisión objetos o mecanismos en función de señales de entrada. Estos dispositivos constan de un motor eléctrico, un conjunto de engranajes y un circuito de control interno. El motor eléctrico dentro del servomotor suele ser un motor de corriente continua (DC) o un motor de corriente alterna (AC) con imanes permanentes, lo que permite una alta eficiencia y respuesta rápida. El conjunto de engranajes reduce la velocidad de rotación del motor, pero aumenta su torque, lo que permite que el servomotor pueda generar suficiente fuerza para mover cargas más grandes con precisión. Los servomotores son ampliamente utilizados en aplicaciones donde se necesita un control de posición preciso, como en robótica, sistemas de seguimiento solar, aeronáutica, automatización industrial y modelismo, entre otros.

(Torres, 2023)



Figura 3. Micro servo SG90. (Fuente:<https://naylampmechatronics.com/servomotores/21-servo-sg90-1kg.html>)

- **Sensores de flexión:**

Los sensores de flexión son dispositivos electrónicos utilizados para medir la curvatura o flexión de objetos. Estos sensores están diseñados para cambiar su resistencia eléctrica en respuesta a la deformación mecánica causada por la flexión del objeto al que están adheridos. La mayoría de los sensores de flexión están compuestos por materiales conductores, como el carbono o el grafito, dispuestos en una forma flexible, como una tira o una lámina delgada. Al aplicar fuerza o flexión sobre el sensor, los materiales conductores se estiran o comprimen, lo que provoca un cambio en la resistencia eléctrica a lo largo del sensor. Los sensores de flexión son utilizados en diversas aplicaciones, como dispositivos médicos para monitorizar el movimiento y flexión de articulaciones, en guantes o trajes hapticos para interfaces de realidad virtual, en robots para detectar la posición de extremidades y en sistemas de seguridad para la detección de fuerzas externas en estructuras. (Reimondo, 2020)



Figura 4. Sensor Flex 2.2''. (Fuente:<https://naylampmechatronics.com/sensores/522-sensor-flex-22.html>)

- Señal analógica:

Una señal analógica es una forma de representar datos o información en la que la magnitud de la señal varía continuamente en el tiempo o en el espacio. En este tipo de señal, los valores pueden tomar cualquier valor dentro de un rango determinado, lo que significa que no están cuantificados en pasos discretos. Las señales analógicas son representadas por medio de ondas continuas, donde la amplitud y frecuencia de la señal pueden variar de manera suave y gradual. Estas señales son susceptibles a ruido y degradación durante la transmisión, ya que cualquier interferencia puede afectar la forma original de la onda. Para convertir una señal analógica en un formato digital (señal digital), se requiere un proceso de muestreo y cuantificación. Durante el muestreo, la señal analógica se toma a intervalos regulares y, luego, los valores obtenidos se cuantifican para representarlos mediante valores discretos. Las señales analógicas son utilizadas en diversas aplicaciones, como en la electrónica analógica, sistemas de comunicación, mediciones de sensores, entre otros, donde la precisión y la continuidad de los datos son fundamentales. (García, 2015)

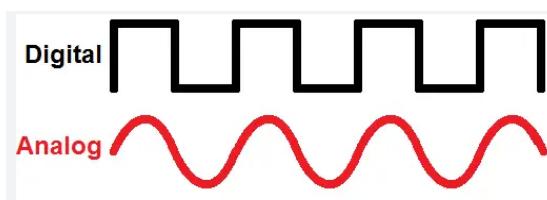


Figura 5.. Comparación entre señal digital y analógica.
(Fuente:<https://panamahitek.com/entradas-y-salidas-analogicas-y-digitales/>)

- Lenguaje de programación:

. Para poder entender los programas implementados en estos proyectos, debemos de saber las siguientes funciones de programación en el entorno de Arduino:

- `servo.attach(pin):` En esta función se le asigna al servomotor, un pin del arduino en el que ha sido conectado (Arduino, s.f.).

- `analogRead(pin)`: Lee el valor del pin analógico especificado. Las placas Arduino contienen un convertidor analógico a digital multicanal de 10 bits. Esto significa que mapeará los voltajes de entrada entre 0 y el voltaje de funcionamiento (5V o 3,3V) en valores enteros entre 0 y 1023 (Arduino, 2019).
- `map(valor, deMín, deMáx, aMín, aMáx)`: Encargado de asignar un número de un rango a otro, no restringe los valores dentro del rango, porque los valores fuera del rango a veces son intencionados y útiles, por eso a veces es necesario usar la función `constrain()` para limitar los rangos (Arduino, 2022).
- `servo.write (ángulo)`: Escribe un valor en el servo, controlando el eje en consecuencia. En un servo estándar, esto establecerá el ángulo del eje (en grados), moviendo el eje a esa orientación (Arduino, s.f.).

Capítulo 3

Materiales y Métodos

3.1. Materiales:

- Arduino Uno
- 3 sensores de flexión 2.2 ”
- 5 micro servo SG90 1.5kg
- 2 protoboards
- Fuente de alimentación AC/DC 5V 2A
- 3 resistencias 10K Ohms
- Cartón
- Hilo nylon
- Cables dupont macho-macho
- Cables dupont macho hembra
- Guante anticorte
- Témpera negra
- Cinta aislante
- Pendientes
- Elástico
- Pistola de silicona
- Triplay

3.2. Descripción general de los procedimientos

- De manera general, lo que se realizó fue encontrar los materiales adecuados para poder llevar a cabo el proyecto y acorde al presupuesto, que principalmente fue cartón, se dibujó y recortó cada dedo y la palma de la mano, en el cartón, pintando todo de negro y pegando pendientes en cada dedo, en una caja se colocó los servomotores, luego se cosió al guante los sensores de flexión, elaboramos un programa que pueda realizar la medición a los sensores y otro que pueda convertir esos valores a ángulos para ser mandados al arduino, finalmente se realizó la conexión necesaria y se colocó dentro de la caja para poder ocultar los cables dupont.

3.3. Desarrollo de los procedimientos

3.3.1. Investigar y escoger los materiales adecuados para la elaboración de la mano articulada. (Objetivo 1)

. Observando diferentes proyectos, la mano articulada fue realizada con impresión 3D, pero de acuerdo al presupuesto del grupo decidimos hacerlo con cartón, que también era válido; para un mejor movimiento de los dedos, se decidió elaborar dedo por dedo de manera independiente y luego pegarlos en la base que fue la palma de la mano.

. Doblamos cada dedo para simular los falanges que poseen respectivamente y se pegó pendientes en cada falange para obtener una mejor movilidad de los dedos, por cada dedo se pasó hilo nylon por todos los pendientes correspondientes, en la parte posterior de los dedos se pegó elástico para que el dedo sea capaz de regresar a su posición inicial, al final se pintó toda la mano de negro.



Figura 6. Dedos.(Elaboración propia)



Figura 7.Palma y brazo.(Elaboración propia)

. Los servomotores escogidos fueron los micro servo SG90 9g ya que presentaban el movimiento necesario para realizar todo el recorrido en cada dedo y también se ajustaba de mejor manera a nuestro presupuesto.

. Se escogieron sensores de flexión de 2.2" debido a que era el tamaño necesario para ser colocados en los guantes y realizar el movimiento completo de los dedos.



Figura 8. Sensor de flexibilidad.(Elaboración propia)

3.3.2. Implementar los sensores de flexión en un guante para detectar el movimiento de los dedos.(Objetivo 2)

. Los sensores de flexión se cosieron a los dedos del guante, en el pulgar, índice y anular, se realizaron diferentes pruebas de movimiento con el guante para obtener la mejor posición y manera de coser con el fin de que no se salgan los sensores al momento de mover los dedos; se soldó los pinout de los sensores con los cables dupont, para que la conexión entre ellos no se suelte al realizar un movimiento, debido a que cuando se conectaron de manera normal, la conexión quedaba floja y se soltaban frecuentemente los sensores del cable dupont, lo cual interrumpió de manera constante el funcionamiento.



Figura 9. Guante con sensores de flexión.(Elaboración propia)

3.3.3.Utilizar el entorno de desarrollo de Arduino para ser capaz de interpretar la señal analógica de los sensores de flexión y controlar los servomotores para replicar los movimientos de la mano. (Objetivo 3)

. En el tema de código, realizamos 2 programas para el funcionamiento del proyecto:

Programa principal: Está encargado de convertir los movimientos de la mano, recepcionando valores de los sensores de flexión, en movimientos angulares que serán enviados a los servomotores, de modo que estos realicen el movimiento de los dedos en la mano articulada.

Pulgar: A4

Indice: A3

Anular: A1

```
1 #include <Servo.h>
2 Servo servo1, servo2, servo3, servo4, servo5;
3 int lector;
4 int mapVal;
5 int i;
6 int minServo = 0;
7 int maxServo = 180;
8 void setup() {
9     // put your setup code here, to run once:
10    servo1.attach(12); //pulgar
11    servo2.attach(10); //indice
12    servo3.attach(8); //medio
13    servo4.attach(6); //anular
14    servo5.attach(4); //pequeno
15 }
16 void loop() {
17     // pulgar
18     lector = analogRead(A4);
19     mapVal = map(lector, 195, 273, 0, 180);
20     if(mapVal < 0){mapVal = minServo;};
21     if(mapVal > 180) {mapVal = maxServo;};
22     servo1.write(mapVal);
23     delay(10);
```

```

24 //indice
25 | lector = analogRead(A3);
26 mapVal = map(lector,135,235 , 0,180);
27 if(mapVal < 0){ mapVal = minServo;};
28 if(mapVal > 180){mapVal = maxServo;};
29 servo2.write(mapVal);
30 delay(10);
31 //medio
32 | lector = analogRead(A3);
33 mapVal = map(lector,135 ,235 , 0,180);
34 if(mapVal < 0){ mapVal = minServo;};
35 if(mapVal > 180){mapVal = maxServo;};
36 servo3.write(mapVal);
37 delay(10);
38 //anular
39 | lector = analogRead(A1);
40 mapVal = map(lector,140 ,235 , 0,180);
41 if(mapVal < 0){ mapVal = minServo;};
42 if(mapVal > 180){mapVal = maxServo;};
43 servo4.write(mapVal);
44 delay(10);
45 //pequeno
46 | lector = analogRead(A1);
47 mapVal = map(lector,140 ,235 , 0,180);
48 if(mapVal < 0){ mapVal = minServo;};
49 if(mapVal > 180){mapVal = maxServo;};
50 servo5.write(mapVal);
51 delay(10);

```

Figura 10. Código principal.(Elaboración propia)

. La mano articulada está programada para que el sensor del pulgar mueva el pulgar, el sensor del índice, mueva el índice y el medio, y el sensor del anular, mueva el anular y el meñique de la mano articulada.

- **Programa secundario (Medición de Sensores):** Este programa fue realizado para poder determinar el intervalo en el que se encontraba los valores correspondientes de la mano abierta y la mano cerrada, de modo que estos sean convertidos luego a ángulos de los servomotores mediante el programa principal, en este programa se utilizó el monitor serial .

```
// Declaramos variables de los pines analógicos
int flexPin1 = A5;
int flexPin2 = A3;
int flexPin3 = A1;

void setup() {
    //Definimos los pines usados como pines de entrada
    pinMode(flexPin1, INPUT);
    pinMode(flexPin2, INPUT);
    pinMode(flexPin3, INPUT);

    //Inicia el monitor serie para mostrar los resultados
    Serial.begin(9600);
}

void loop() {
    // Definimos las variables que leeran las entradas analógicas del sensor
    int flex1 = analogRead(flexPin1);
    int flex2 = analogRead(flexPin2);
    int flex3 = analogRead(flexPin3);

    //Mostramos en pantalla los valores medidos por los sensores
    Serial.print(flex1);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(flex2);
    Serial.print(" ");
    Serial.print(flex3);
    Serial.print(" ");

    delay(2000);
}
```

Figura 11. Código secundario.(Elaboración propia)

. Una vez cargado y ejecutado el programa, se tomó las medidas pertinentes, de forma que se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 1. Valores de los sensores con la mano abierta.(Elaboración propia)

N	PULGAR	ÍNDICE	ANULAR
1	269	230	232
2	271	235	234
3	268	233	234
4	272	234	233
5	269	234	231
6	273	235	234
7	272	233	233
8	273	233	230
9	269	234	235
10	271	232	234

. A los valores medidos en la posición de la mano abierta, se tomó como valor límite el más alto de cada dedo para poder obtener el mejor ajuste posible.

Tabla 2. Valores límites máximos de la mano abierta.(Elaboración propia)

PULGAR	ÍNDICE	ANULAR
273	235	235

. En el caso de la mano cerrada, escogimos como valor límite el más bajo de cada dedo.

Tabla 3. Valores de los sensores con la mano cerrada.(Elaboración propia)

N	PULGAR	ÍNDICE	ANULAR
1	197	136	141
2	198	135	143
3	196	137	145
4	198	136	142
5	196	138	141
6	195	139	143
7	199	136	142
8	196	137	140
9	197	135	141
10	196	136	144

Tabla 4. Valores límites mínimos de la mano abierta.(Elaboración propia)

PULGAR	ÍNDICE	ANULAR
195	135	140

3.3.4. Realizar una conexión eficiente entre los diferentes componentes usados para un buen funcionamiento de la mano articulada. (Objetivo 4)

. En una caja de cartón colocamos los 5 servomotores, de manera que no se lleguen a estorbar al momento de realizar el movimiento y se amarró el hilo nylon de cada dedo a su respectivo servomotor.



Figura 12.Caja con servomotores.(Elaboración propia)

. Para la conexión, usamos 2 protoboards para un mayor orden, en uno se conectaron los 5 servomotores, al positivo y negativo del protoboard, y a sus pines respectivos en el arduino; en el otro protoboard se realizó la conexión de los sensores, en la que se utilizaron las resistencias de 10K y se conectaron a las entradas analógicas del arduino.

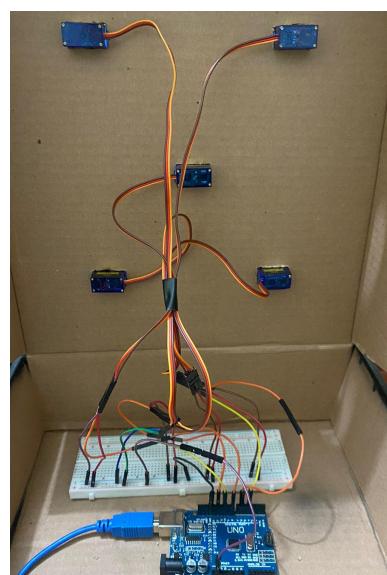


Figura 13. Conexión del primer protoboard.(Elaboración propia)

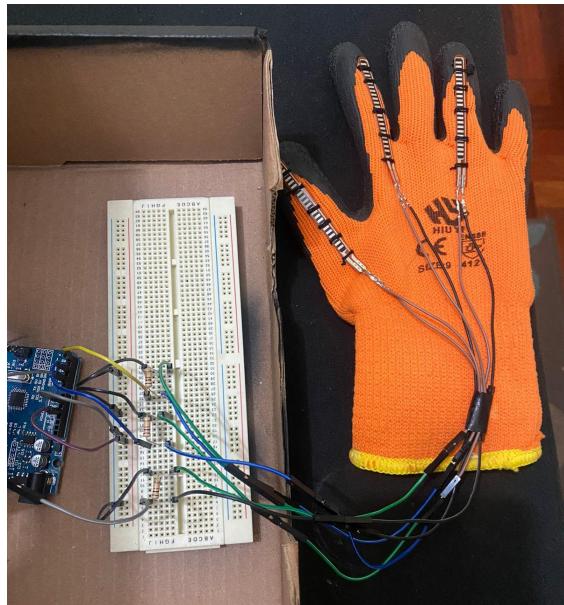


Figura 14. Conexión del segundo protoboard.(Elaboración propia)

.Juntamos los cables dupont, de los servomotores, con cinta aislante, de la misma manera los cables dupont de los sensores de flexión, para poder tener más orden en la conexión.

. Por último, conectamos una fuente de alimentación de 5V y 2A al arduino, debido a que era la corriente necesaria para poder alimentar a los 5 servomotores y los 3 sensores, se probó con una pila de 9V pero no fue suficiente debido a que presentaba un amperaje muy bajo comparado al necesario.



Figura 15. Centro de control.(Elaboración propia)

3.3.5. Explorar y aprender las diferentes aplicaciones y usos para la mano articulada, como la manipulación de objetos, la investigación en robótica o la interacción humano-robot.(Objetivo 5).

. La mano articulada tiene diversas aplicaciones en el mundo de la tecnología y de la sociedad, como en la manipulación, manos robóticas y prótesis de manos, uno de los fines con el que fue realizado este proyecto fue entender el funcionamiento básico de una mano robótica, como el movimiento básicos de los dedos, qué componentes constituyen y hacen posible los distintos movimientos y captación de señales.

. Observando diferentes modelos de manos robóticas y de prótesis de manos, como por ejemplo:



Figura 16. Prótesis de mano.(Universidad de Minnesota,2021)



Figura 17. Mano robótica con impresión 3D.(IEEE Spectrum, 2016)

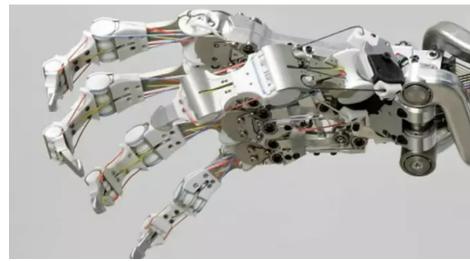


Figura 18. Mano robótica súper resistente.(IEEE Spectrum, 2011)

.Haciendo una comparación de una mano robótica con nuestra maqueta, para conseguir un funcionamiento similar a los huesos y articulaciones de la mano humana, el material más común actualmente, en las manos robóticas, son las piezas mediante impresión 3D, en la que se diseña cada falange junto con la palma de la mano y el brazo, comparándolo con nuestra maqueta, usamos cartón y para cada falange realizamos un doblez; los ligamentos y tendones que existen en la mano, se fabrican a base de cuerdas de alta resistencia y un forraje de láminas de látex imitan al tejido blanco de las articulaciones, en nuestro caso para simular los ligamentos y tendones usamos hilo nylon en cada dedo, y para simular el movimiento de los dedos, las prótesis de manos usan mayormente 10 servomotores Dynamixel, electrodos de flexores y extensores, a comparación nuestra, que usamos 5 micro servos SG90 y sensores de flexión, para la imitación del movimiento, concluyendo que nuestra maqueta tiene los componentes necesarios para poder entender el funcionamiento básico de una mano robótica, pudiendo en un futuro, con los componentes necesarios, ser mejorada para construir una mano robótica o elaborar una prótesis.

Capítulo 4

Resultados

4.1. Investigar y escoger los materiales adecuados para la elaboración de la mano articulada. (Objetivo 1)

- Al usar cartón se observó que había mejor facilidad de movimiento para los dedos ya que era más liviano, también optamos por utilizar 5 micro servos SG90 de 9g y 3 sensores de flexión 2,2".



Figura 19. Prototipos elaborados.(Elaboración propia)

4.2. Implementar los sensores de flexión en un guante para detectar el movimiento de los dedos.(Objetivo 2)

- Luego de realizar diferentes pruebas de movimiento, decidimos coser los sensores de flexión al guante para que al momento de realizar cualquier movimiento los sensores no se salgan de su sitio y fue de gran ayuda soldar los pinouts.



Figura 20. Costuras de los sensores de flexión en el guante.(Elaboración propia)

4.3.Utilizar el entorno de desarrollo de Arduino para ser capaz de interpretar la señal analógica de los sensores de flexión y controlar los servomotores para replicar los movimientos de la mano (Objetivo 3).

- Después de varios intentos, el código desarrollado en ambos programas fue el correcto en el funcionamiento del proyecto, ya que después de corregir errores logramos simular el movimiento de los dedos de una mano sin tener inconvenientes.

4.4. Realizar una conexión eficiente entre los diferentes componentes usados para un buen funcionamiento de la mano articulada.(Objetivo 4).

- Al poner colores a los cables obtuvimos una conexión eficiente ya que de esa manera podríamos diferenciarlos y no conectar un cable donde no debía, obteniendo así una correcta instalación para el funcionamiento del proyecto.
- Al poner todas las conexiones dentro de una caja fue de gran utilidad para poder ocultar las conexiones y verse más ordenado.

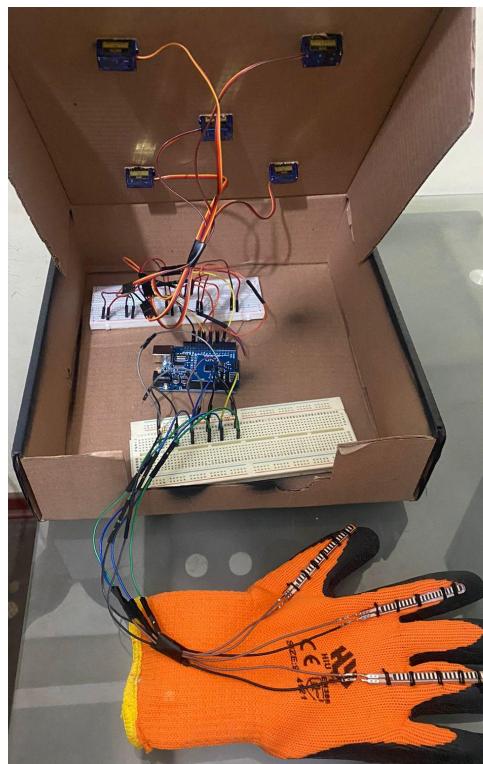


Figura 21. Caja de control.(Elaboración propia)

4.5.Explorar y aprender las diferentes aplicaciones y usos para la mano articulada, como la manipulación de objetos, la investigación en robótica o la interacción humano-robot. (Objetivo 5)

- Aprendimos las diferentes aplicaciones que puede tener una mano articulada, ya elaborada de una manera más compleja y con un mayor presupuesto, teniendo un funcionamiento básico similar a nuestra mano articulada, refiriéndose al movimiento de los dedos a través de los ligamentos, articulaciones y músculos, a comparación de las manos robóticas y las prótesis logramos simular el movimiento haciendo uso de componentes más asequibles.

Capítulo 5

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se logró utilizar los materiales adecuados como cartón para la maqueta, hilo nylon para conectar los servomotores con la mano de cartón, guante de nitrilo, donde se colocaron los sensores de flexión y servomotores como componentes principales.
- Se ubicó los sensores de flexión de manera beneficiosa, en el guante, con el fin de que pueda seguir un movimiento fluido de los dedos.
- Al utilizar los componentes correctos y desarrollar 2 programas para el proyecto, logramos imitar un movimiento fluido de los dedos de la mano, en nuestra maqueta de mano articulada.
- Se logró realizar una buena conexión entre los diversos componentes y el arduino, permitiéndonos obtener un orden en el proyecto, el uso de 2 protoboards fue beneficio, lo cual nos permitió diferenciar las conexiones del los sensores de flexión y de los servomotores, sin que existan interrupciones.
- Se pudo concluir que estos conocimientos se pueden aplicar en el campo de la medicina con el fin de ayudar a personas que sufrieron la pérdida de algún miembro del cuerpo, claro que este proyecto solo tiene la finalidad de dar una idea de algo que se puede hacer con mayor profesionalidad.

5.2. Recomendaciones

- Calcular bien el voltaje y amperaje necesario para escoger los componentes correctos.
- Realizar la prueba de movimiento de retos para que no se despegue ningún dedo.
- Revisar bien las conexiones antes del funcionamiento del proyecto.
- Asegurarse de que los valores límites del sensor de flexión sean los correctos para obtener el menor ruido posible.

Referencias Bibliográficas

- MedSchoolStuff. (Agosto, 2010). *Extremidad Superior: Anatomía de la mano*. <https://www.scribd.com/doc/35695943/Extremidad-Superior-Anatomia-de-la-mano#>
- McGavin, George. (Marzo, 2014). *Las increíbles extremidades del ser humano: manos y pies*. https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/03/140227_ciencia_manos_y_pies_jgc_finde#:~:text=Los%20m%C3%BAsculos%20del%20antebrazo%20se,tuvieran%20que%20estar%20conectados%20directamente.
- Arduino. (s.f.) Language Reference. <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- Fernández, Yúbal. (Septiembre, 2022). *Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno*. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Torres, Gabriela. (Febrero, 2023). *Conoce el funcionamiento de los servomotores*. <https://pe.urany.net/blog/conoce-el-funcionamiento-de-los-servomotores>
- Reimondo, Gustavo. (Enero, 2020). *Flexpoint, sensores de flexión*. <https://humanizationoftechnology.com/flexpoint-sensores-de-flexion/revista/sensorica/01/2020/>
- García, Antony. (Enero, 2015). *Señales continuas, analógicas, discretas y digitales*. <https://panamahitek.com/señales-continuas-analogicas-discretas-y-digitales/>

Anexos

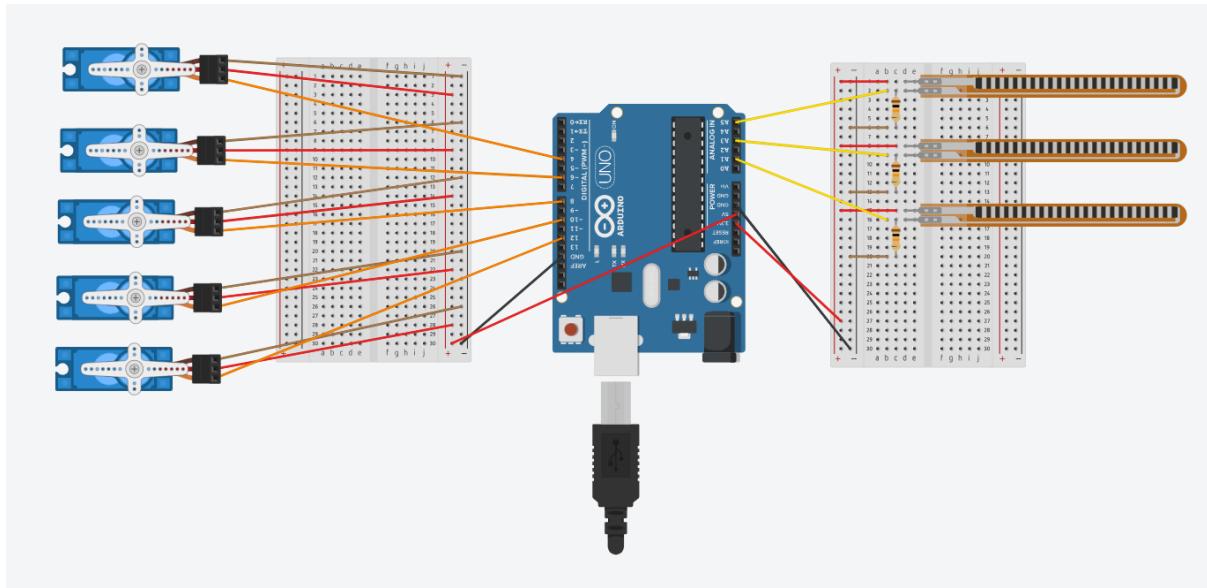


Figura 22. Esquema de conexiones.(Elaboración propia)