



## **TITULO**

REPORTE DE PROYECTO INTEGRADOR Mano Robótica  
JA-JA-MA-SY

## **PROGRAMA EDUCATIVO**

Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones

## **PRESENTA**

- Jonathan Alexis González Lizcano
  - Juan Ángel Becerril Leal
  - Miguel Ángel Leyva Sánchez
- Santiago Yair Pérez Rodríguez

## **PROFESORES DE CICLO:**

Dra. Ely Karina Anaya Rivera

...

## **EVALUADOR(A):**

Dra. Ely Karina Anaya Rivera

## **Resumen**

Este proyecto aborda la creación de una mano robótica controlada de manera remota mediante tecnología IoT, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades en las extremidades superiores. La motivación principal detrás de este desarrollo radica en la necesidad de proporcionar soluciones accesibles y efectivas que permitan a los usuarios realizar tareas cotidianas que, debido a sus limitaciones físicas, les resultan difíciles o imposibles de ejecutar de manera independiente.

El proceso de desarrollo se estructura en varias fases fundamentales. En primer lugar, se realizó un análisis exhaustivo de las necesidades específicas de los usuarios, considerando aspectos tanto médicos como ergonómicos, para asegurar que el diseño de la mano robótica cumpla con los requisitos funcionales y ofrezca comodidad en su uso diario. A continuación, se procedió al diseño mecánico y electrónico del prototipo, integrando componentes de alta precisión para replicar de manera eficiente los movimientos humanos.

Paralelamente, se desarrolló un software de control que permite la interacción en tiempo real entre el usuario y la mano robótica, utilizando un guante sensorizado que captura los movimientos del usuario y los transmite al dispositivo robótico. La comunicación entre el guante y la mano robótica se realiza a través de un sistema IoT, lo que facilita la operación remota y permite que el dispositivo se utilice en diferentes entornos, ampliando así su versatilidad.

Además, se diseñaron pruebas de usabilidad y se planificaron iteraciones del prototipo basadas en la retroalimentación de los usuarios finales. Este enfoque centrado en el usuario asegura que el producto final no solo sea funcional, sino también adaptado a las necesidades reales de las personas que lo utilizarán. El documento también incluye un cronograma detallado de actividades, un presupuesto estimado y una evaluación de riesgos potenciales, lo que proporciona una visión integral del proyecto desde la concepción hasta la implementación final.

Este proyecto tiene el potencial de ofrecer una solución innovadora en el campo de la

asistencia robótica, contribuyendo a mejorar la independencia y calidad de vida de las personas con discapacidades motoras en las extremidades superiores.

**Palabras claves:**

- Guante Sensorizado
- Mano Robótica
- Impresión 3D
- ESP32
- Wi-Fi
- Control Remoto
- Robótica
- Sensores de Movimiento
- Control de Posición
- Comunicación Inalámbrica
- Automatización
- Programación Embebida
- Protocolo de Comunicación

## **ABSTRACT**

This project focuses on the creation of a remotely controlled robotic hand using IoT technology, with the aim of improving the quality of life for people with upper limb disabilities. The main motivation behind this development lies in the need to provide accessible and effective solutions that allow users to perform daily tasks that, due to their physical limitations, are difficult or impossible to accomplish independently.

The development process is structured into several fundamental phases. First, an exhaustive analysis of the specific needs of the users was conducted, considering both medical and ergonomic aspects to ensure that the design of the robotic hand meets the functional requirements and offers comfort in daily use. Next, the mechanical and electronic design of the prototype was carried out, integrating high-precision components to efficiently replicate human movements.

In parallel, control software was developed to enable real-time interaction between the user and the robotic hand, using a sensorized glove that captures the user's movements and transmits them to the robotic device. Communication between the glove and the robotic hand is conducted through an IoT system, which facilitates remote operation and allows the device to be used in different environments, thus enhancing its versatility.

Additionally, usability tests were designed, and iterations of the prototype were planned based on feedback from end users. This user-centered approach ensures that the final product is not only functional but also tailored to the real needs of the people who will use it. The document also includes a detailed activity schedule, an estimated budget, and an evaluation of potential risks, providing a comprehensive view of the project from conception to final implementation.

This project has the potential to offer an innovative solution in the field of robotic assistance, contributing to improving the independence and quality of life for people with motor disabilities in their upper limbs.

**Keywords:**

- Sensorized Glove
- Robotic Hand
- 3D Printing
- ESP32
- Wi-Fi
- Remote Control
- Robotics
- Motion Sensors
- Position Control
- Wireless Communication
- Automation
- Embedded Programming
- Communication Protocol

# ÍNDICE

# Contenido

## Contenido

TITULO .....	1
PROGRAMA EDUCATIVO .....	1
PRESENTA .....	1
PROFESORES DE CICLO: .....	1
EVALUADOR(A): .....	1
Resumen .....	2
ABSTRACT .....	4
ÍNDICE.....	6
CAPÍTULO I ANTECEDENTES .....	10
1.1 Logo Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones .....	11
1.2 Antecedentes.....	11
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	13
CAPÍTULO III DEFINICIÓN DEL PROYECTO .....	24
3.1 Planteamiento del problema .....	25
3.2 Justificación .....	26
3.3 Alcances y Restricciones .....	27
3.3.1 Alcance del Proyecto .....	27
3.3.2 Restricciones del Proyecto .....	28
3.4 Sustentabilidad y enfoque de agenda 2030 .....	29
3.4.1 ODS 3: Salud y Bienestar .....	29
3.4.2 ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura .....	30
3.5 Objetivo General.....	31
3.6 Objetivos específicos .....	31
3.6.1 Investigación y Análisis de Requisitos .....	31

3.6.2 Diseño del Sistema .....	31
3.6.3 Desarrollo de Software y Control .....	31
3.6.4 Prototipado y Pruebas .....	32
3.6.5 Documentación .....	32
 CAPÍTULO IV DESARROLLO DEL PROYECTO .....	 33
4.1 Desarrollo de las etapas .....	34
4.1.1 Primera etapa del proyecto .....	34
4.1.2 Segunda etapa del proyecto .....	34
4.1.3 Tercera etapa del proyecto .....	36
4.1.4 Cuarta etapa del proyecto .....	38
4.1.5 Quinta etapa del proyecto .....	39
4.2 Análisis de los resultados .....	42
 CAPÍTULO V CONCLUSIÓN .....	 45
 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA .....	 48
ANEXOS .....	52
Anexo 1 .....	52
Anexo 2 .....	53



## Tabla de ilustraciones

Figura 1 Logo Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones.....	11
Figura 2 MicroPython .....	14
Figura 3 Espectro Electromagnético .....	15
Figura 4 Espectro Radioeléctrico .....	16
Figura 5 DC vs AC .....	17
Figura 6 Resistencia en serie .....	18
Figura 7 Resistencia en paralelo .....	19
Figura 8 Arduino nano.....	21
Figura 9 PIN OUT ESP32 .....	22
Figura 10 Módulo RF Nrf124L01 .....	22
Figura 11 Sensor Flexible .....	23
Figura 12 Brazo robótico impreso en 3D.....	35
Figura 13 Guante sensorizado .....	36
Figura 14 Diagrama de conexión de la ESP32 con el Guante sensorizado .....	37
Figura 15 Conexión de la ESP32 con el Guante sensorizado.....	38
Figura 16 Visualización de valores del guante en la terminal.....	39
Figura 17 Brazo robótico funcionando.....	41
Figura 18 Integración de todas las partes del proyecto.....	42

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

## 1.1 Logo Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones



*Figura 1 Logo Ingeniería en Redes y Telecomunicaciones*

## 1.2 Antecedentes

Los avances en la robótica y las prótesis robóticas han transformado el panorama tecnológico en las últimas décadas, especialmente en el campo de la medicina y la asistencia a personas con discapacidades. Desde los primeros autómatas hasta las modernas prótesis controladas por señales mioeléctricas, la robótica ha evolucionado enormemente, permitiendo una interacción más natural entre los usuarios y los dispositivos artificiales. Estos avances han mejorado significativamente la calidad de vida de aquellos que dependen de prótesis robóticas.

Ramiro Cabás (2011), en su artículo “Un método para el diseño de brazos robóticos basado en el estado del sistema actuador”, propone un enfoque para el diseño de brazos robóticos que considera la capacidad de combinar e independizar los actuadores que mueven los elementos del robot. Este enfoque metodológico ha sido crucial para superar las limitaciones significativas en el diseño de brazos robóticos, permitiendo la exploración de nuevos materiales y estructuras innovadoras, abriendo así oportunidades para la experimentación y la investigación en el campo de la robótica.

En este contexto, el desarrollo de guantes sensorizados ha sido un hito importante en la interacción humano-robot (HRI). Equipados con sensores avanzados, como acelerómetros,

giroscopios y sensores de flexión, estos guantes capturan y transmiten los movimientos de los dedos y la mano en tiempo real, mejorando el control y la precisión en aplicaciones cruciales como la cirugía robótica y la rehabilitación. Además, Hower Ceballos (2012), en su análisis y diseño de un prototipo de brazo robótico, subraya la importancia de los microcontroladores, especialmente los PIC, que optimizan los procesos industriales gracias a su lógica programable y bajo consumo de energía, permitiendo un control eficiente del brazo robótico a través de interfaces USB.

La evolución de las manos robóticas, particularmente con la incorporación de tecnologías de fabricación aditiva como la impresión 3D, ha ampliado las posibilidades de personalización y accesibilidad en este campo. Desde los primeros intentos por replicar la complejidad de la mano humana hasta las manos robóticas modernas que imitan casi perfectamente sus capacidades, ha habido un avance constante en el diseño y la funcionalidad. Este progreso ha permitido la integración de sensores directamente en la estructura de la mano robótica, optimizando el espacio y reduciendo el peso total del dispositivo.

A nivel internacional, investigaciones como las de Youngblut et al. (1996) y Darío et al. (2000) han contribuido significativamente al entendimiento y desarrollo de sistemas de agarre y manipulación robótica. Youngblut et al. analizaron la fuerza de agarre del dedo índice humano, mientras que Darío et al. propusieron un sistema de manipulación antropomórfico para robots humanoides, incluyendo la coordinación sensoriomotora. Por otro lado, Banks (2001) exploró la simulación de la anatomía del dedo humano mediante el uso de aleaciones con memoria de forma, destacando los desafíos y las posibilidades que presenta la imitación de la función y forma humanas en la robótica.

El control de estas manos robóticas mediante guantes sensorizados requiere la implementación de sistemas de comunicación eficaces, como Bluetooth, Zigbee o Wi-Fi, que garanticen un control preciso y una respuesta rápida. Este desarrollo tecnológico es esencial para aplicaciones que demandan una interacción en tiempo real, donde la sincronización de movimientos y la minimización del tiempo de respuesta son críticos para el éxito de las tareas realizadas.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

## **C++**

C++ es un lenguaje de programación de alto nivel, diseñado en el año 1979 como una extensión del lenguaje C, incorporando la característica de la programación orientada a objetos. Este lenguaje es conocido por su amplia gama de aplicaciones, como lo son en los sistemas embebidos, el desarrollo de software de sistemas y el desarrollo de videojuegos.

## **MicroPython**

MicroPython es una implementación ligera del lenguaje de programación Python, diseñado para ejecutarse en microcontroladores y sistemas embebidos con recursos limitados. Desarrollado en 2013 por Damien George, MicroPython adapta Python 3 para funcionar en plataformas con restricciones de memoria y procesamiento, como el ESP8266, ESP32 y otros microcontroladores.

MicroPython permite a los desarrolladores escribir código Python para controlar hardware, realizar tareas de automatización y desarrollar aplicaciones de manera rápida y eficiente. Su diseño enfatiza la simplicidad y la facilidad de uso, facilitando el acceso a las funcionalidades del hardware a través de una interfaz Python familiar. Es especialmente popular en la comunidad de IoT y en proyectos educativos debido a su accesibilidad y flexibilidad.



*Figura 2 MicroPython*

## **Protocolo WI-FI**

El protocolo Wi-Fi es un estándar de comunicación inalámbrica que permite la conexión de dispositivos a redes de área local (LAN) mediante ondas de radio en las bandas de frecuencia de 2.4 GHz y 5 GHz. Desarrollado por la IEEE bajo el estándar 802.11, Wi-Fi es ampliamente

utilizado para proporcionar acceso a Internet y para la interconexión de dispositivos en redes domésticas, empresariales y públicas.

En el contexto de los módulos ESP32, que son conocidos por su capacidad de conectividad Wi-Fi integrada, el protocolo Wi-Fi se emplea para habilitar una variedad de aplicaciones en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT) y sistemas embebidos. Los módulos ESP32, como el ESP32-WROOM-32 y el ESP32-WROOM-32D, cuentan con un chipset que soporta el protocolo Wi-Fi y facilita la implementación de redes inalámbricas de manera eficiente.

## Espectro Electromagnético

El espectro electromagnético es el rango completo de todas las frecuencias de radiación electromagnética. Desde las ondas de radio de baja frecuencia hasta los rayos gamma de alta frecuencia, el espectro electromagnético abarca una amplia gama de aplicaciones en la ciencia, la tecnología y la medicina.

Este espectro se divide en regiones, donde cada una de estas tiene propiedades y aplicaciones específicas. Utilizando como ejemplo nuestro proyecto, las ondas de radio se utilizan en las comunicaciones inalámbricas. Mediante esta región del espectro electromagnético los módulos RF Nrf12401 se pueden comunicar.

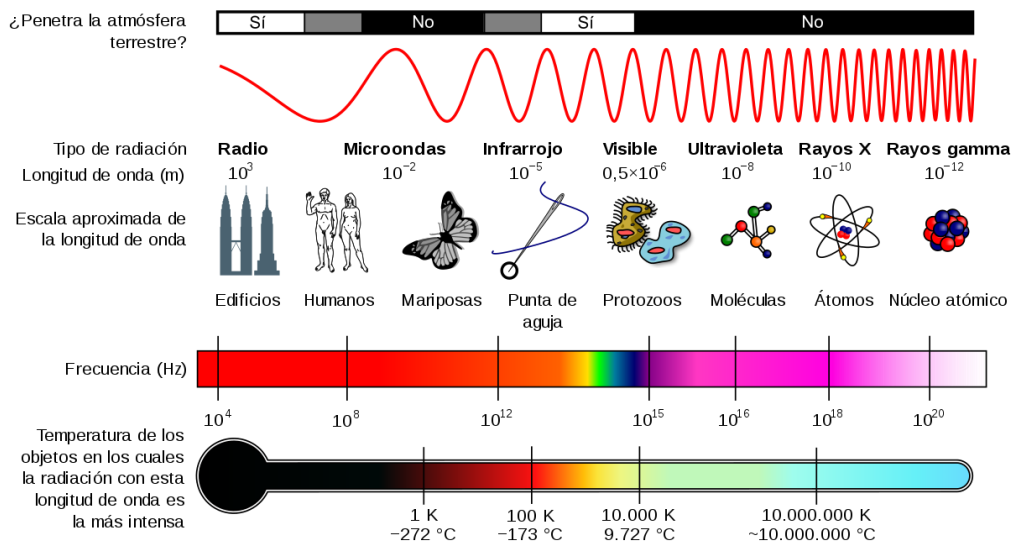


Figura 3 Espectro Electromagnético

## Espectro radioeléctrico

Esta es la parte de espectro electromagnético que comprende las frecuencias utilizadas para la transmisión de señales de radio y televisión, comunicaciones móviles y redes inalámbricas principalmente. Este espectro abarca desde las frecuencias más bajas (alrededor de 3 Hz) hasta las frecuencias de microondas (hasta 300 GHz).

Este espectro es finito, y debido a su amplio rango de aplicaciones hay organismos e instituciones que regula su uso a fin de evitar interferencias y asegurar un uso eficiente. Las bandas de frecuencia dentro del espectro radioeléctrico están asignadas para diferentes aplicaciones. Por ejemplo, las frecuencias más bajas son utilizadas para la radiodifusión de AM y FM, mientras que las frecuencias más altas se utilizan para comunicaciones satelitales y redes 5G.

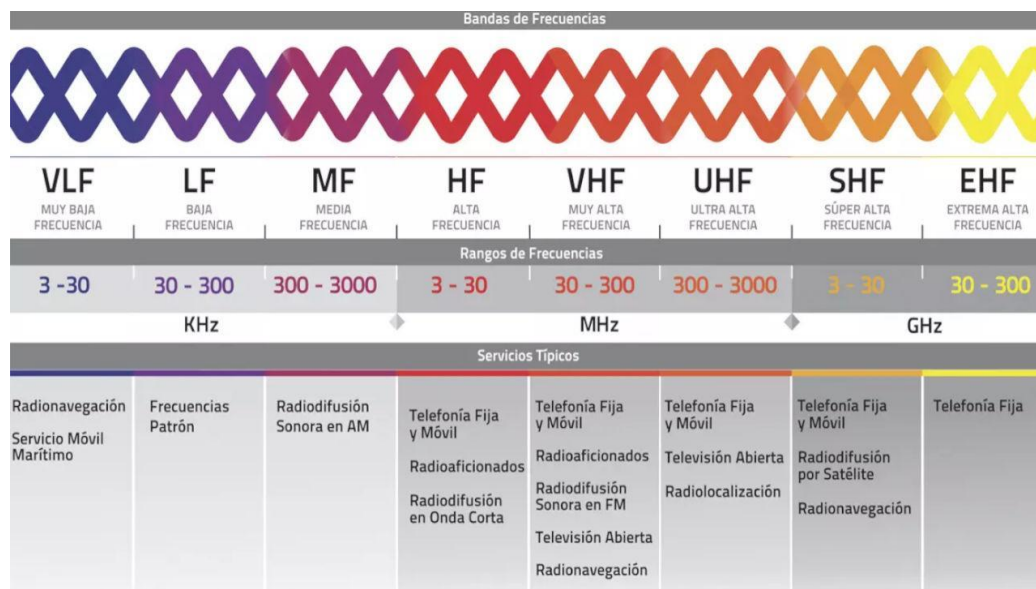


Figura 4 Espectro Radioeléctrico

## Frecuencia de transmisión

La frecuencia de transmisión se refiere al número de ciclos por segundo a los que una señal de radio o de otra forma de radiación electromagnética es transmitida. Se mide en hertzios (Hz), donde un hertzio equivale a un ciclo por segundo. La frecuencia de transmisión es un parámetro crucial en las comunicaciones inalámbricas, ya que determina las características de propagación de la señal y su capacidad para transportar información.



Aplicado y hablando de nuestro proyecto, el módulo RF NRF24L01 opera en la banda de frecuencia de 2.4 GHz, que es parte del espectro de frecuencia de la banda ISM. Esta banda es de uso libre en la mayoría de los países, lo que significa que no requiere licencia para operar dentro de ciertos límites de potencia.

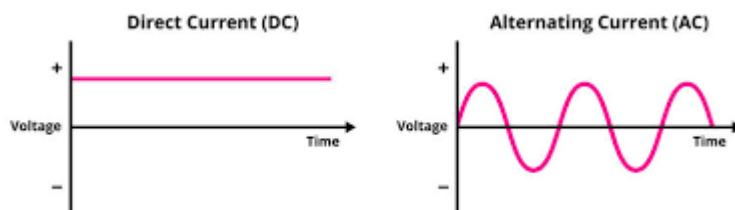
El RF NRF24L01 es capaz de comunicarse a frecuencias entre 2.400 GHz y 2.525 GHz, ofreciendo 125 canales distintos con un ancho de banda de 1 MHz cada uno. Esta capacidad permite la implementación de redes con múltiples dispositivos sin interferencias significativas, ya que cada dispositivo puede operar en un canal diferente.

### **Impresión 3D**

La impresión 3D es una tecnología de fabricación aditiva que crea objetos tridimensionales a partir de un modelo digital. A diferencia de los métodos de fabricación tradicionales que suelen ser sustractivos (eliminan material para crear la forma deseada), la impresión 3D construye objetos capa por capa, añadiendo material solo donde es necesario.

### **Corriente continua (DC)**

Este es el tipo de corriente en donde el flujo de electrones es continuo a través del tiempo y solo viaja en una dirección, lo que significa que no tiene cortes a lo largo del tiempo. A diferencia de la AC, donde la dirección del flujo de corriente cambia periódicamente, la DC mantiene una polaridad constante.



*Figura 5 DC vs AC*

### **Corriente alterna (AC)**

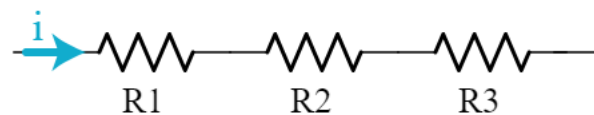
La Corriente Alterna es uno de los conceptos fundamentales en el campo de la electricidad y la electrónica, siendo una piedra angular en la generación, distribución y consumo de energía eléctrica a nivel mundial. A diferencia de la corriente continua (CC o DC, "Direct Current"),

donde el flujo de electrones se produce en una sola dirección, la corriente alterna se caracteriza por un flujo de carga eléctrica que cambia de dirección periódicamente.

La corriente alterna se genera mediante el uso de generadores de CA, en los que un conductor eléctrico, como un alambre, se mueve a través de un campo magnético, induciendo un flujo de electrones que cambia de dirección con el movimiento del conductor. Este proceso genera una onda sinusoidal, que es la representación gráfica de cómo varía la corriente alterna con el tiempo. La frecuencia de esta onda, medida en hertzios (Hz), indica cuántas veces por segundo cambia la dirección de la corriente. En la mayoría de los países, la frecuencia estándar es de 50 o 60 Hz.

### Resistencias en serie

Los resistores están en serie cuando están conectados del extremo de salida de uno al extremo de entrada del otro y no hay otros cables que se ramifiquen de los nodos entre los componentes.



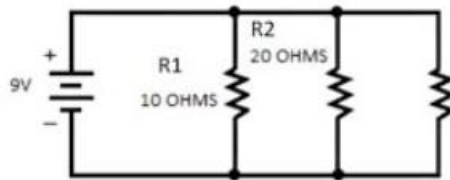
*Figura 6 Resistencia en serie*

Los resistores en serie comparten la misma corriente, pero el voltaje que pasa por cada resistor es diferente dependiendo de la capacidad de resistencia que tenga este (Khan Academy, 2006).

### Resistencias en Paralelo

En un circuito con resistores en serie, la corriente eléctrica sigue un único camino. En cambio, en un circuito de resistencias en paralelo, la corriente se divide, tomando diferentes caminos simultáneos. Esta distinción en la distribución de la corriente entre los circuitos en serie y en paralelo refleja la manera en que fluye la corriente a través de los componentes, ya sea de manera lineal y única en el caso de la serie, o dividiéndose en múltiples rutas en el caso del paralelo. Este concepto es crucial para entender cómo se comportan y diseñan los sistemas

eléctricos (Malvino, A. P., & Bates, 1991).



*Figura 7 Resistencia en paralelo*

### **Ley de Ohm**

La Ley de Ohm se emplea para establecer la conexión entre la diferencia de potencial (V), la corriente eléctrica (I) y la resistencia eléctrica (R) en un circuito eléctrico. Esta ley postula que la magnitud de la corriente eléctrica (I) que fluye a través de un circuito es directamente proporcional a la diferencia de potencial (V) aplicada entre los extremos de este, e inversamente proporcional a la resistencia eléctrica (R) del conductor (Colin,2021).

### **Ley de Kirchhoff**

La ley de Kirchhoff, tanto la ley de voltaje como la de corriente, constituyen la base esencial del análisis de circuitos eléctricos. Estas leyes, junto con las ecuaciones específicas para cada componente individual, como resistores, condensadores e inductores, conforman el conjunto fundamental de herramientas que nos capacitan para iniciar el análisis detallado de los circuitos eléctricos. La aplicación conjunta de estas leyes y ecuaciones proporciona un marco integral que permite comprender y resolver una amplia variedad de configuraciones de circuitos electrónicos. Este enfoque se revela como indispensable para abordar la complejidad de los circuitos y facilita la resolución de problemas eléctricos con precisión y eficacia (Khan Academy, 2017).

Esta ley establece que la suma algebraica de las corrientes en un nodo (punto de conexión en un circuito) es igual a cero. Es decir, la cantidad de corriente que entra en un nodo es igual a la cantidad que sale.

### **Protoboard**

Un protoboard, también conocido como placa de pruebas, es un dispositivo utilizado en electrónica para construir y probar prototipos de circuitos sin la necesidad de soldar los

componentes. Es una placa con orificios conectados eléctricamente que permite insertar y conectar de manera temporal componentes electrónicos, como resistores, transistores, cables y circuitos integrados (Jiménez Rodríguez, no especifica).

Esta placa está conformada por una serie de orificios conectados eléctricamente, organizados en filas y columnas, que permiten la inserción de componentes electrónicos de manera temporal. Entre los componentes más comúnmente utilizados en un protoboard se encuentran resistores, transistores, cables, y circuitos integrados. La disposición de estos orificios facilita la conexión y la interconexión de los componentes mediante la utilización de cables puente, posibilitando así la creación de circuitos complejos de manera intuitiva y sin la necesidad de herramientas especializadas.

El protoboard es particularmente útil en las fases iniciales del proceso de diseño y prototipado, ya que permite a los diseñadores y estudiantes experimentar con diferentes disposiciones de componentes antes de comprometerse con la implementación final. Además, al no requerir soldaduras, facilita la reutilización de componentes para múltiples pruebas y experimentos, lo que agiliza el proceso de desarrollo de proyectos electrónicos.

### **Servomotor**

Un servomotor es un dispositivo electromecánico que convierte señales eléctricas en movimiento preciso y controlado. Este tipo de motor se distingue por su capacidad para controlar tanto la posición angular como la velocidad de un eje. Los servomotores son esenciales en aplicaciones donde se requiere un control exacto de movimiento, como en robótica, automatización industrial y modelismo.

### **Arduino Nano**

Este tipo de Arduino es una de las variantes mas compactas de las placas de desarrollo Arduino, ampliamente utilizada en proyectos de electrónica y programación. Esta placa es ideal para proyectos donde el espacio es limitado y se requiere una solución pequeña pero potente.



*Figura 8 Arduino nano*

## **ESP 32**

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems. Lanzado en 2016, es una evolución del popular ESP8266, y está diseñado para aplicaciones que requieren conectividad inalámbrica y procesamiento de datos en sistemas embebidos.

Este microcontrolador integra una variedad de características avanzadas, incluyendo conectividad Wi-Fi y Bluetooth (Classic y BLE), lo que lo convierte en una opción versátil para el desarrollo de proyectos de Internet de las Cosas (IoT) y sistemas de automatización. Su capacidad para manejar múltiples protocolos de comunicación permite a los desarrolladores crear aplicaciones que requieren interconexión entre dispositivos y control remoto eficiente.

El ESP32 cuenta con un procesador de doble núcleo con una velocidad de hasta 240 MHz, lo que proporciona un rendimiento elevado para el procesamiento de datos y la ejecución de tareas en tiempo real. Además, incluye una serie de periféricos integrados, como ADCs, DACs, temporizadores, y una variedad de interfaces de comunicación (SPI, I2C, UART), que facilitan la integración con otros componentes electrónicos y sensores.

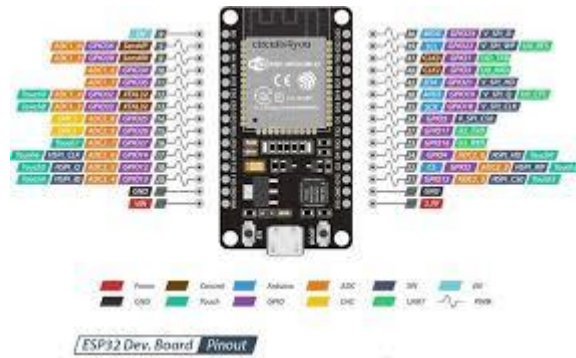


Figura 9 PIN OUT ESP32

## Módulo RF Nrf124L01

El módulo RF NRF24L01 es un transceptor inalámbrico de 2.4 GHz ampliamente utilizado para la comunicación inalámbrica de datos entre dispositivos electrónicos. Este módulo es conocido por su bajo consumo de energía y su capacidad para transmitir datos a alta velocidad, lo que lo hace ideal para aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT), domótica y sistemas de control remoto.

El NRF24L01 permite la comunicación bidireccional y soporta múltiples canales de comunicación, lo que facilita la implementación de redes de malla y sistemas de múltiples nodos.

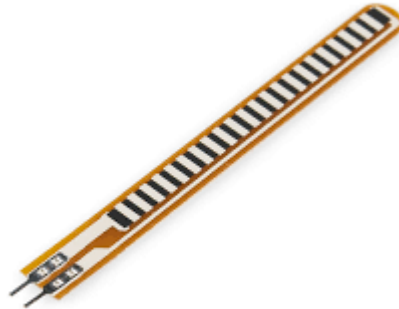


Figura 10 Módulo RF Nrf124L01

## Sensor flexible

Un sensor flexible es un dispositivo que puede detectar cambios en la resistencia eléctrica cuando se dobla o flexiona. Estos sensores son extremadamente útiles en aplicaciones donde se necesita medir movimientos, deformaciones o posiciones, como en dispositivos vestibles, robótica y interfaces humanas.

El sensor flexible está compuesto por un material resistivo que cambia su resistencia cuando se deforma. Cuando el sensor se dobla, la resistencia aumenta o disminuye dependiendo de la dirección y el grado de flexión. Este cambio en resistencia puede ser medido y convertido en una señal eléctrica utilizable por microcontroladores y sistemas de control.



*Figura 11 Sensor Flexible*

# **CAPÍTULO III**

## **DEFINICIÓN**

### **DEL PROYECTO**



### **3.1 Planteamiento del problema**

El planteamiento del problema se centra en la necesidad crítica de mejorar la autonomía y funcionalidad de las personas con movilidad limitada en las extremidades superiores, especialmente en las manos. La movilidad en estas extremidades es esencial para llevar a cabo una variedad de actividades diarias, desde las más simples, como alimentarse o vestirse, hasta aquellas que requieren mayor destreza manual. Esta capacidad es crucial para mantener la independencia y una buena calidad de vida. Cuando una persona sufre una limitación en la movilidad de las manos, ya sea debido a una discapacidad congénita, una lesión, una enfermedad degenerativa, o un accidente cerebrovascular, enfrenta grandes desafíos en su vida diaria. La pérdida de autonomía en actividades básicas puede llevar a una dependencia significativa de cuidadores, afectar la autoestima, e incluso provocar la exclusión social.

A pesar de los avances en tecnología médica y robótica, persiste una demanda considerable de dispositivos que puedan restaurar o mejorar la funcionalidad de las manos en personas con discapacidades motoras. Las prótesis tradicionales, aunque útiles, a menudo no logran replicar la complejidad y precisión del movimiento humano, limitando así su eficacia. Los dispositivos actuales, como las prótesis mecánicas o los dispositivos de asistencia, suelen ser costosos, difíciles de personalizar, y no siempre proporcionan el control y naturalidad necesarios para realizar movimientos finos, lo que subraya la necesidad de desarrollar soluciones más avanzadas y accesibles.

El problema central radica en la falta de dispositivos efectivos, accesibles y adaptables que puedan restaurar la funcionalidad de las manos en personas con movilidad limitada en las extremidades superiores. La tecnología disponible no siempre permite un control preciso y natural de las prótesis, lo que restringe la capacidad de los usuarios para llevar a cabo tareas cotidianas de manera independiente. Por ello, se plantea como objetivo específico desarrollar un prototipo de mano robótica capaz de replicar los movimientos naturales de una mano humana, controlado mediante un microcontrolador y un guante sensorizado. Este dispositivo deberá ser adaptable a las necesidades individuales de cada usuario, ofreciendo un mayor grado de control y funcionalidad que las soluciones existentes.

El desarrollo exitoso de este prototipo podría representar un avance significativo en la rehabilitación y asistencia de personas con discapacidades en las extremidades superiores, mejorando su autonomía y calidad de vida. Además, este proyecto no solo beneficiaría a los usuarios finales, sino que también contribuiría al avance de la investigación y desarrollo en el campo de la robótica aplicada a la salud, abriendo nuevas posibilidades para la creación de dispositivos de asistencia más avanzados. Dada la importancia de la movilidad de las manos en la vida diaria y la insuficiencia de las soluciones actuales, existe una necesidad urgente de innovar en el diseño y desarrollo de prótesis que ofrezcan un control más natural y eficiente. Este proyecto busca abordar esta necesidad, ofreciendo una solución práctica y accesible que podría transformar la vida de muchas personas.

### **3.2 Justificación**

La movilidad de las extremidades superiores es indispensable para poder realizar prácticamente todas las actividades que se realizan diariamente, desde actividades que parecen simples, como el vestirse y comer los alimentos hasta las que necesitan una mayor capacidad de coordinación, como escribir o realizar trabajos con herramientas, no es posible llevarlas a cabo si no disponemos al cien por ciento de la movilidad y fuerza de nuestras manos. Las personas que sufren de los problemas descritos previamente enfrentan grandes desafíos que impactan su calidad de vida y su capacidad para participar plenamente en la sociedad. Este proyecto, que propone el desarrollo de un prototipo de mano robótica controlada por un microcontrolador Arduino y un guante sensorizado, busca ofrecer una solución innovadora y accesible para mejorar la autonomía y funcionalidad de estas personas.

Este proyecto, propone una solución innovadora y accesible para mejorar la autonomía y funcionalidad de estas personas. En este sentido, nos basamos en la metodología propuesta por Ramiro Cabas (2011) en su tesis "Metodología de diseño de manos robóticas basada en los estados de su sistema accionador". Esta metodología se centra en el diseño de manos robóticas considerando la capacidad de combinar diversos actuadores y hacerlos operativamente independientes, lo que nos permite desarrollar un dispositivo que puede

replicar de manera efectiva los movimientos naturales de la mano y adaptarse a las necesidades específicas de cada usuario.

### **3.3 Alcances y Restricciones**

#### **3.3.1 Alcance del Proyecto**

El programa se implementará en varias etapas, comenzando con la investigación y el análisis de necesidades, como las necesidades médicas de las personas con problemas de movilidad en las extremidades superiores.

Se determinarán y documentarán las especificaciones técnicas y funcionales necesarias para el diseño de la mano robótica. Luego se implementará el diseño mecánico del guante sensorizado para proporcionar suficiente funcionalidad y ergonomía a la mano. Se seleccionarán y diseñarán los componentes electrónicos y sensores necesarios para el control y seguimiento del brazo robótico.

La fase de desarrollo de software y control diseñará el software necesario para controlar el robot, incluida la programación del microcontrolador y la integración de sensores. Además, se introducirá un sistema de comunicación IoT, que permitirá el control remoto del robot, garantizando la seguridad y fiabilidad de la conexión, seguido de la construcción, se realizarán pruebas preliminares para verificar su funcionamiento. Se realizarán pruebas de funcionalidad y ergonomía con usuarios finales, incluidas personas con problemas de movilidad en las extremidades superiores (especialmente las manos), para obtener comentarios y realizar los ajustes necesarios.

Finalmente, se documentará detalladamente el proceso de diseño, desarrollo e implementación del robot, incluyendo manuales de usuario y mantenimiento.

El proyecto espera crear un prototipo funcional de una mano robótica que pueda controlarse mediante un guante táctil y replicar los movimientos naturales de la mano del usuario. También se espera desarrollar un sistema de software que pueda integrar datos de sensores de guantes para proporcionar un control preciso y coordinado de la mano del robot. El documento completo del proyecto detallará todo el proceso de desarrollo, desde el diseño hasta la implementación y las pruebas, incluidos los manuales de uso y mantenimiento.

En el ámbito social, este proyecto beneficiará a personas con movimientos limitados de los miembros superiores (especialmente de las manos), mejorando su calidad de vida y facilitando su integración en las actividades diarias. En el ámbito de la educación se generarán conocimientos y métodos que podrán utilizarse en futuros proyectos para el desarrollo de prótesis y ayudas robóticas.

Las limitaciones del proyecto incluyen aspectos técnicos, de tiempo y de recursos. Técnicamente, el proyecto se centrará inicialmente en la creación de un prototipo en lugar de la producción en masa, y la funcionalidad se limitará a replicar movimientos básicos de la mano con posibilidad de expansión futura. Por ahora, la creación del prototipo y las pruebas se llevarán a cabo durante un período de tiempo y se revisarán y ajustarán en función de los resultados de las pruebas del usuario final. En cuanto a recursos, el proyecto dependerá de los recursos económicos y materiales disponibles para comprar componentes.

Los beneficios esperados de este proyecto son múltiples. Se espera que los usuarios mejoren su autonomía y capacidad para realizar actividades diarias, así como también mejoren significativamente la calidad de vida de las personas con movimientos limitados de las manos. El objetivo del proyecto no es sólo proporcionar soluciones prácticas y efectivas para personas con problemas de movilidad en los miembros superiores, sino también contribuir a los logros tecnológicos de la robótica y las prótesis de acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con la salud y el bienestar, la tecnología y la innovación.

### **3.3.2 Restricciones del Proyecto**

**Prototipo Inicial:** El proyecto se enfocará en desarrollar un prototipo funcional en lugar de una solución de producción en masa. Este prototipo servirá como prueba de concepto para establecer las bases de un diseño más avanzado y escalable. No se garantizará una solución finalizada ni de producción a gran escala en esta fase.

**Funcionalidad Limitada:** La funcionalidad del prototipo estará limitada a la replicación de movimientos básicos de la mano. La capacidad del prototipo para realizar movimientos complejos o adaptarse a diferentes tamaños y formas de mano será una de las áreas a explorar en fases futuras del desarrollo.

**Tiempo y Recursos:** La fase actual del proyecto se llevará a cabo dentro de un período de tiempo definido y con recursos limitados. La investigación, desarrollo, y pruebas se realizarán con los recursos disponibles, lo que puede restringir el alcance y la profundidad del prototipo inicial.

**Desarrollo Futuro:** El proyecto no contempla la creación de una solución comercial completa en esta etapa. En lugar de ello, se pretende utilizar el prototipo como base para futuras investigaciones y desarrollos que permitirán la escalabilidad y la mejora continua del diseño.

**Validación y Ajustes:** El prototipo será evaluado y ajustado en función de los resultados de las pruebas preliminares y de las pruebas con usuarios finales. Los ajustes se basarán en los comentarios obtenidos, lo que puede llevar a cambios significativos en el diseño en fases posteriores.

**Dependencia de Recursos:** La disponibilidad de recursos económicos y materiales limitará el alcance de la implementación del prototipo. Las limitaciones en el presupuesto y en el acceso a componentes pueden afectar el diseño y las características del prototipo inicial.

**Documentación y Manuales:** Aunque se documentará el proceso de desarrollo, la documentación y los manuales generados se centrarán en el prototipo y sus características actuales, no en un producto final de producción en masa. La documentación servirá como base para futuras iteraciones y mejoras.

### **3.4 Sustentabilidad y enfoque de agenda 2030**

Este proyecto contribuye directamente a 2 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), y aporta de la siguiente manera:

#### **3.4.1 ODS 3: Salud y Bienestar**

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 3 se centra en asegurar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. Este proyecto contribuye de manera significativa a

este objetivo al proporcionar una solución tecnológica que mejora la calidad de vida de las personas con problemas de movilidad en las manos.

- **Mejora de la Autonomía Personal:** El prototipo de la mano robótica permitirá a los usuarios con movilidad reducida realizar tareas diarias que de otro modo serían difíciles o imposibles. Esto incluye actividades esenciales como comer, escribir, o manejar objetos, lo que incrementa la independencia y autonomía de los usuarios.
- **Facilitación de Actividades Diarias:** Al ofrecer una herramienta que replica los movimientos naturales de la mano, el proyecto ayuda a las personas a integrar de nuevo estas actividades en su vida cotidiana. Esto no solo mejora su funcionalidad física, sino también su bienestar emocional al reducir la frustración y el aislamiento asociado con la discapacidad.
- **Impacto en la Salud Mental:** La posibilidad de realizar tareas cotidianas y mantener una mayor independencia tiene un impacto positivo en la salud mental de los usuarios, al reducir el estrés y aumentar su autoestima y sentido de logro.

### **3.4.2 ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura**

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 busca construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible, y fomentar la innovación. Este proyecto contribuye a este objetivo de varias maneras:

- **Impulso a la Innovación Tecnológica:** El uso de tecnologías avanzadas, como el diseño en 3D y los microcontroladores ESP32, no solo facilita el desarrollo del prototipo, sino que también representa un avance en la creación de prótesis y dispositivos de asistencia. Esto fomenta la innovación en el campo de la robótica y la ingeniería biomédica.
- **Desarrollo de Nuevas Soluciones:** Al integrar sensores, microcontroladores y diseño mecánico en un sistema cohesivo, el proyecto ofrece una solución avanzada y accesible para problemas de movilidad. Esto puede inspirar y motivar a otros en la industria a explorar nuevas aplicaciones y desarrollos tecnológicos en el campo de las prótesis y asistencia.
- **Accesibilidad y Escalabilidad:** La utilización de tecnologías accesibles y la posibilidad de

desarrollar prototipos escalables permite que estas innovaciones sean más accesibles para una gama más amplia de usuarios. Esto contribuye a la expansión de soluciones avanzadas a un mayor número de personas, promoviendo la inclusión en el acceso a tecnologías asistidas.

- **Creación de Conocimientos y Capacidades:** El proyecto también contribuye a la construcción de capacidades en la comunidad de ingeniería y tecnología, generando conocimientos y metodologías que pueden ser aplicados en futuros desarrollos de prótesis y dispositivos robóticos. Esto fortalece la infraestructura de innovación en el sector.

### **3.5 Objetivo General**

Diseñar, desarrollar e implementar una mano robótica controlada a distancia utilizando tecnología IoT, con el propósito de satisfacer necesidades médicas en el ámbito de la rehabilitación y asistencia a personas con discapacidades en las extremidades superiores.

### **3.6 Objetivos específicos**

#### **3.6.1 Investigación y Análisis de Requisitos**

- Realizar un análisis exhaustivo de las necesidades médicas de personas con discapacidades en las extremidades superiores.
- Identificar y documentar las especificaciones técnicas y funcionales necesarias para el diseño de la mano robótica.

#### **3.6.2 Diseño del Sistema**

- Diseñar la estructura mecánica de la mano robótica, asegurando la funcionalidad y ergonomía adecuada para su uso.
- Seleccionar y diseñar los componentes electrónicos y sensores necesarios para el control y monitoreo de la mano robótica.

#### **3.6.3 Desarrollo de Software y Control**

- Desarrollar el software necesario para el control de la mano robótica, incluyendo la programación de los microcontroladores y la integración de los sensores.
- Implementar un sistema de comunicación IoT que permita el control remoto de la mano robótica, asegurando la seguridad y la fiabilidad de la conexión.

#### **3.6.4 Prototipado y Pruebas**

- Crear un prototipo funcional de la mano robótica y realizar pruebas iniciales para verificar su funcionamiento y rendimiento.
- Realizar pruebas de usabilidad y ergonomía con usuarios finales, incluyendo a personas con problemas de movilidad en las extremidades superiores, específicamente hablamos de la mano, para obtener retroalimentación y realizar ajustes necesarios.

#### **3.6.5 Documentación**

- Documentar detalladamente el proceso de diseño, desarrollo e implementación de la mano robótica.



# **CAPÍTULO IV**

## **DESARROLLO**

### **DEL PROYECTO**

## **4.1 Desarrollo de las etapas**

### **4.1.1 Primera etapa del proyecto**

La primera etapa del proyecto, dedicada a la "Investigación y Análisis de Requisitos," se centró en realizar un análisis exhaustivo de las necesidades médicas de personas con discapacidades en las extremidades superiores. Este análisis se llevó a cabo para identificar y documentar las especificaciones técnicas y funcionales necesarias para el diseño de una mano robótica. Durante esta fase, se investigaron diversas fuentes y estudios que aportaran información relevante sobre las condiciones y requerimientos específicos de los potenciales usuarios de la prótesis robótica. Se abordaron aspectos como la ergonomía, la funcionalidad, y la adaptación a distintos niveles de discapacidad, asegurando que la solución propuesta no solo sea tecnológicamente viable, sino también efectiva y accesible para su aplicación en el ámbito de la rehabilitación.

Además, se analizaron las tecnologías disponibles y las limitaciones técnicas que podrían influir en el desarrollo del proyecto. Este análisis incluyó la evaluación de sensores, actuadores, y microcontroladores que permitirían la replicación precisa de los movimientos de la mano humana, así como la integración de un sistema de comunicación IoT para el control remoto de la prótesis. La etapa concluyó con la documentación de los requisitos, la cual sentó las bases para el diseño y desarrollo de las siguientes etapas del proyecto, garantizando que todos los aspectos críticos fueran considerados desde el inicio.

### **4.1.2 Segunda etapa del proyecto**

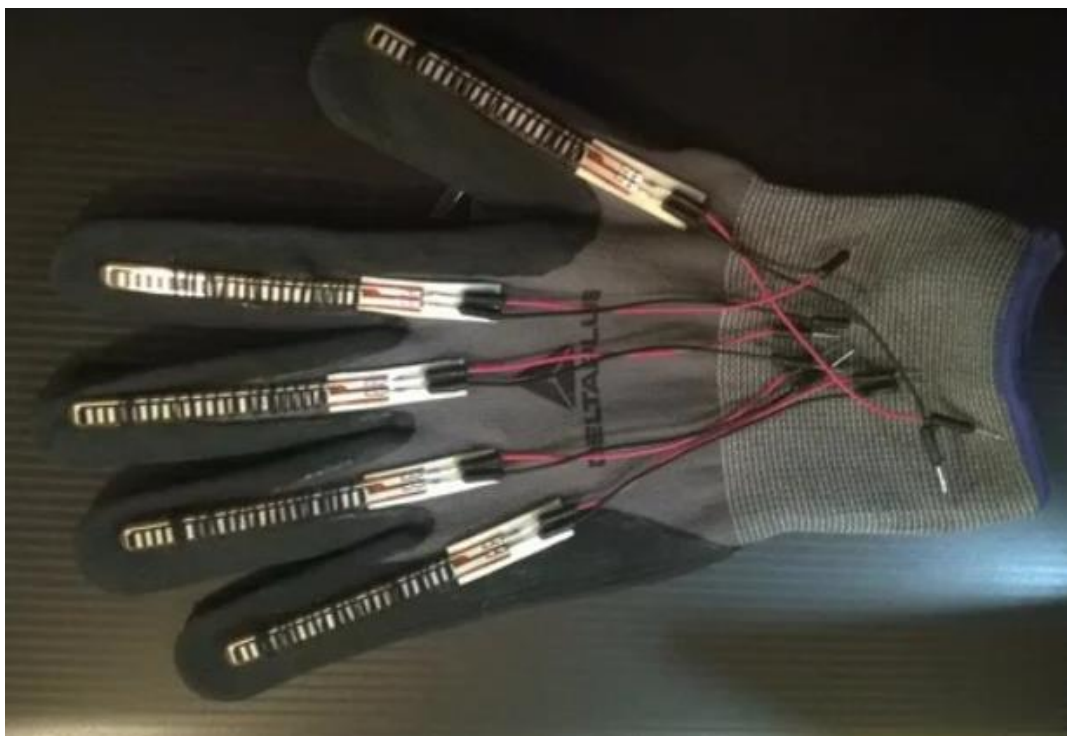
La segunda etapa del proyecto se dedicó al Diseño del Sistema, donde el enfoque principal fue el desarrollo de la estructura mecánica y la selección de los componentes electrónicos de la mano robótica. Se diseñó la estructura mecánica de la mano robótica con el objetivo de asegurar tanto su funcionalidad como su ergonomía, lo que es crucial para su utilización efectiva en aplicaciones reales. Este diseño consideró aspectos como la resistencia y flexibilidad de los materiales utilizados, así como la capacidad de la mano para replicar movimientos naturales y ofrecer comodidad al usuario.



*Figura 12 Brazo robótico impreso en 3D*

Paralelamente, se seleccionaron y diseñaron los componentes electrónicos y sensores necesarios para el control y monitoreo de la mano robótica. Esto incluyó la elección de sensores de alta precisión para capturar los movimientos del usuario, así como la integración de microcontroladores que permitieran un procesamiento rápido y eficiente de las señales. Además, se consideró la implementación de un sistema de retroalimentación que permitiera al usuario percibir la fuerza aplicada y mejorar el control sobre la mano robótica.

El diseño de esta etapa fue fundamental para establecer las bases del sistema, garantizando que todos los componentes trabajaran de manera conjunta para ofrecer una solución robusta y eficiente.



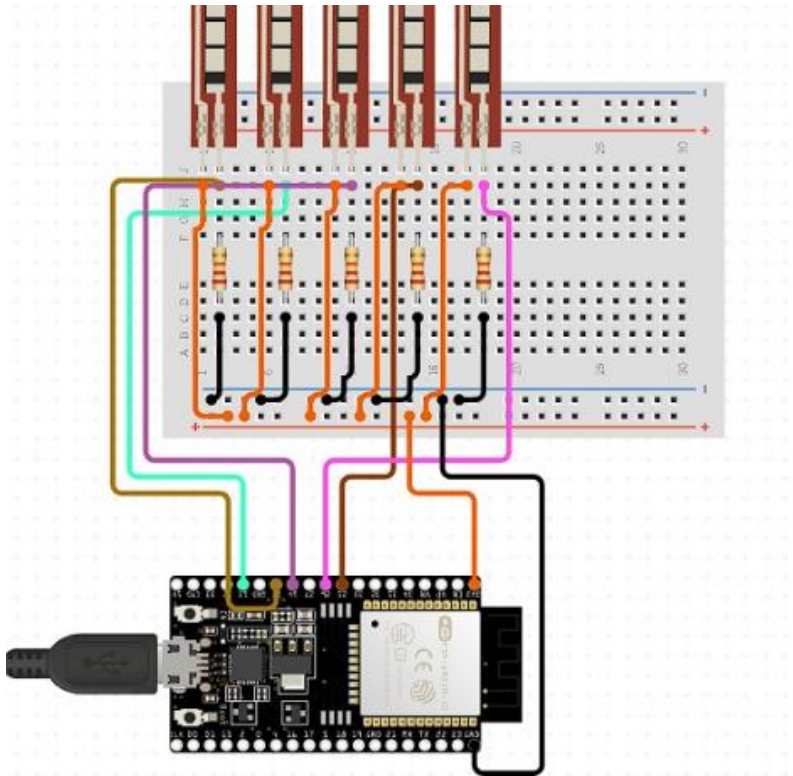
*Figura 13 Guante sensorizado*

#### 4.1.3 Tercera etapa del proyecto

En la tercera etapa del proyecto, titulada "Desarrollo de Software y Control", se centró en la creación del software necesario para manejar y controlar la mano robótica, así como en la implementación de un sistema de comunicación basado en IoT para el control remoto del dispositivo. Esta fase fue crucial para asegurar que la mano robótica funcionara de manera eficiente y confiable, permitiendo a los usuarios interactuar con el dispositivo a través de una interfaz intuitiva y accesible. En el **Anexo 1** y **Anexo 2** se encuentran los códigos de programación implementado en los microcontroladores.

Primero, se desarrolló el software principal que controla la mano robótica, lo cual incluyó la programación de los microcontroladores responsables de gestionar los movimientos de la mano. Estos microcontroladores fueron programados utilizando lenguajes específicos para sistemas embebidos, como C++ y MicroPython, lo que permitió optimizar el rendimiento del hardware y asegurar que los movimientos de la mano robótica fueran precisos y rápidos. Inicialmente, la programación se realizó utilizando una tarjeta Arduino Nano, con el software desarrollado en C++, y la comunicación se basaba en antenas RF. Sin embargo, debido a la

cantidad de información que se debía transmitir y la necesidad de una conexión más robusta, se decidió migrar a una tarjeta más potente como la ESP32, que permitió utilizar Wi-Fi para la comunicación, mejorando así la velocidad y fiabilidad del sistema.



*Figura 14 Diagrama de conexión de la ESP32 con el Guante sensorizado*

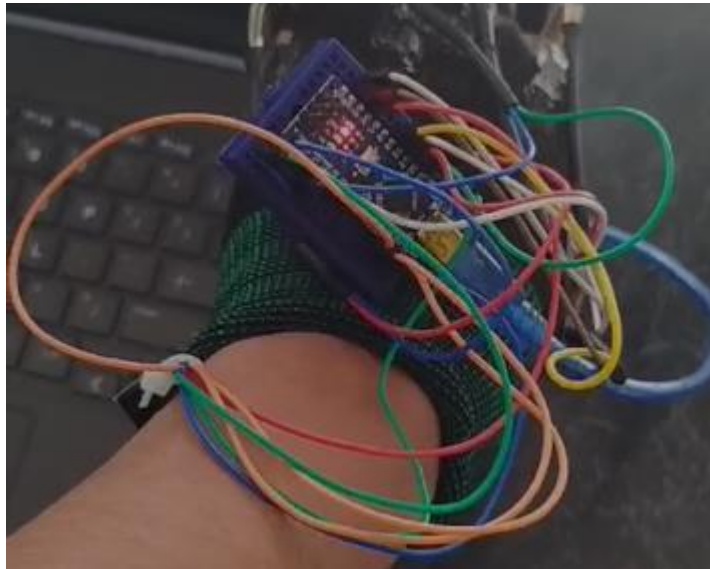
La integración de sensores también fue una parte fundamental de esta etapa. Se incorporaron sensores en la estructura de la mano para monitorear continuamente las posiciones y fuerzas aplicadas, lo que permitió al software ajustar los movimientos de la mano en tiempo real. Esta integración fue clave para asegurar que la mano robótica replicara los movimientos humanos de manera natural y precisa.

Además, se implementó un sistema de comunicación IoT para permitir el control remoto de la mano robótica. Con la transición a la tarjeta ESP32, el sistema utilizó protocolos de comunicación inalámbrica, como Wi-Fi, para conectar la mano robótica a una interfaz de usuario remota, permitiendo a los usuarios operar el dispositivo desde cualquier lugar con acceso a Internet. La seguridad y la fiabilidad de la conexión fueron aspectos críticos en este desarrollo, y se tomaron medidas para asegurar que la comunicación fuera estable y segura,

evitando posibles interferencias o desconexiones que pudieran afectar el funcionamiento de la mano robótica.

#### **4.1.4 Cuarta etapa del proyecto**

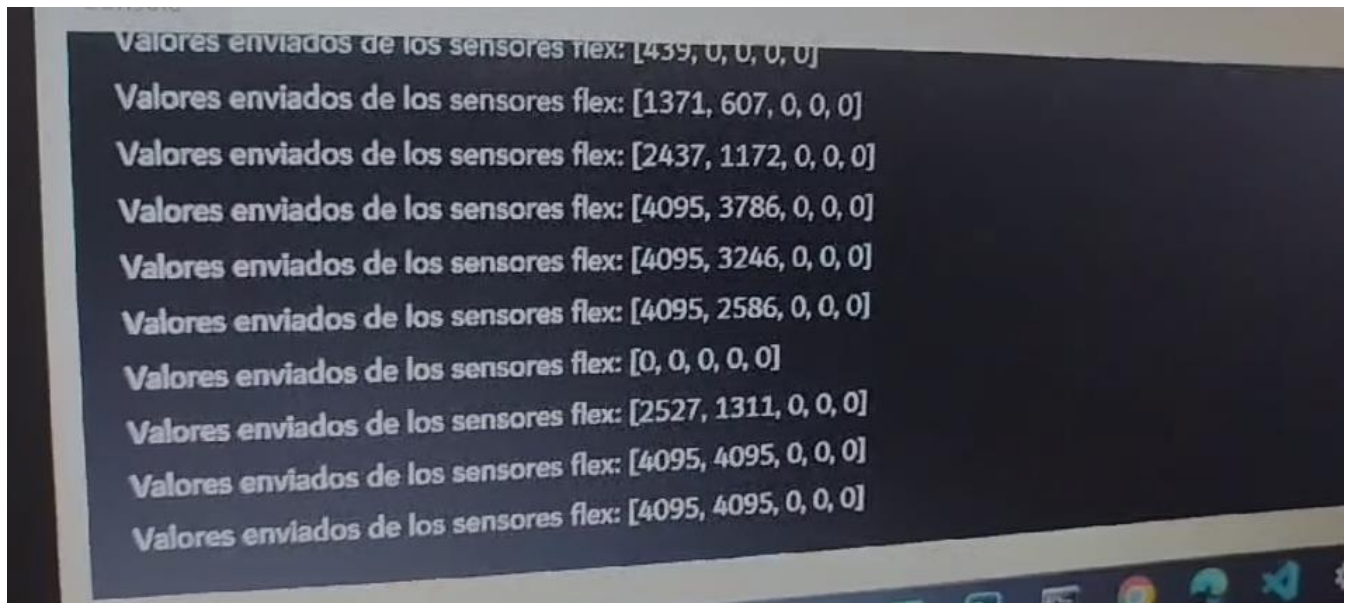
En la cuarta etapa del proyecto, titulada "Prototipado y Pruebas," se abordó la creación de un prototipo funcional de la mano robótica y la realización de pruebas exhaustivas para verificar su funcionamiento y rendimiento. Esta fase fue esencial para transformar los diseños teóricos y los componentes desarrollados en etapas anteriores en un dispositivo tangible y operable. El prototipo desarrollado integró cuidadosamente tanto los componentes mecánicos como los electrónicos, lo que permitió replicar con alta precisión los movimientos naturales de una mano humana. Durante esta etapa, se prestó especial atención a asegurar que todos los aspectos del diseño se materializaran correctamente, garantizando que el dispositivo no solo fuera funcional, sino también eficiente y fiable en su operación.



*Figura 15 Conexión de la ESP32 con el Guante sensorizado*

Una vez completado el prototipo, se llevaron a cabo pruebas iniciales para verificar su funcionamiento y rendimiento. Estas pruebas incluyeron la evaluación del sistema de control, la precisión de los movimientos y la respuesta de los sensores integrados. Se sometió el prototipo a diversas condiciones de uso para asegurarse de que cumpliera con las especificaciones técnicas establecidas en las fases anteriores del proyecto. El objetivo de estas

pruebas preliminares fue identificar posibles fallos o áreas de mejora antes de avanzar hacia la siguiente fase de pruebas con usuarios finales.



*Figura 16 Visualización de valores del guante en la terminal*

Posteriormente, se realizaron pruebas de usabilidad. Estas pruebas fueron fundamentales para evaluar cómo el dispositivo se adaptaba a las necesidades reales de los usuarios y cómo respondía en situaciones de uso cotidiano. Los participantes en estas pruebas proporcionaron retroalimentación directa sobre la comodidad, la facilidad de uso, y la efectividad del dispositivo en mejorar su movilidad. Esta retroalimentación fue analizada minuciosamente para identificar ajustes y mejoras que podrían implementarse en el prototipo. Las modificaciones basadas en estas observaciones permitieron refinar el diseño, mejorando tanto la usabilidad como la ergonomía del dispositivo, asegurando que el producto final no solo sea tecnológicamente avanzado, sino también verdaderamente útil y accesible para sus usuarios finales.

Esta etapa culminó con un prototipo que no solo funcionaba de acuerdo con las expectativas técnicas, sino que también estaba optimizado para ofrecer una experiencia de usuario positiva, demostrando así el potencial del proyecto para proporcionar una solución efectiva a las personas con movilidad reducida en las manos.

#### **4.1.5 Quinta etapa del proyecto**

En la etapa 5 del proyecto, el enfoque principal fue la documentación exhaustiva de todo el proceso de diseño, desarrollo e implementación de la mano robótica. Esta fase fue crucial para consolidar el trabajo realizado durante las etapas anteriores, asegurando que cada aspecto del proyecto estuviera claramente registrado y organizado. La documentación abarcó desde la concepción inicial del proyecto, pasando por la investigación y análisis de requisitos, el diseño del sistema, el desarrollo de software, la construcción del prototipo, y las pruebas de funcionalidad y usabilidad.

En cuanto al proceso de diseño, se detallaron los conceptos teóricos y las decisiones clave que guiaron la creación de la estructura mecánica de la mano robótica. Esto incluyó la selección de materiales, la disposición de los actuadores y sensores, y cómo se integraron estos elementos para replicar de manera fiel los movimientos naturales de una mano humana. Se documentaron los criterios de diseño utilizados para asegurar que el dispositivo no solo fuera funcional, sino también ergonómicamente adecuado para su uso prolongado por personas con movilidad reducida en las manos.

Para el desarrollo del software, la documentación incluyó la descripción del código fuente, los algoritmos implementados, y las técnicas utilizadas para optimizar el rendimiento de los microcontroladores y sensores. Se explicó cómo se programaron inicialmente los microcontroladores utilizando Arduino Nano y C++, y cómo se migró a la plataforma ESP32 debido a la necesidad de una comunicación más robusta y eficiente a través de Wi-Fi. También se documentaron los desafíos técnicos enfrentados durante esta transición y las soluciones implementadas para superarlos.

En la fase de implementación, se registraron los pasos seguidos para ensamblar el prototipo funcional de la mano robótica, detallando las pruebas iniciales realizadas para verificar su rendimiento. Esta parte de la documentación incluyó diagramas de montaje, listas de componentes, y procedimientos de prueba, lo que facilita la replicación del proyecto por otros investigadores o desarrolladores. Asimismo, se documentaron los ajustes y modificaciones realizados al prototipo en base a la retroalimentación obtenida durante las pruebas de usabilidad con usuarios finales, asegurando que estos cambios estuvieran bien justificados y

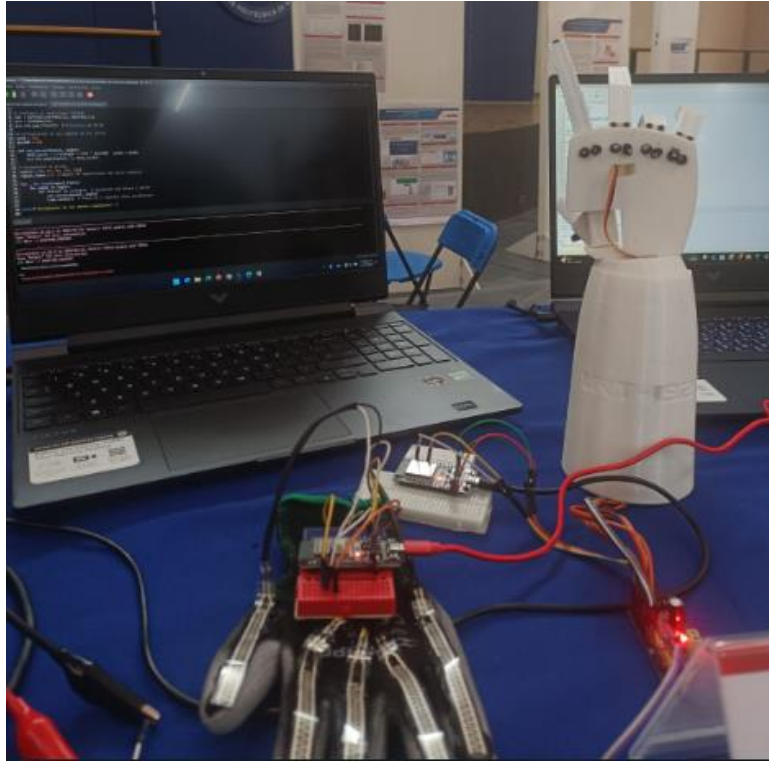


claramente explicados.



*Figura 17 Brazo robótico funcionando*

La importancia de esta etapa radica en que la documentación no solo sirve como un registro del trabajo realizado, sino también como una herramienta esencial para la transferencia de conocimientos y la continuidad del proyecto. La documentación detallada asegura que cualquier persona que desee continuar, mejorar o replicar el proyecto tenga toda la información necesaria para hacerlo de manera efectiva. Esta etapa finaliza el proyecto de manera estructurada, dejando un legado valioso que puede servir tanto en la academia como en la industria para futuros desarrollos en el campo de la robótica aplicada a la salud.



*Figura 18 Integración de todas las partes del proyecto*

## 4.2 Análisis de los resultados

Primero, se llevó a cabo una **\*\*prueba de posicionamiento inicial\*\*** para validar el correcto funcionamiento del algoritmo responsable de colocar las articulaciones de la mano robótica en una posición predeterminada. Este algoritmo fue diseñado para establecer las articulaciones en el 50% de su rango total de movilidad. El resultado de esta prueba fue satisfactorio, ya que la mano robótica alcanzó la posición deseada sin desviaciones significativas, lo que demuestra la fiabilidad del algoritmo de posicionamiento. Este aspecto es fundamental, dado que un posicionamiento inicial preciso es crucial para cualquier operación subsecuente de la mano robótica, asegurando que todos los movimientos partan de un estado de referencia correcto.

En cuanto a la comunicación entre el guante sensorizado y la mano robótica, se realizaron pruebas para garantizar que esta interacción fuera robusta y segura. La comunicación entre estos dos componentes es vital, ya que cualquier interrupción o error podría comprometer el control de la mano y, por ende, la seguridad del sistema. Para mitigar estos riesgos, se implementó un mecanismo de seguridad que genera un mensaje de error en la terminal de la

computadora cada vez que se detecta una interrupción en la comunicación. Esta función actúa como una medida preventiva, deshabilitando cualquier acción de control hasta que se restablezca una conexión estable. Los resultados de estas pruebas confirmaron que el sistema de comunicación es confiable y que el protocolo de seguridad implementado es efectivo para prevenir fallos potencialmente peligrosos.

La respuesta de los dedos de la mano robótica a las señales provenientes del guante sensorizado fue otro aspecto evaluado en las pruebas. Cada dedo de la mano robótica debe ser capaz de moverse de manera independiente, respondiendo con precisión a las señales del guante. Esto es crucial para simular con exactitud los movimientos de una mano humana, ya que la capacidad de realizar movimientos independientes con cada dedo es una característica clave de la funcionalidad de la mano. Durante las pruebas, se observó que cada dedo respondía de forma precisa e individualizada a las señales del guante, lo que indica que el sistema de control de los dedos es eficaz y que la mano robótica es capaz de reproducir movimientos complejos con un alto grado de precisión. Este resultado es significativo porque subraya la capacidad de la mano robótica para ejecutar tareas que requieren destreza y control fino, como la manipulación de objetos pequeños o el desempeño de tareas que exigen precisión manual.

Además de las pruebas de respuesta a señales del guante, también se evaluó la capacidad de la mano robótica para recibir y ejecutar órdenes enviadas desde una computadora mediante un código de programación específico. Los resultados mostraron que la mano robótica seguía las órdenes recibidas con un alto grado de exactitud, lo que refleja una buena integración entre el software de control y el hardware de la mano. Esta prueba es crucial, ya que asegura que la mano robótica puede ser controlada no solo mediante un guante sensorizado, sino también desde una interfaz digital, lo que amplía sus aplicaciones potenciales y su flexibilidad de uso en diferentes entornos operativos.

Finalmente, se realizaron pruebas exhaustivas para medir los errores angulares en las articulaciones de la mano robótica bajo diferentes condiciones de control. Estos errores angulares se refieren a las desviaciones entre la posición esperada de una articulación y su

posición real, y son un indicador clave de la precisión del sistema de control. Durante las pruebas, se registraron los errores angulares tanto cuando la mano era controlada por el guante sensorizado como cuando era controlada por la computadora. Los resultados mostraron que, bajo el control del guante sensorizado, los errores angulares promediaron  $\pm 5.55\%$ , mientras que bajo el control de la computadora, los errores fueron menores, con un promedio de  $\pm 0.46\%$ . Estos resultados indican que, aunque la mano robótica es generalmente precisa, el control por computadora ofrece una mayor exactitud en comparación con el control manual mediante el guante. Sin embargo, los errores observados son relativamente pequeños y dentro de un rango aceptable para la mayoría de las aplicaciones, aunque podrían ser optimizados en futuras iteraciones del sistema.

En resumen, el análisis de resultados demuestra que la mano robótica cumple con los objetivos de diseño en términos de posicionamiento, comunicación, respuesta a señales y precisión angular. Las pruebas realizadas confirman la robustez del sistema y su capacidad para realizar tareas complejas con un alto grado de precisión. No obstante, los resultados también sugieren posibles áreas de mejora, como la optimización de la precisión angular bajo control manual. En conjunto, estos hallazgos proporcionan una base sólida para futuras mejoras y aplicaciones de la mano robótica en diversos campos, desde la investigación y el desarrollo hasta aplicaciones prácticas en la industria y la medicina.

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSIÓN**

El proyecto de desarrollo de una mano robótica presentado en este informe constituye un avance significativo en el campo de la robótica aplicada a la salud, y la conclusión detallada de este trabajo refleja tanto los logros alcanzados como las futuras posibilidades de mejora y expansión del sistema. A lo largo del proyecto, se han abordado y superado una serie de desafíos técnicos y de diseño, lo que ha resultado en un prototipo funcional que no solo cumple con los objetivos establecidos, sino que también abre la puerta a nuevas aplicaciones y mejoras en el futuro.

Desde la fase de diseño inicial, se puso un gran énfasis en replicar los movimientos naturales de una mano humana, lo cual es crucial para asegurar que la mano robótica pueda realizar tareas que imiten con precisión las funciones de una mano real. La elección de materiales y componentes fue un aspecto clave en este proceso. Se seleccionaron materiales que ofrecieran un equilibrio adecuado entre peso, durabilidad y flexibilidad, lo cual es esencial para la creación de una estructura mecánica que pueda operar de manera eficaz sin comprometer la seguridad o la comodidad del usuario. Además, se consideraron criterios ergonómicos en el diseño de la mano, lo que garantiza que el dispositivo sea adecuado para su uso por personas con movilidad reducida. Este enfoque ergonómico es vital para la aceptación y la utilidad del dispositivo en aplicaciones de rehabilitación y asistencia, donde el confort del usuario es tan importante como la funcionalidad del dispositivo.

Un aspecto técnico clave en el desarrollo del proyecto fue la migración de la plataforma de control de Arduino Nano a ESP32. Este cambio no solo mejoró las capacidades de procesamiento del sistema, sino que también permitió una comunicación más robusta y eficiente a través de Wi-Fi. La necesidad de una comunicación estable y de alta velocidad es fundamental en un dispositivo que depende de la interacción en tiempo real con un guante sensorizado. Al implementar la ESP32, el equipo de desarrollo pudo optimizar el rendimiento del sistema y superar los desafíos técnicos relacionados con la comunicación inalámbrica. Este avance asegura que la mano robótica pueda responder con precisión y en tiempo real a los comandos del usuario, lo que es crucial para tareas que requieren alta precisión y sincronización.

El proceso de implementación y ensamblaje del prototipo se llevó a cabo de manera meticulosa, siguiendo pasos detalladamente documentados. Esta documentación exhaustiva no solo sirve como un registro del trabajo realizado, sino que también proporciona una base sólida para futuras mejoras o replicaciones del proyecto. La capacidad de replicar y adaptar el prototipo es una ventaja significativa, ya que permite a otros investigadores y desarrolladores construir sobre el trabajo realizado, mejorando aún más la funcionalidad o adaptándolo a nuevas aplicaciones.

Las pruebas iniciales del prototipo demostraron que el sistema funciona de manera efectiva, cumpliendo con los objetivos planteados en términos de control, precisión y respuesta a los comandos del guante sensorizado. Estas pruebas incluyeron evaluaciones de la precisión del posicionamiento angular de los dedos, la respuesta del sistema a diferentes tipos de comandos y la capacidad de la mano para realizar movimientos complejos. Los resultados obtenidos fueron positivos, mostrando que la mano robótica no solo puede replicar movimientos humanos con un alto grado de precisión, sino que también puede hacerlo de manera consistente y confiable. Sin embargo, el informe también destaca que existen oportunidades para mejorar la precisión y reducir los errores angulares en futuras iteraciones del sistema, lo que podría llevar a un rendimiento aún mejor en aplicaciones más exigentes.

Además, el proyecto ha establecido una base sólida para futuras mejoras. Entre las posibles áreas de mejora se encuentran la optimización de los algoritmos de control para reducir aún más los errores angulares, la integración de sensores adicionales para mejorar la retroalimentación y el control, y la exploración de nuevos materiales que podrían aumentar la durabilidad o reducir el peso del dispositivo. También se podría considerar la posibilidad de adaptar la mano robótica para su uso en otras aplicaciones, como la cirugía robótica o la automatización industrial, donde se requiere una combinación de precisión y destreza.

# **REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA**



## Bibliografía

1. (N.d.). Autodesk.com. Retrieved June 15, 2024, from <https://www.autodesk.com/mx/solutions/3d-printing>
2. (S/f). Academia.edu. Recuperado el 25 de enero de 2024, de [https://www.academia.edu/download/52116597/Principios\\_de\\_Electronica\\_7ED\\_Malvin\\_o\\_MCGRAWHILL.pdf](https://www.academia.edu/download/52116597/Principios_de_Electronica_7ED_Malvin_o_MCGRAWHILL.pdf)
3. 330ohms, P. (2016, marzo 2). ¿Qué es una Protoboard? 330ohms. Recuperado el 14 de junio de 2024, de <https://blog.330ohms.com/2016/03/02/protoboards/>
4. Arduino Nano. (n.d.). Arduino Official Store. Retrieved June 15, 2024, from <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano>
5. Cabás Ormaechea, R. (2011). Metodología de diseño de manos robóticas. basada en los estados de su sistema accionador (Doctoral dissertation). From <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=311687>
6. Colin, N. A. P., & Ramos, J. Á. (2021, marzo 1). Ley de Ohm. Portal Académico del CCH. <https://portalacademico.cch.unam.mx/cibernetica1/implementacion-de-circuitos-logicos/ley-de-ohm>
7. Dario et al. An integrated approach for the design and development of a grasping and manipulation system in humanoid robotics. En: Proceedings of 2000 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2000). Takamatsu (Japón): IEEE, 2000, vol. 1, pp. 1-7. ISBN: 0-7803-6348-5. doi: 10.1109/IROS.2000.894573
8. El lenguaje C++ — Fundamentos de Programación en C++. (n.d.). Uva.es. Retrieved June 15, 2024, from [https://www2.eii.uva.es/fund\\_inf/cpp/temas/1\\_introduccion/introduccion.html](https://www2.eii.uva.es/fund_inf/cpp/temas/1_introduccion/introduccion.html)
9. Espectro de radio: la base de las comunicaciones inalámbricas. (n.d.). Configurar el futuro digital de Europa. Retrieved June 15, 2024, from <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/policies/radio-spectrum>
10. Hower Ceballos (2012), o “Análisis y diseño de un prototipo de brazo robótico con catorce grados de libertad capaz de control en tiempo real mediante Internet”.

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/8c105d57-96af-4b6d-b28d-c77e155c9126/content>

11. La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.. (2015, September 25). <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
12. La luz: ondas electromagnéticas, espectro electromagnético y fotones (artículo). (n.d.). Khan Academy. Retrieved June 15, 2024, from <https://es.khanacademy.org/science/ap-chemistry/electronic-structure-of-atoms-ap/bohr-model-hydrogen-ap/a/light-and-the-electromagnetic-spectrum>
13. Las leyes de Kirchhoff (artículo). (s/f). Khan Academy. Recuperado el 14 de junio de 2024, de <https://es.khanacademy.org/science/physics/circuits-topic/circuits-resistance/a/ee-kirchhoffs-laws>
14. Módulo Transceptor RF nRF24L01+ 2.4 Ghz. (n.d.). Mcielectronics.cl. Retrieved June 15, 2024, from <https://mcielectronics.cl/shop/product/modulo-transceptor-rf-nrf24l01-2-4-ghz/>
15. Moreno, B. y Velásquez, E. Prototipo de mano mecatrónica para aplicaciones en robótica industrial. Tesis (Ingeniero Mecatrónico). Envigado, Antioquia (Colombia): Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2013, 89 pp. [Fecha de consulta: 05-11-2020] . Disponible en: [https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/328/7/MorenoBrian\\_2013\\_PrototipoManoMecatronica.pdf](https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/328/7/MorenoBrian_2013_PrototipoManoMecatronica.pdf)
16. Resistores en serie (artículo). (s/f). Khan Academy. Recuperado el 14 de junio de 2024, de <https://es.khanacademy.org/science/electrical-engineering/ee-circuit-analysis-topic/ee-resistor-circuits/a/ee-series-resistors>
17. Spain Marketing. (2020, June 2). Bandas de frecuencia utilizadas en todo el mundo. Tele Radio. <https://www.tele-radio.com/la/bandas-de-frecuencia-utilizadas-en-todo-el-mundo/>
18. Villaverde, J. R. (n.d.). Diseño y control de una mano robótica para función motora de personas discapacitadas. Edu.Pe. Retrieved June 13, 2024, from [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10242/1/IV\\_FIN\\_111\\_TE\\_Reynoso\\_Villaverde\\_2021.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/10242/1/IV_FIN_111_TE_Reynoso_Villaverde_2021.pdf)

19. Youngblut, C., Johnston, R., Nash, S., Wienclaw, R. y WILL, C. Review of virtual environment interface technology. Virginia (USA): Institute for Defense Analyses, 1996, 270 pp. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/235114826\\_Review\\_of\\_Virtual\\_Environment\\_Interface\\_Technology](https://www.researchgate.net/publication/235114826_Review_of_Virtual_Environment_Interface_Technology)

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Código de la ESP32 a la mano

```
emisor import network
import socket
import time
from machine import ADC, Pin

# Configura la conexión Wi-Fi
ssid = 'pl'
password = 'elpachas21'

station = network.WLAN(network.STA_IF)
station.active(True)
station.connect(ssid, password)

print('Conectando a la red Wi-Fi...')
while not station.isconnected():
    time.sleep(1)

print('Conexión Wi-Fi establecida')
print('Dirección IP:', station.ifconfig()[0])

# Configuración del cliente
host = '192.168.137.28' # Reemplaza con la IP del receptor
port = 1234

s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
s.connect((host, port))

# Configuración de los pines de los sensores flex (con cinco sensores)
flex_sensors = [ADC(Pin(32)), ADC(Pin(33)), ADC(Pin(34)), ADC(Pin(35)),
ADC(Pin(39))] # Usando hasta el pin 39 para el quinto sensor

while True:
    flex_sensor_values = [sensor.read() for sensor in flex_sensors]

    message = ','.join(map(str, flex_sensor_values))
```

```

s.send(message.encode())

print('Valores enviados de los sensores flex:', flex_sensor_values)

time.sleep(0.5) # Ajusta el delay según sea necesario

s.close()

```

## **Anexo 2**

### **Código de la ESP32 al guante sensorizado**

```

receptor import network
import socket
import time
from machine import SoftI2C, Pin
from pca9685 import PCA9685

# Configura la conexión Wi-Fi
ssid = 'ostion'
password = '123456uu'

station = network.WLAN(network.STA_IF)
station.active(True)
station.connect(ssid, password)

print('Conectando a la red Wi-Fi...')
while not station.isconnected():
    time.sleep(1)

print('Conexión Wi-Fi establecida')
print('Dirección IP:', station.ifconfig()[0])

# Configuración del servidor
host = '192.168.247.4'
port = 1234

s = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
s.bind((host, port))
s.listen(1)

print('Esperando conexión...')

```

```

conn, addr = s.accept()
print('Conexión establecida con', addr)

# Configura el controlador PCA9685
i2c = SoftI2C(scl=Pin(22), sda=Pin(21))
pca = PCA9685(i2c)
pca.set_pwm_freq(30) # Frecuencia de 50 Hz

# Configuración de los límites de los servos
pos0 = 172
pos180 = 565

def map_value_to_angle(value):
    if 1700 >= value >= 4095:
        return 0 # Rango de 4095 a 3200 mapeado a 0
    elif 700 <= value <= 1699:
        return 90 # Rango de 2000 a 3199 mapeado a 90
    elif 160 <= value <= 699:
        return 30 # Rango de 1448 a 1999 mapeado a 30
    elif 0 <= value <= 150:
        return 0 # Rango de 0 a 1200 mapeado a 0
    else:
        # Para valores fuera de los rangos especificados, mapear linealmente o como
        prefieras
        return (3200 - max(value, 0)) * (180 / 3200)

def set_servo(channel, value):
    angle = map_value_to_angle(value)
    duty_cycle = (angle / 180.0) * (pos180 - pos0) + pos0
    pca.set_pwm(channel, 0, int(duty_cycle))

while True:
    data = conn.recv(1022)
    if not data:
        break

    flex_sensor_values = list(map(int, data.decode().split(',')))

    print('Valores recibidos de los sensores flex:', flex_sensor_values)

```

```
set_servo(0, flex_sensor_values[0]) # Pulgar
set_servo(1, flex_sensor_values[1]) # Índice
set_servo(2, flex_sensor_values[2]) # Medio
set_servo(3, flex_sensor_values[3]) # Anular
set_servo(4, flex_sensor_values[4]) # Meñique

conn.close()
s.close()
```