



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE MECATRÓNICA
TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE MANIPULACIÓN ADAPTATIVA DE OBJETOS, EMPLEANDO REALIDAD VIRTUAL Y SENSORES MIOELÉCTRICOS QUE PERMITA CONTRIBUIR AL APRENDIZAJE DE TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS “ESPE” SEDE LATACUNGA

AUTORES: INLAGO BAUTISTA, DAYANA MISHELL
IPIAL GUANCHA, BRAYAN ESTEVEN

DIRECTOR: ING. GORDÓN GARCÉS, ANDRÉS MARCELO

LATACUNGA, AGOSTO 2023



Generalidades

Fundamentos teóricos

Selección, diseño e implementación

Desarrollo de aplicación de realidad virtual

Desarrollo de aplicación de IOT

Pruebas y resultados

Conclusiones y Recomendaciones



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente los equipos desarrollados son muy costosos, por lo que se dificulta la adquisición de los mismos y debido al avance de la Industria 4.0 es muy importante que el Laboratorio de Mecatrónica disponga de equipos con tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT) y realidad virtual, además de emplear diferentes tipos de sensores mioeléctricos.



- El tema planteado se justifica debido a que el Laboratorio de Mecatrónica requiere implementar equipos que permitan a los estudiantes aprender sobre las tecnologías de la industria 4.0, lo que es esencial en un mundo en constante evolución tecnológica. Por lo tanto, se propone el uso de tecnologías como el Internet de las Cosas y la realidad virtual, así como el empleo de diferentes tipos de sensores ayudan a contribuir con el aprendizaje de los estudiantes.



Diseñar e implementar un sistema mecatrónico de manipulación de objetos, empleando realidad virtual y sensores mioeléctricos que permita contribuir al aprendizaje de tecnologías de la industria 4.0 en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Sede Latacunga.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el estado del arte de sistemas de manipulación, industria 4.0, entornos de realidad virtual, protocolos de comunicación IOT y sensores mioeléctricos.
- Diseñar el sistema mecatrónico y seleccionar los componentes adecuados para cada uno de los subsistemas.
- Construir e implementar el sistema mecatrónico de manipulación.
- Realizar el monitoreo y control remoto utilizando IOT.
- Diseñar un entorno de realidad virtual que sirva como apoyo para el uso de las señales musculares.
- Realizar pruebas de funcionamiento de los sensores, el entorno virtual y el manipulador.



Señales Electromiográficas (EMG)

Raw EMG Output (RAW)



Rectified Output (RECT)



Envelope Output (ENV)

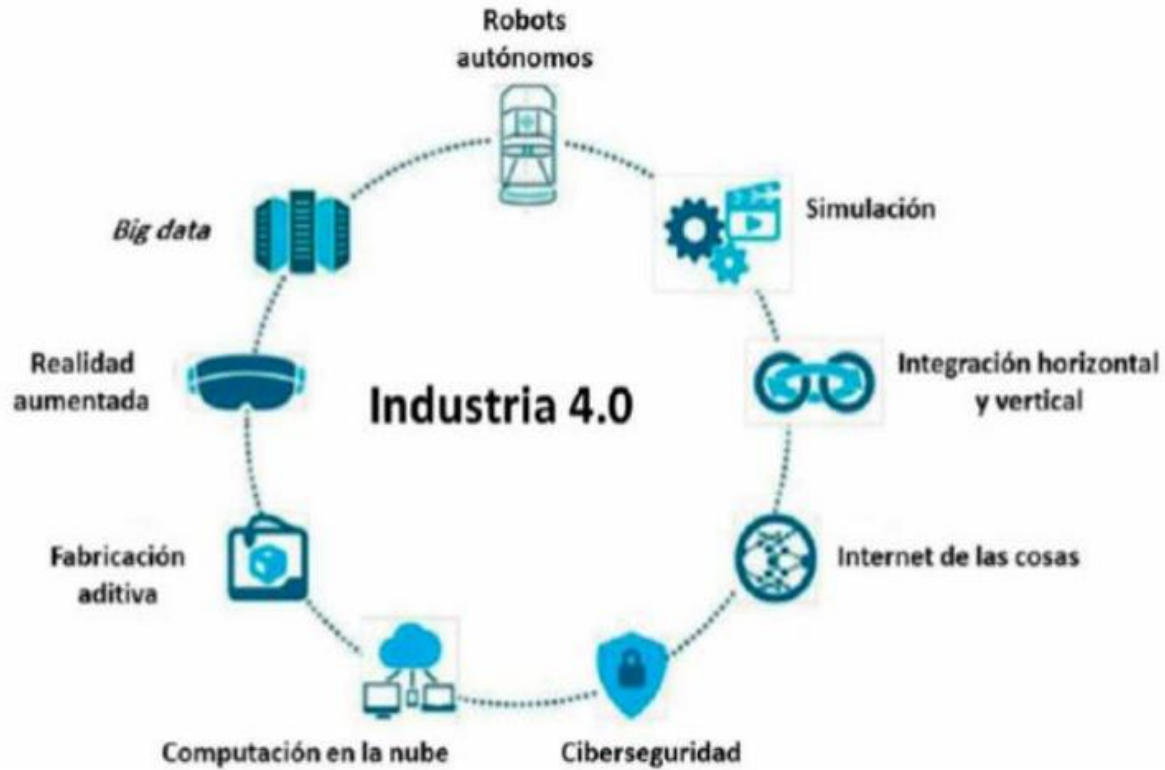


Sensores mioeléctricos



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Cuarta revolución industrial (Industria 4.0)



Realidad virtual



FUNDAMENTOS TEÓRICOS

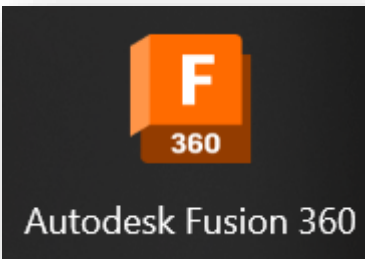
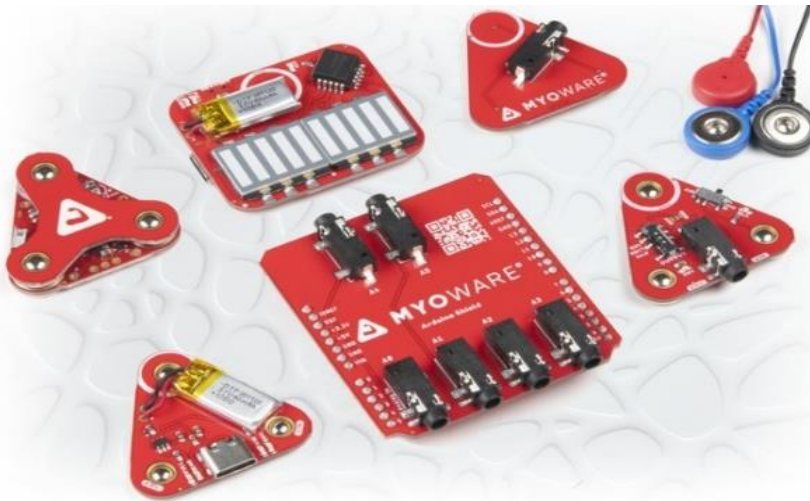
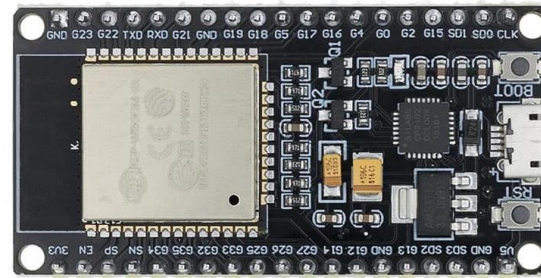
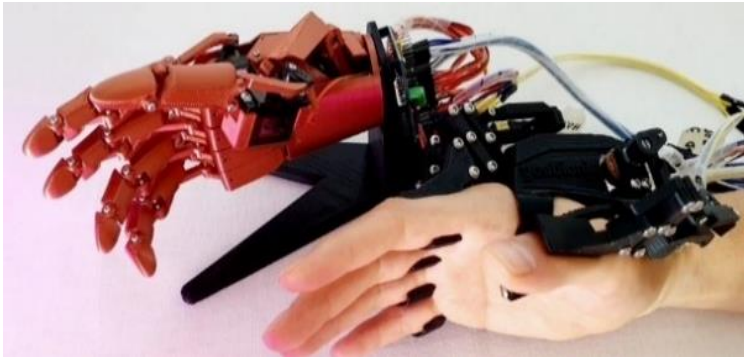
Internet de las cosas (IOT)



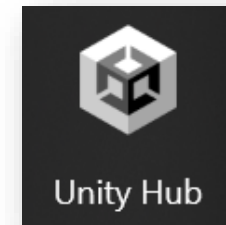
Manipulador mecatrónico



SELECCIÓN DE COMPONENTES



Autodesk Fusion 360

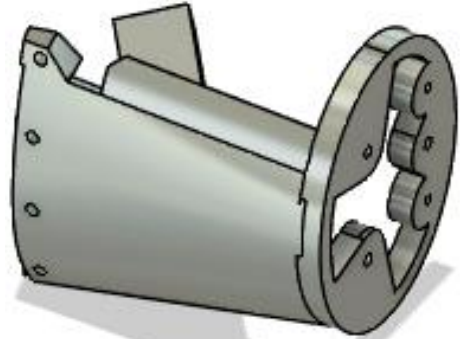


Unity Hub

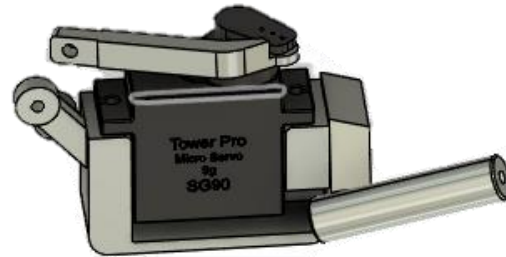


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

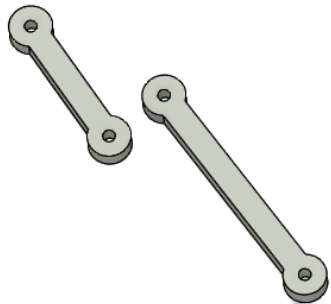
Diseño del manipulador mecatrónico



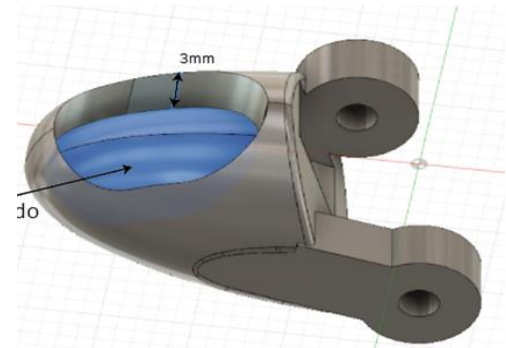
Palma y base de dedos



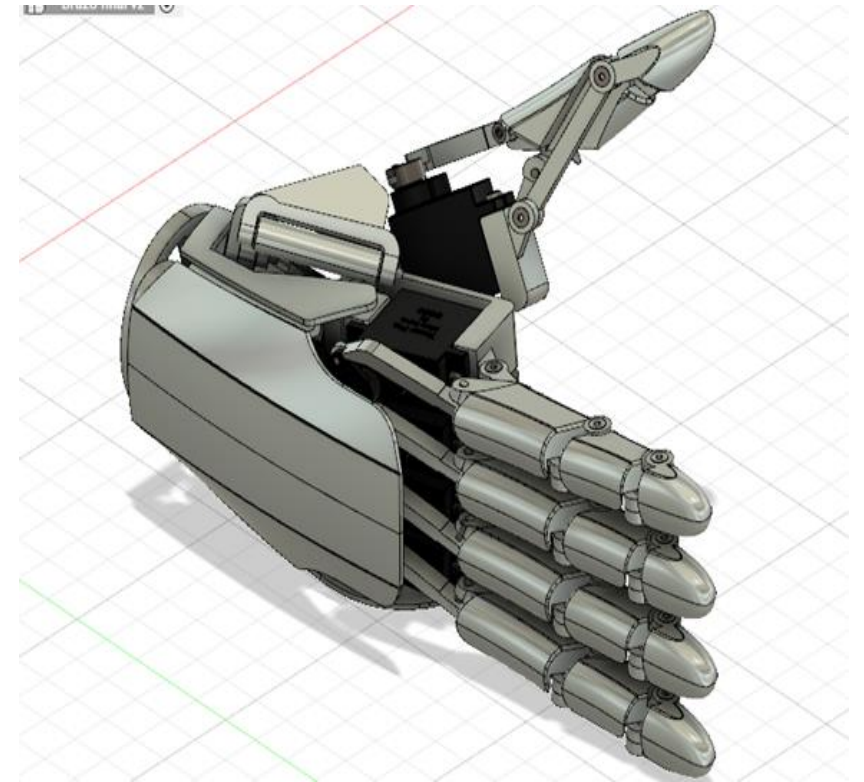
Unión Motores



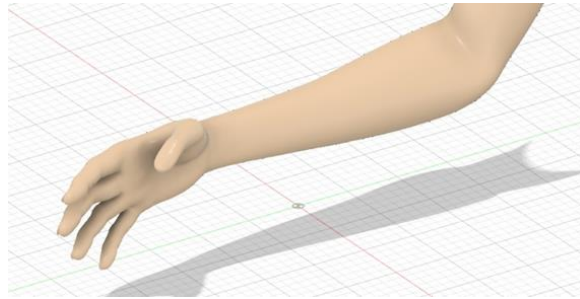
Eslabones entre falanges



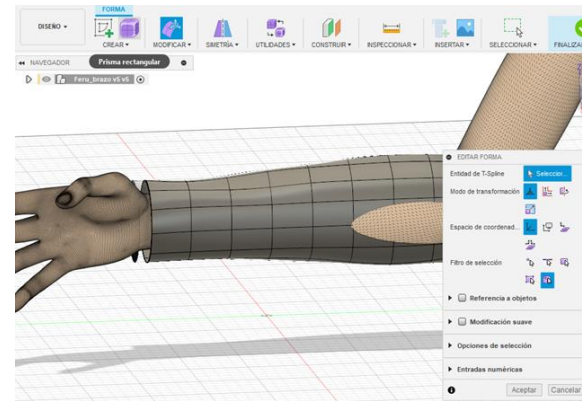
Yema de los dedos



Diseño del antebrazo



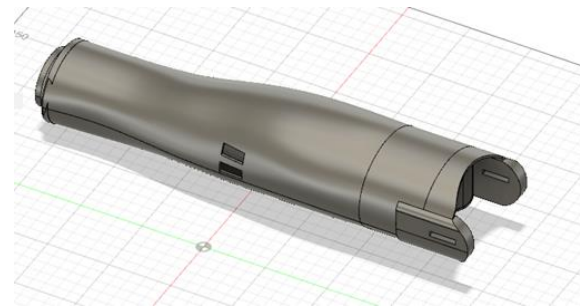
Modelo Brazo 3D



Modelado CAD

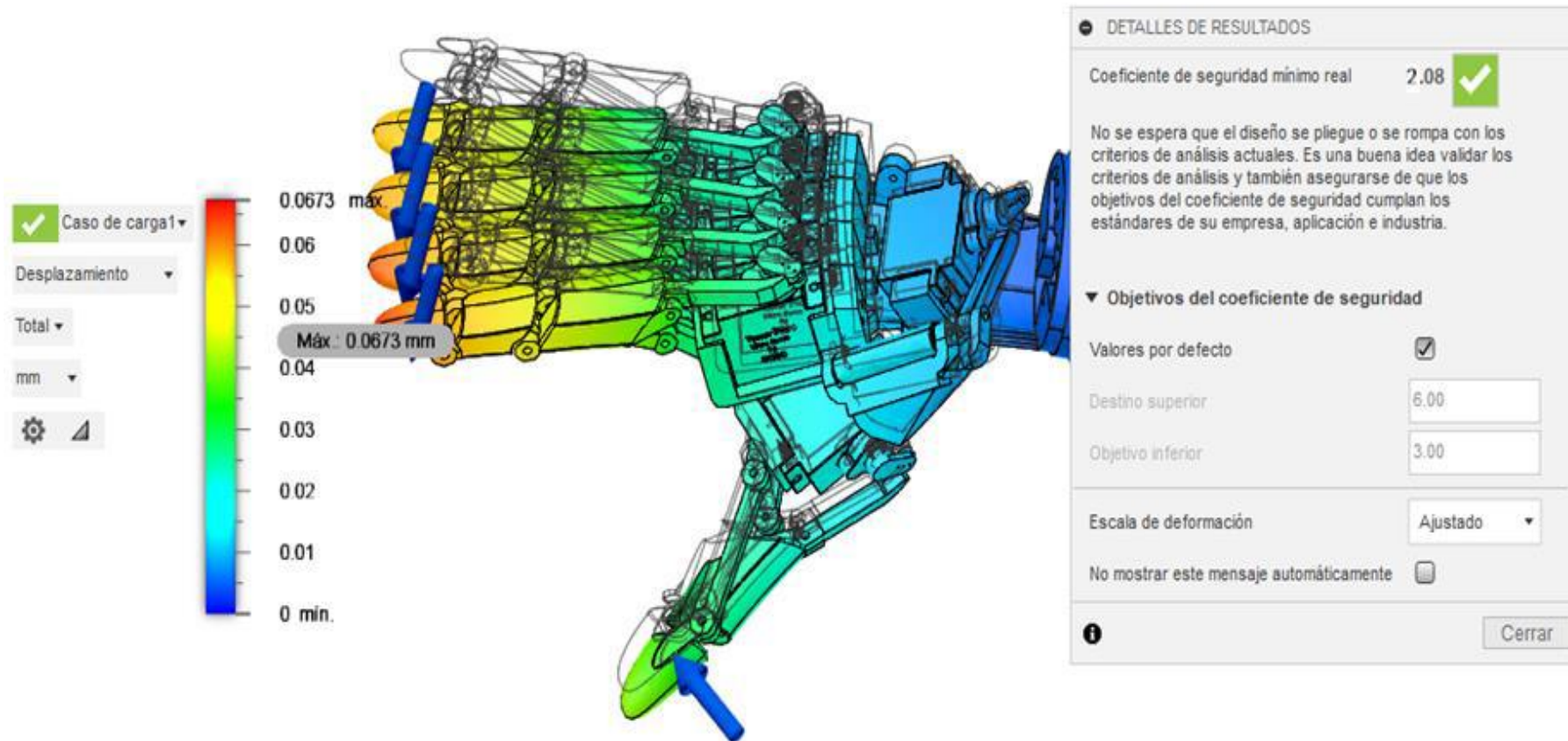


Ranuras internas

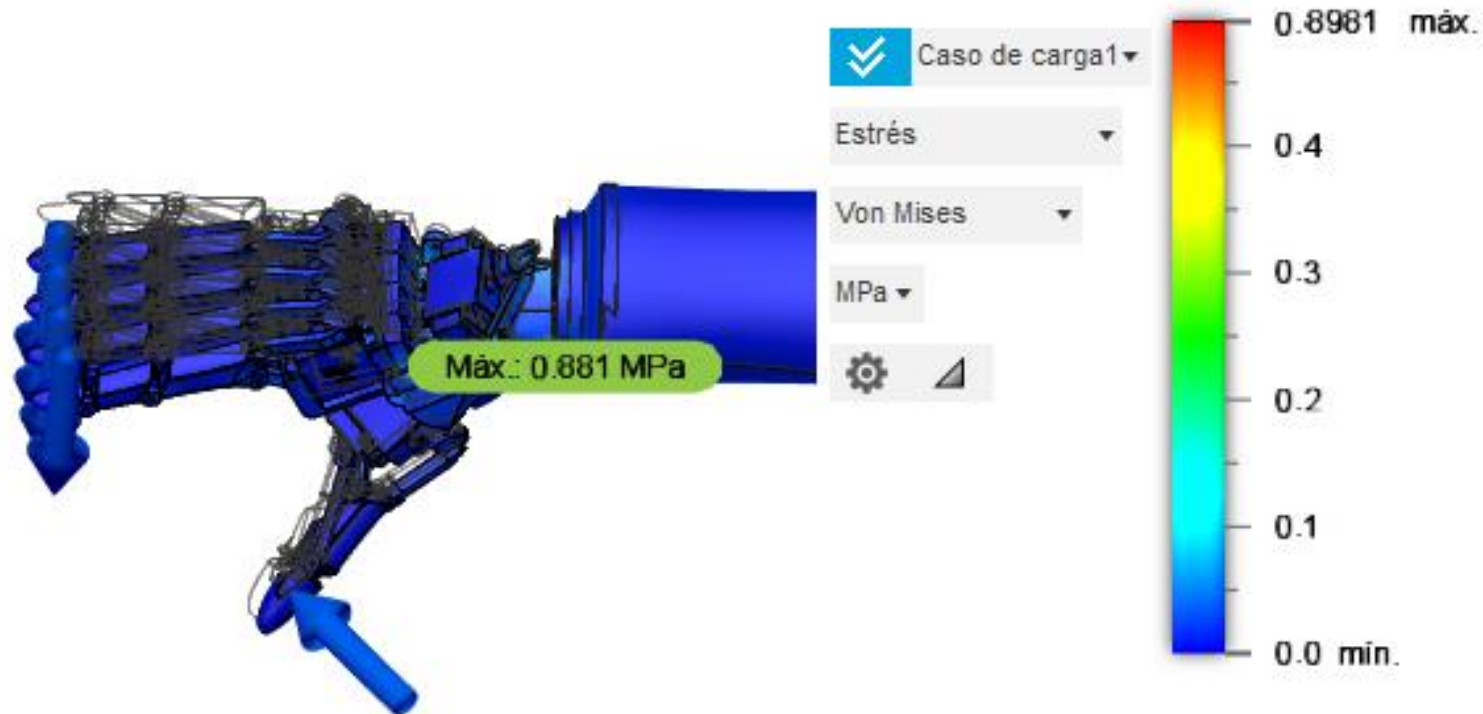


Antebrazo diseñado

Factor de seguridad



Análisis de esfuerzos

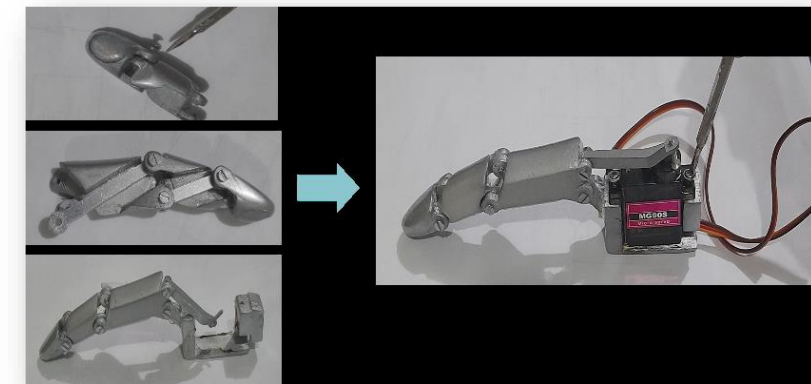
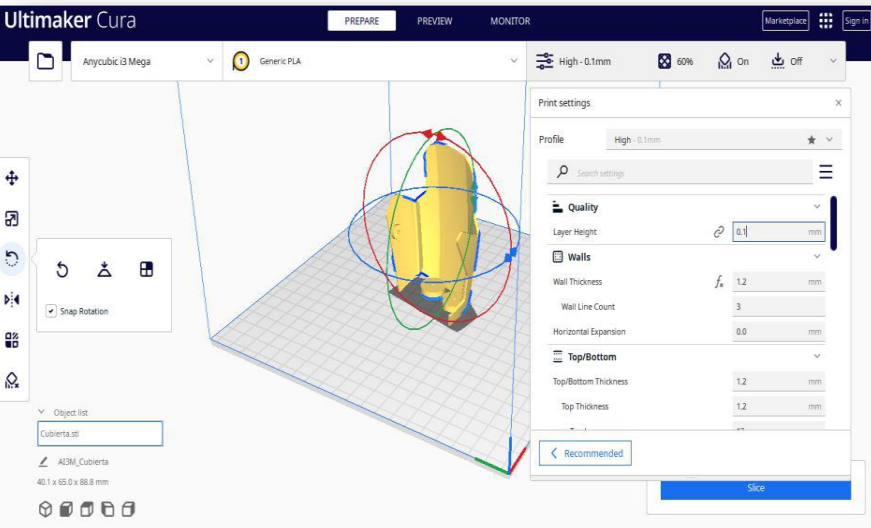


$$\sigma_{flex} = \frac{Mc}{I}$$

$$0,46 \text{ MPa} < \frac{55 \text{ MPa}}{6}$$

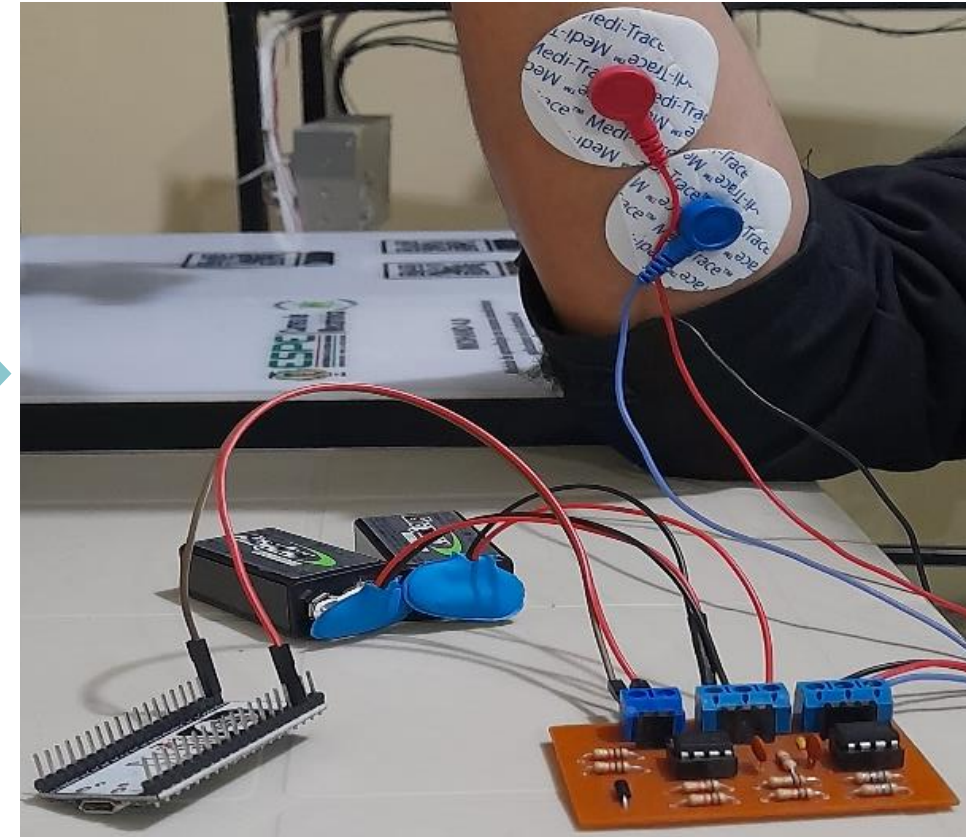
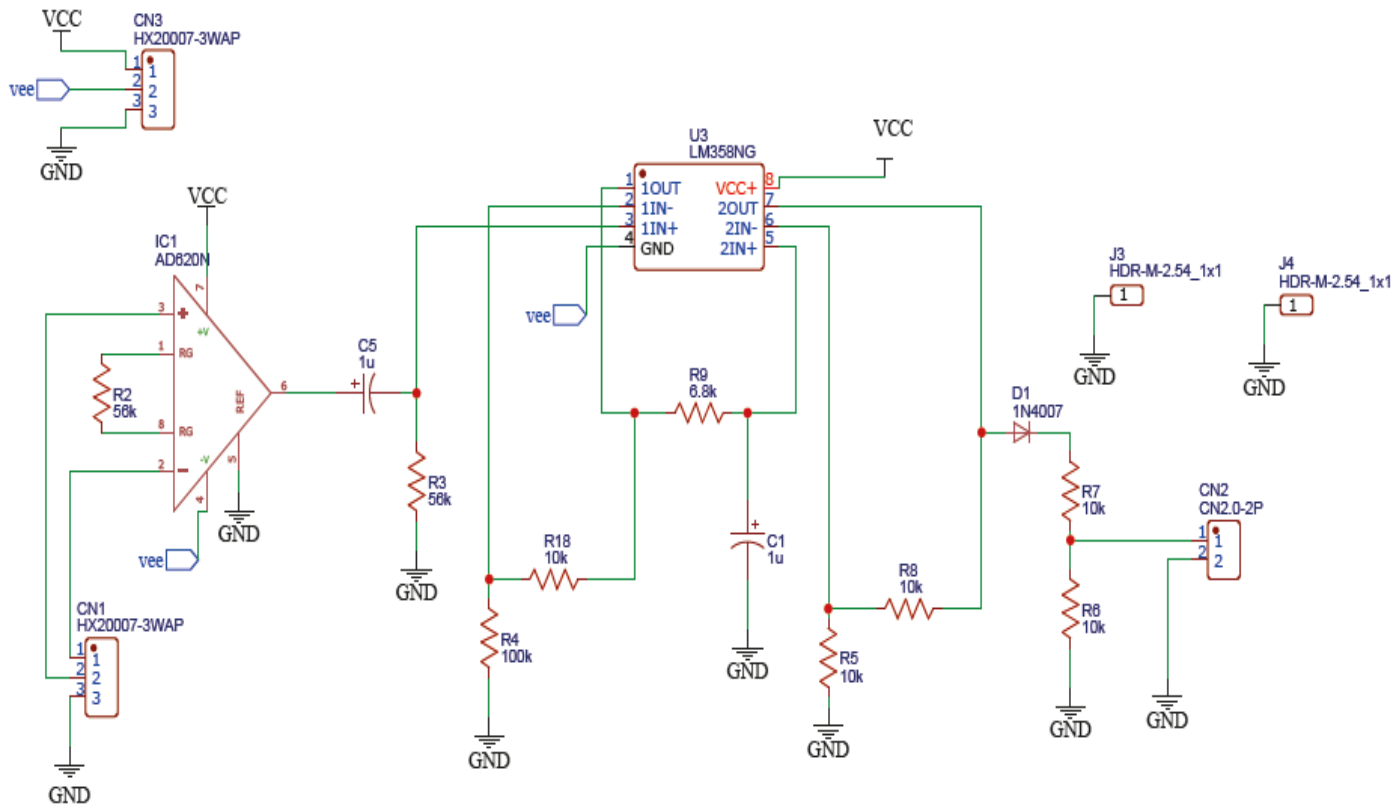
$$0,46 < 9,16 \text{ (Diseño seguro)}$$

Implementación del manipulador mecatrónico

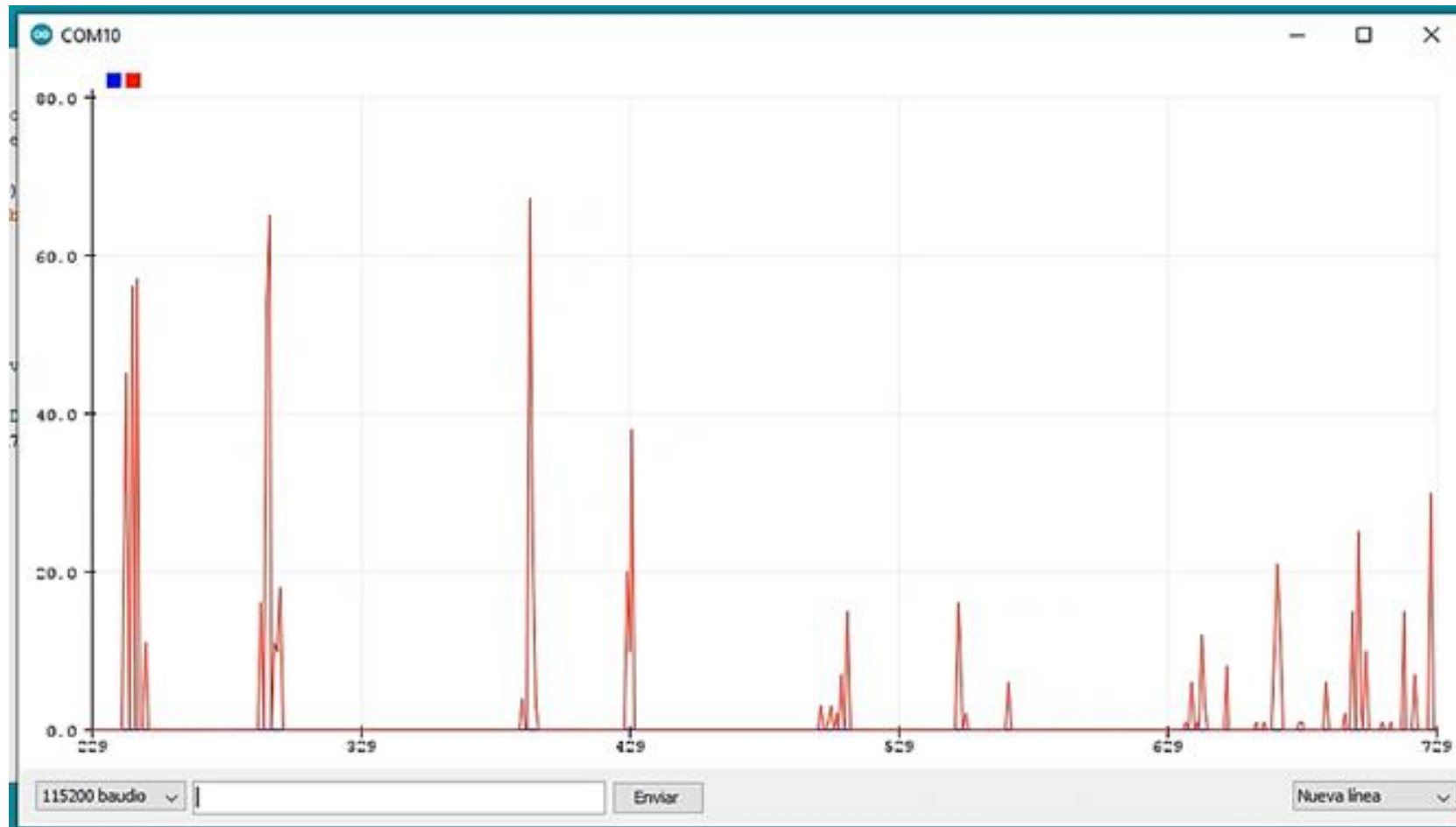


Diseño e implementación del sensor mioeléctrico EMG básico

Diseño del circuito de adquisición de señales EMG:

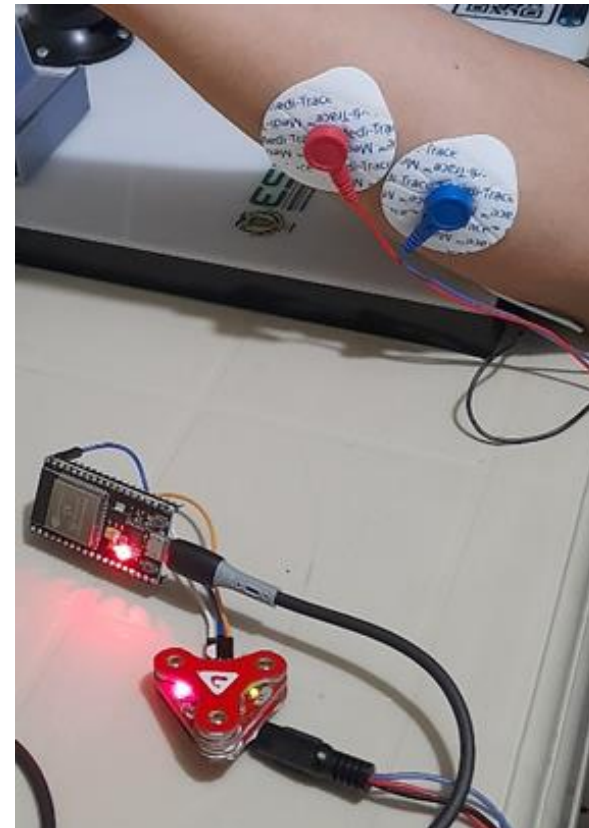
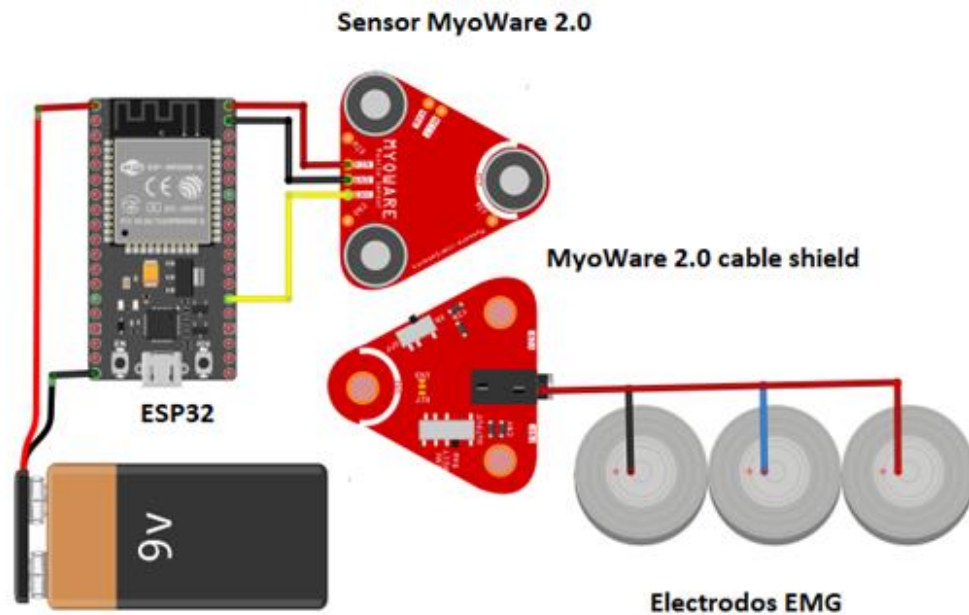


Señal EMG

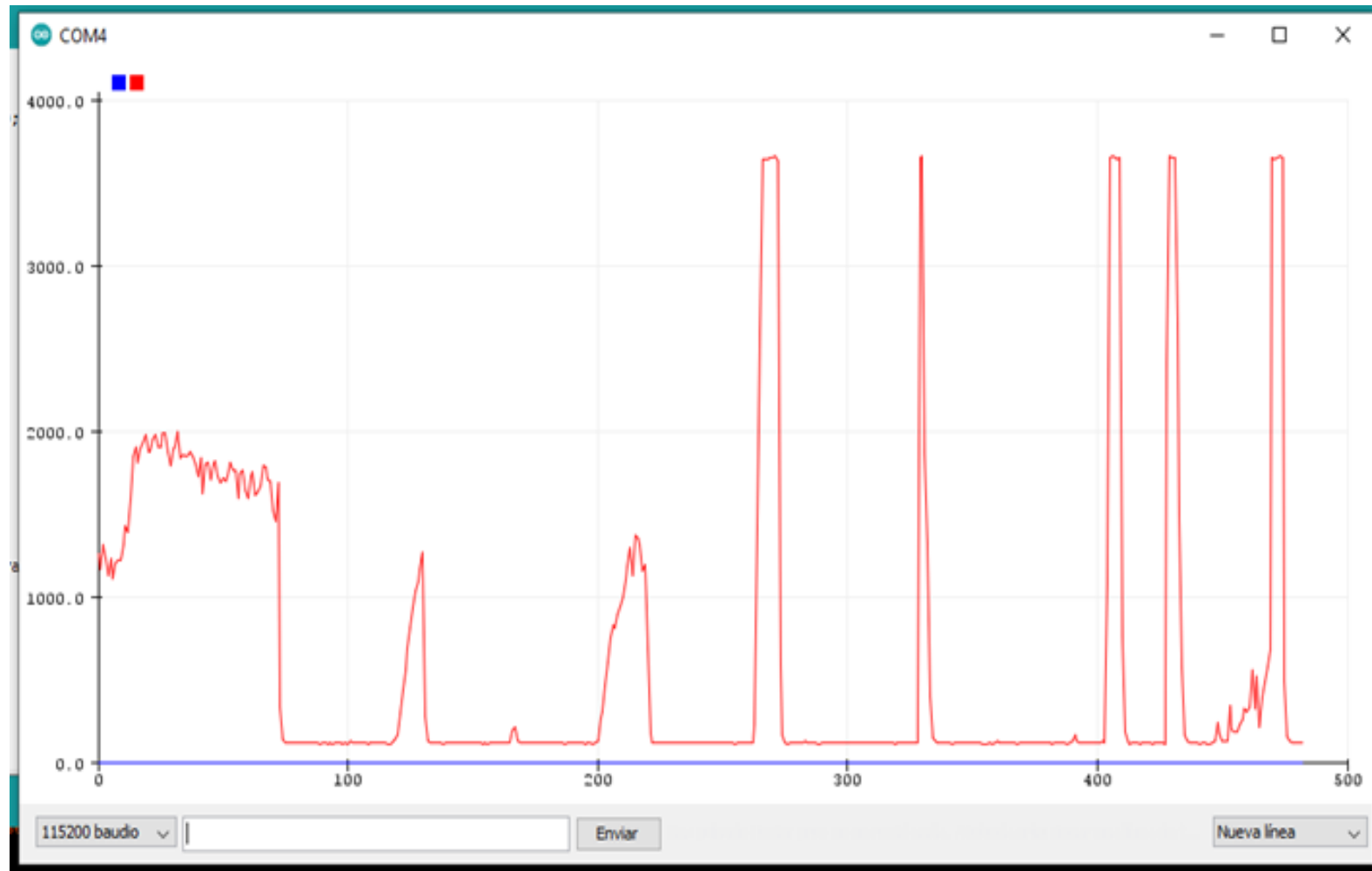


Implementación del sensor mioeléctrico MyoWare 2.0

Diseño del circuito de adquisición de señales EMG:

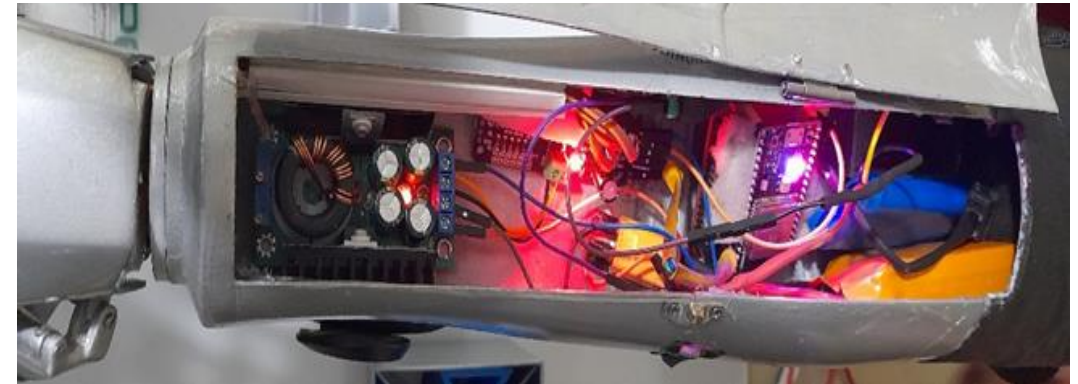
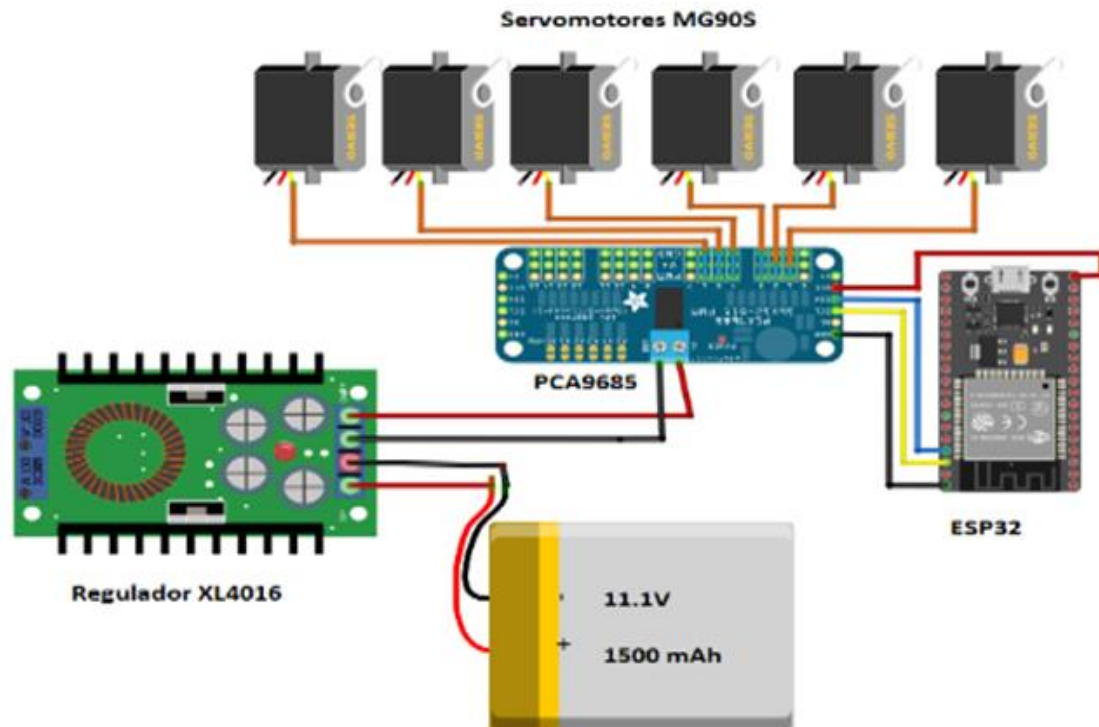


Señal EMG

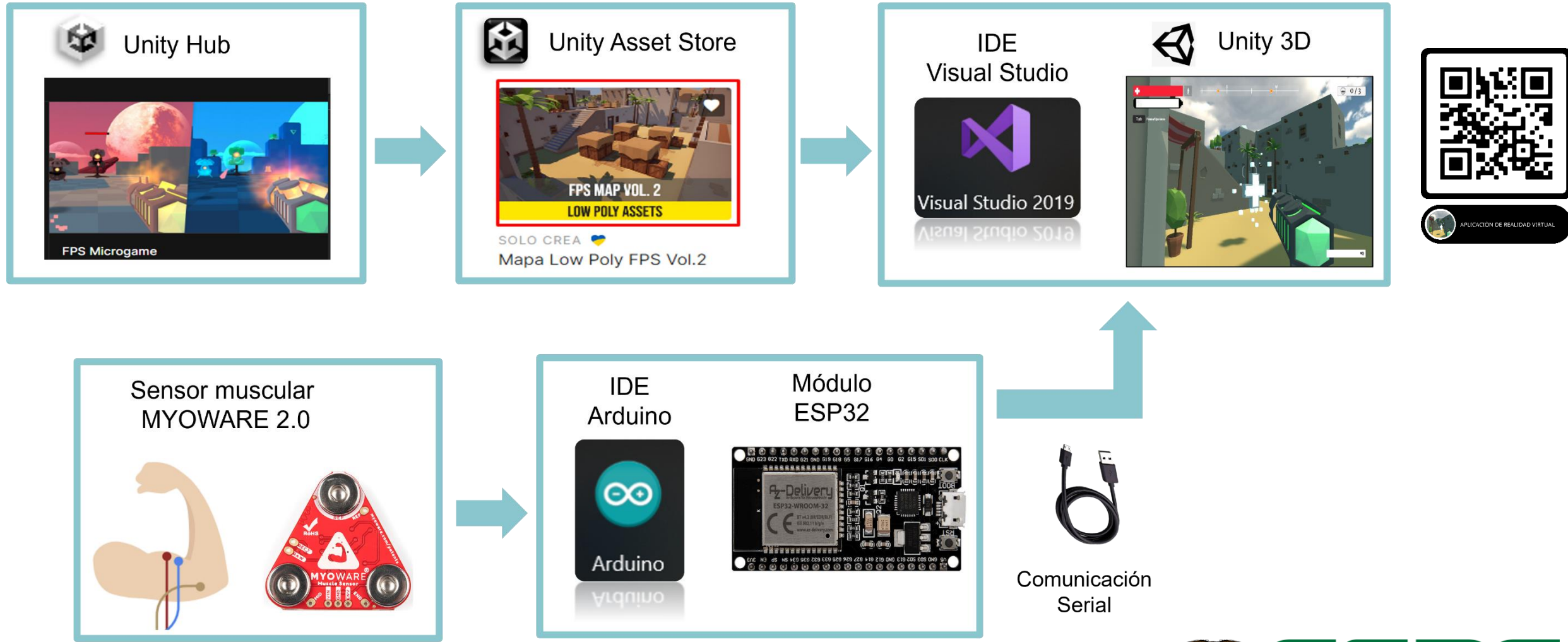


Implementación electrónica del manipulador

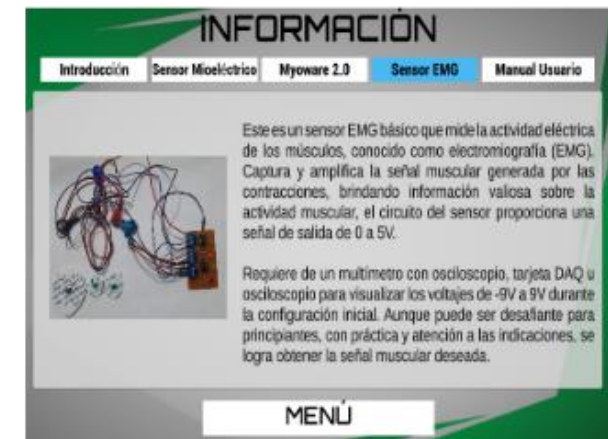
Diagrama de conexiones:



Diseño e implementación de la aplicación de realidad virtual

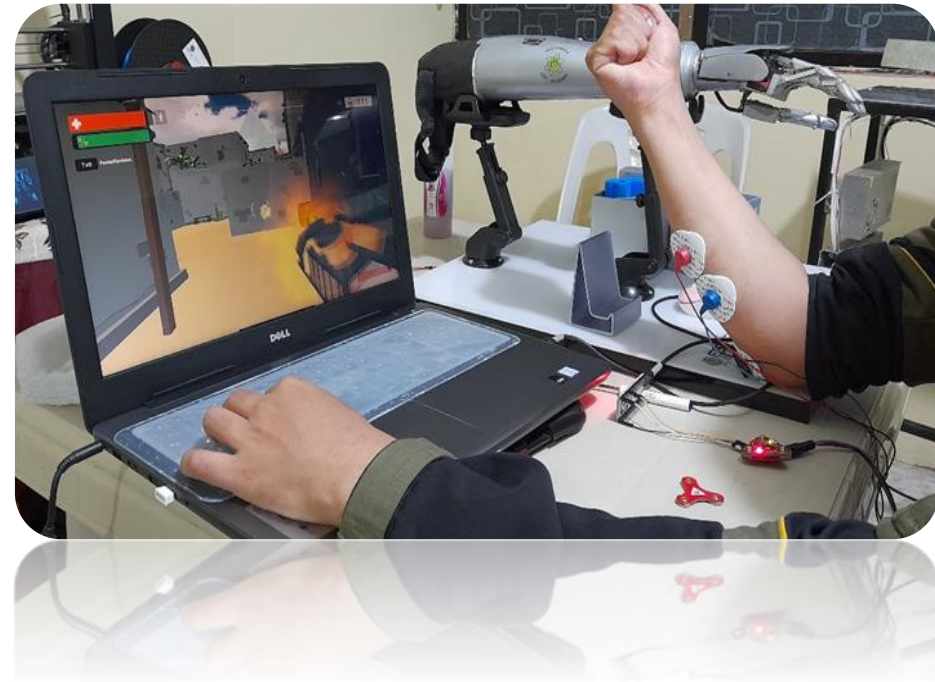


Diseño e implementación de la aplicación de realidad virtual



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Diseño e implementación de la aplicación de realidad virtual

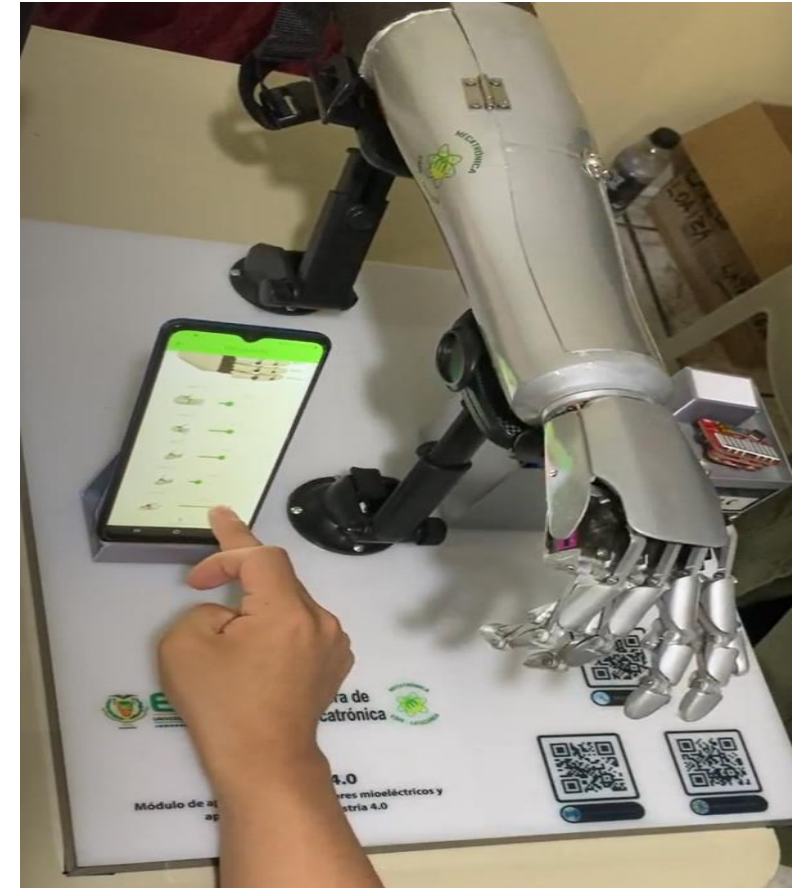
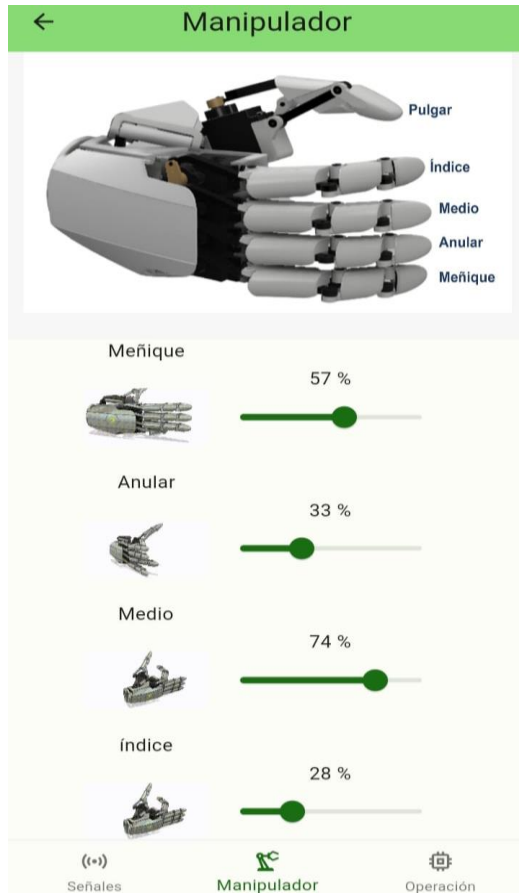


DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

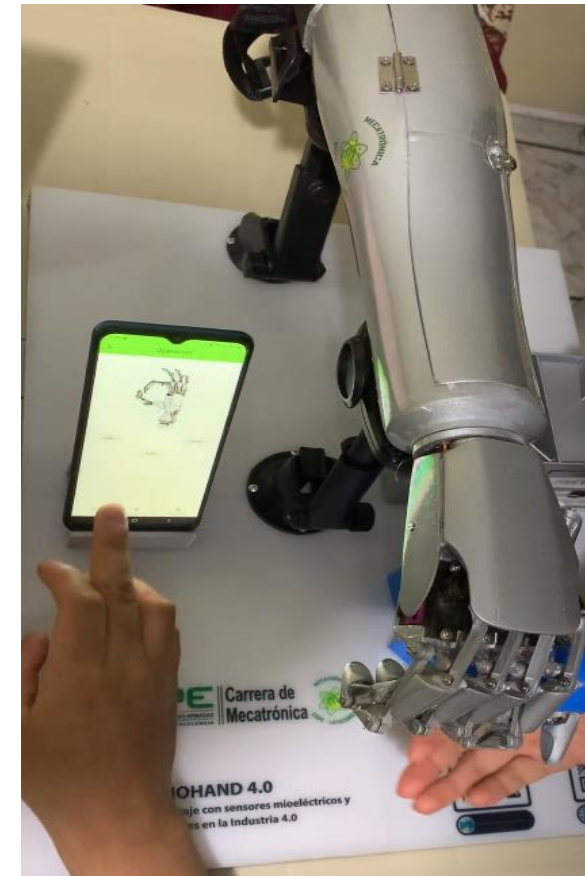
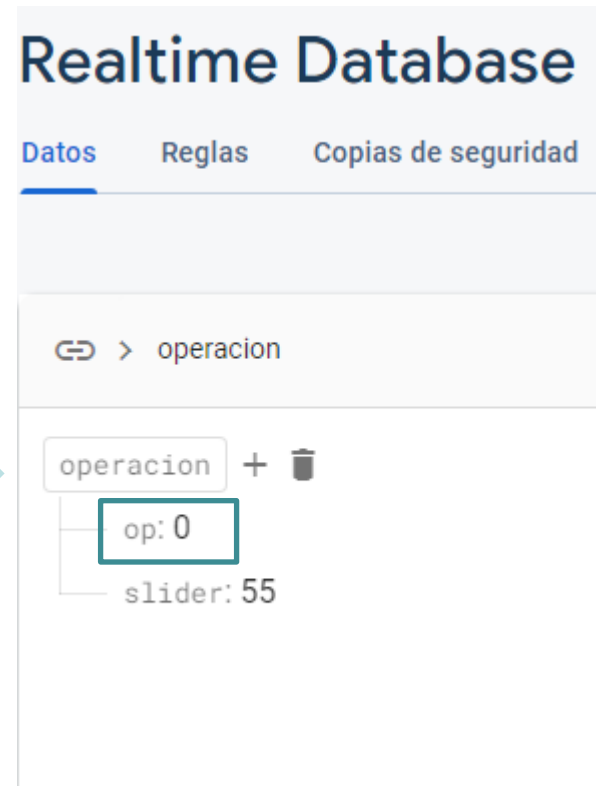
Diseño e implementación de la aplicación del internet de las cosas (IOT)



Control remoto de cada dedo del manipulador



Control remoto de apertura y cierre del manipulador



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Lectura de datos de los sensores mioeléctricos en la aplicación móvil



Realtime Database

Datos Reglas Copias de seguridad

🔗 > sensores

sensores

- emg_basico: 0
- myo_ware: 40

← Señales Musculares

Flexión débil → Flexión fuerte

Señal EMG sin procesar
Envoltorio del EMG

EMG BÁSICO

0 uV

MYO WARE

4.0 mV

Señales Manipulador Operación



Pruebas de funcionamiento

Núm.	Elementos	Componentes	Funcional	No	
				funcional	N° Pruebas
1	Sensores	Sensor EMG básico	15	5	20
2	mioeléctricos	Sensor MyoWare 2.0	20	0	20
3	IOT	Control remoto	17	3	20
4		Monitoreo remoto	18	2	20
5	Entorno virtual	Recepción de señales	20	0	20
6	Manipulador	Manejo de señales	15	5	20
7		Manipulación de objetos	15	5	20
TOTAL			120	20	140



PRUEBAS Y RESULTADOS

Validación de hipótesis

Chi cuadrado

$$f_t = \frac{T_i \times T_j}{N}$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$$

$$\text{Frecuencia esperada funcional} = \frac{20 \times 120}{140} = 17,143$$

$$\text{Frecuencia esperada no funcional} = \frac{20 \times 20}{140} = 2,857$$

Distribución de Chi-cuadrado

n	0,995	0,99	0,975	0,95	0,9	0,75	0,5	0,25	0,05	0,025	0,01	0,005
1	7,879	6,635	5,024	3,841	2,706	1,323	0,455	0,102	0,004	0,001	0,000	0,000
2	10,597	9,210	7,378	5,991	4,605	2,773	1,386	0,575	0,103	0,051	0,020	0,010
3	12,838	11,345	9,348	7,815	6,251	4,108	2,366	1,213	0,352	0,216	0,115	0,072
4	14,860	13,277	11,143	9,488	7,779	5,385	3,357	1,923	0,711	0,484	0,297	0,207
5	16,750	15,086	12,833	11,070	9,236	6,626	4,351	2,675	1,145	0,831	0,554	0,412
6	18,548	16,812	14,449	12,592	10,645	7,841	5,348	3,455	1,635	1,237	0,872	0,676
7	20,278	18,475	16,013	14,067	12,017	9,037	6,346	4,255	2,167	1,690	1,239	0,989
8	21,955	20,090	17,535	15,507	13,362	10,219	7,344	5,071	2,733	2,180	1,646	1,344
9	23,589	21,666	19,023	16,919	14,684	11,389	8,343	5,899	3,325	2,700	2,088	1,735

Datos	f_o	f_t	$(f_o - f_t)$	$(f_o - f_t)^2$	$\frac{(f_o - f_t)^2}{f_t}$
Funcional 1	15	17,143	-2,143	4,592	0,268
Funcional 2	20	17,143	2,857	8,162	0,476
Funcional 3	17	17,143	-0,143	0,020	0,001
Funcional 4	18	17,143	0,857	0,734	0,043
Funcional 5	20	17,143	2,857	8,162	0,476
Funcional 6	15	17,143	-2,143	4,592	0,268
Funcional 7	15	17,143	-2,143	4,592	0,268
No funcional 1	5	2,857	2,143	4,592	1,607
No funcional 2	0	2,857	-2,857	8,162	2,857
No funcional 3	3	2,857	0,143	0,020	0,007
No funcional 4	2	2,857	-0,857	0,734	0,257
No funcional 5	0	2,857	-2,857	8,162	2,857
No funcional 6	5	2,857	2,143	4,592	1,607
No funcional 7	5	2,857	2,143	4,592	1,607
TOTAL					12,601

$$\text{Grados libertad} = (7 - 1) \times (2 - 1) = 6$$

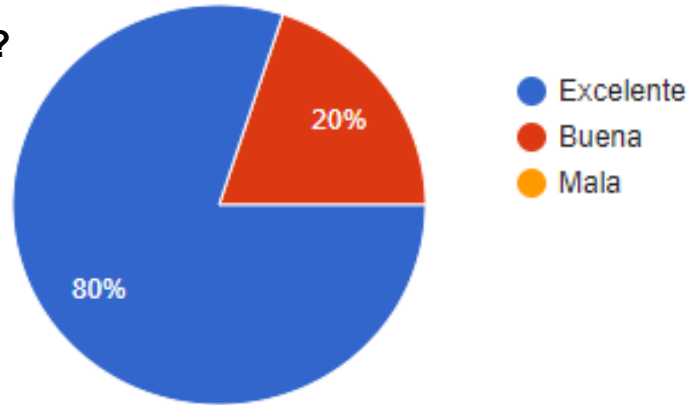
Hipótesis alternativa (H_i)= El diseño e implementación de un sistema mecatrónico de manipulación adaptativa de objetos, empleando realidad virtual y sensores mioeléctricos, permitirá contribuir al aprendizaje de tecnologías de la industria 4.0 en el Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" Sede Latacunga.



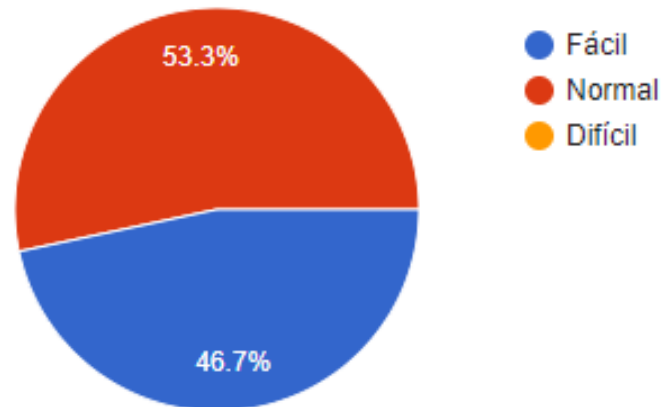
PRUEBAS Y RESULTADOS

Encuestas

1) ¿Qué calificación le daría usted al funcionamiento del módulo de aprendizaje con sensores mioeléctricos y aplicaciones en la Industria 4.0?



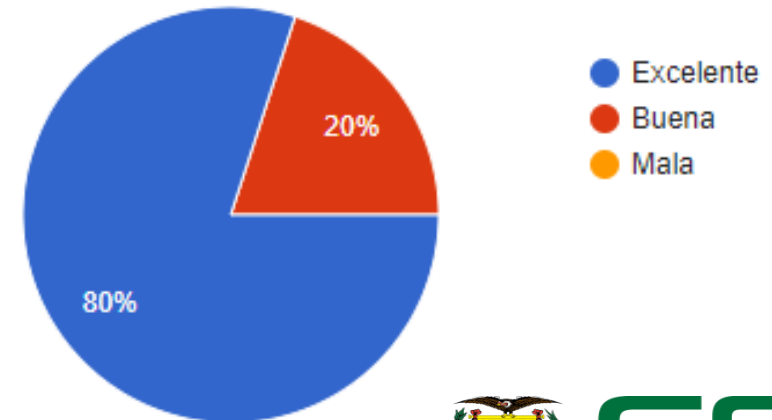
3) ¿Qué nivel de complejidad tuvo al momento de utilizar el módulo de aprendizaje presentado ?



2) ¿Considera usted que el módulo de aprendizaje presentado permite complementar los conocimientos adquiridos en las aulas de clase?



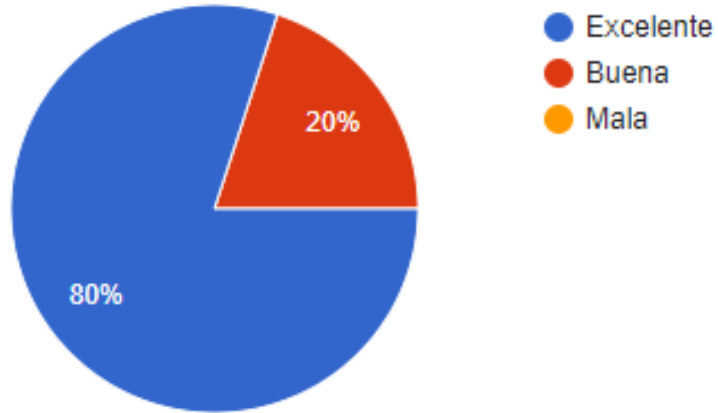
4) ¿Cómo califica usted la aplicación de realidad virtual presentada?



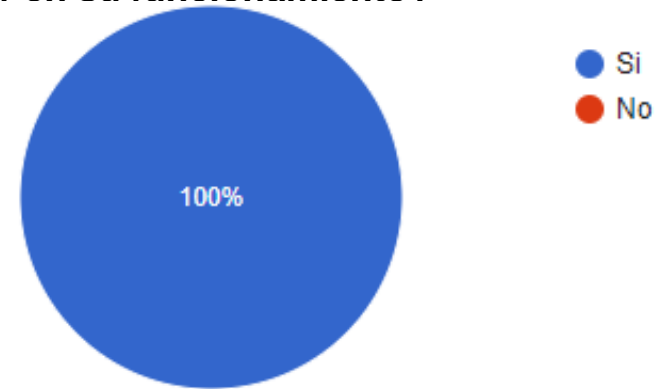
PRUEBAS Y RESULTADOS

Encuestas

5) ¿Cómo califica usted la aplicación de IOT presentada?



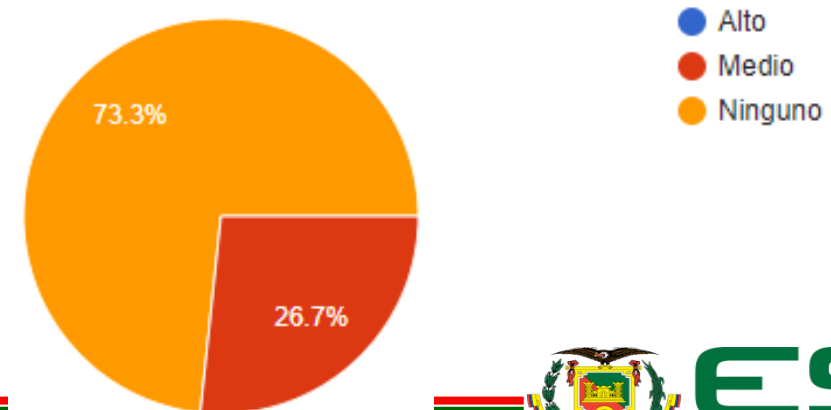
6) ¿Considera usted que la aplicación de IOT es amigable y fácil de comprender en su funcionamiento?



7) ¿Considera usted que la aplicación de realidad virtual es amigable y fácil de comprender en su funcionamiento?



8) ¿ Antes de esta presentación, cuál era su nivel de conocimiento sobre los sensores mioeléctricos y su aplicación en sistemas mecatrónicos y tecnologías de la Industria 4.0?



Encuestas

9) ¿Se siente usted motivado a seguir explorando y aprendiendo sobre sensores mioeléctricos después de esta experiencia?



10) ¿Recomienda usted utilizar el módulo de aprendizaje presentado para contribuir al aprendizaje en tecnologías de la Industria 4.0 ?



11) ¿Cuál es su opinión y/o recomendación acerca del módulo de aprendizaje con sensores mioeléctricos y aplicaciones en la Industria 4.0?

Coeficiente “Alfa de Cronbach”

Encuestados	Ítems										Suma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
E1	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	29
E2	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	29
E3	2	3	2	2	2	3	3	1	3	3	24
E4	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	29
E5	2	3	2	2	2	3	3	1	3	3	24
E6	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	27
E7	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	27
E8	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	28
E9	3	3	2	3	3	3	3	1	3	3	27
E10	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	28
E11	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	28
E12	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	29
E13	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	28
E14	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	28
E15	2	3	2	2	2	3	3	1	3	3	24
Varianza	0,160	0	0,249	0,160	0,160	0	0	0,240	0	0	3,129
Sumatoria de varianzas	0,969										
Varianza de la suma de ítems	3,129										

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum S^2}{S_T^2} \right)$$

$$\alpha = \frac{10}{10-1} \left(1 - \frac{0,969}{3,129} \right)$$

$$\alpha = 0,767$$

Intervalo al que pertenece el coeficiente de Alfa de Cronbach	Valoración de fiabilidad de los ítems analizados
$\alpha < 0,5$	Inaceptable
$0,5 \leq \alpha < 0,6$	Pobre
$0,6 \leq \alpha < 0,7$	Débil
$0,7 \leq \alpha < 0,8$	Aceptable
$0,8 \leq \alpha < 0,9$	Bueno
$\alpha \geq 0,9$	Excelente

$$\alpha < 0,5$$

Inaceptable

$$0,5 \leq \alpha < 0,6$$

Pobre

$$0,6 \leq \alpha < 0,7$$

Débil

$$0,7 \leq \alpha < 0,8$$

Aceptable

$$0,8 \leq \alpha < 0,9$$

Bueno

$$\alpha \geq 0,9$$

Excelente



CONCLUSIONES

- Realizar el estado del arte permitió abordar los objetivos planteados, como la selección de materiales, el diseño e implementación del sistema mecatrónico, la aplicación de IOT y realidad virtual.

- En la elaboración del diseño se realizó la selección de componentes, aplicando el método cualitativo por puntos.

- Durante la construcción e implementación del sistema mecatrónico, se ha incorporado la tecnología de fabricación aditiva, utilizando la impresora 3D Anycubic I3 Mega.



CONCLUSIONES

- Se ha desarrollado una aplicación de realidad virtual con el propósito de enseñar a los estudiantes de una manera interactiva sobre el manejo de las señales adquiridas a través de los sensores mioeléctricos.

- La aplicación de IOT funciona como una herramienta de control, se debe considerar la presencia de un retraso de aproximadamente 0,5 a 1 segundos, en la transmisión de datos desde la aplicación móvil al manipulador.

- Mediante pruebas se obtuvo un nivel de confiabilidad del 95%, asimismo, al aplicar encuestas consideradas aceptables, con un coeficiente $\alpha=0,767$ a un grupo de 15 estudiantes.



RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar el consumo de energía de los dispositivos conectados a los microcontroladores, en este caso la ESP32 al usar sus módulos de wifi y Bluetooth el consumo es de 175mA.

- Para mantener el manipulador en óptimas condiciones y prevenir el sobrecalentamiento de los servomotores, es recomendable evitar movimientos bruscos y abstenerse de levantar objetos con un radio superior a 3 cm y un peso superior a 100 gramos.

- Realizar el envío de datos de los sensores por bluetooth esta elección se basa en la comparación con el módulo Wifi, que implica un tiempo de envío y recepción de datos con un corto retraso, el módulo de Bluetooth ofrece una respuesta directa por lo cual este aspecto cobra especial relevancia en el control del manipulado.



RECOMENDACIONES

- Para aplicaciones que requieran mejor precisión de las señales musculares se recomienda usar un amplificador de instrumentación AD623, ya que cuenta con características que garantizan una amplificación confiable y una menor interferencia de ruido.

- Aplicar gel conductivo para reducir la impedancia de la piel y mejora la conducción de voltaje a través de los electrodos.

- Preparar la zona muscular adecuadamente, eliminando vello y células muertas que podrían interferir con la señal muscular.

- Utilizar electrodos nuevos y en buen estado, además, se recomienda no mantener pegados los electrodos por mucho tiempo.

- Revisar el manual de usuario para acceder a una comprensión más profunda acerca de cómo aprovechar al máximo el módulo de aprendizaje



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA