

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**  
**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**  
**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PRÓTESIS BIÓNICA DE MANO, MUÑECA Y ANTEBRAZO, CON CAPACIDAD DE MANIPULACIÓN Y ROTACIÓN, CONTROLADA POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL A TRAVÉS DE SEÑALES MIOELÉCTRICAS, UTILIZANDO UN SISTEMA DE ENTRENAMIENTO EN UN ENTORNO VIRTUAL PARA FACILITAR SU ADAPTACIÓN.”

**AUTORES:** CASTRO VACA, ANDRES SEBASTIAN

LARA FREIRE, JUAN CARLOS

**DIRECTOR:** ING. CAIZALITÍN QUINALUISA, EDWIN ALEJANDRO

**Latacunga, 2022**



# Contenido



**Antecedentes**

**Planteamiento del problema**

**Descripción del proyecto**

**Objetivos**

**Hipótesis**

**Necesidades del cliente**

**Diseño electrónico**

**Diseño del sistema de control**

**Diseño mecánico**

**Construcción**

**Comunicación entre hardware y software**

**Implementación**

**Pruebas y resultados**

**Conclusiones**

**Recomendaciones**

## Antecedentes



Desde la edad media las prótesis de mano y antebrazo fueron la base para la ortopedia moderna, llevando al desarrollo de miembros artificiales estéticos.



La Universidad Johns Hopkins es uno de los más grandes pioneros en el desarrollo de prótesis



# Antecedentes



En Ecuador las prótesis de extremidades superiores son complejas de adquirir, por sus altos costos de manufactura y materiales idóneos, que no se disponen en nuestro país.



En la provincia de Tungurahua, la ciudad Ambato posee en el año 2021 un índice del 36.31% de su colectividad con algún tipo discapacidad física (Discapacidad, 2021).



Uno de los centros con más de 40 años en el campo de la ortopedia y al servicio de la ciudadanía Ambateña es el centro ortopédico Yánez.



## Planteamiento del problema

La pérdida de una extremidad del cuerpo humano, ocasionadas por accidentes de tránsito, laboral o por una enfermedad, las personas con este traumatismo no desarrollan normalmente actividades cotidianas, el uso de prótesis biónicas en el Ecuador es precaria.



## Descripción del proyecto



En el presente trabajo tiene por objetivo contribuir a la solución de personas con discapacidad en conjunto con el centro ortopédico Yáñez de la ciudad de Ambato.

Con el fin de generar una prótesis funcional de una extremidad superior, que permita tener una máxima funcionalidad y adaptación contando con la asesoría técnica y financiera por parte del centro ortopédico Yáñez.



## Objetivo General



Diseñar e implementar una prótesis biónica de mano, muñeca y antebrazo, con capacidad de manipulación y rotación, controlada por inteligencia artificial a través de señales mioeléctricas, utilizando un sistema de entrenamiento en un entorno virtual para facilitar su adaptación.

## Objetivos Específicos



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Recopilar información sobre las técnicas de diseño de prótesis de mano, muñeca y antebrazo.

Obtener las señales mioeléctricas procedentes del movimiento muscular del brazo derecho, para la formación de la inteligencia artificial

Diseñar los mecanismos para el movimiento independientes de los dedos de la mano derecha y rotación de la muñeca.

Seleccionar los elementos electrónicos para dimensionar la estructura interna de la prótesis evitando tener holguras en la fijación de actuadores eléctricos.



## Objetivos Específicos



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Analizar los esfuerzos combinados en los mecanismos de los dedos de la mano, muñeca y antebrazo, para su posterior impresión 3D.

Implementar el entorno virtual y el algoritmo de control por inteligencia artificial para la adaptación de la prótesis, bajo las actividades cotidianas como alimentación, manipular y rotar objetos cilíndricos, abrir o cerrar puertas.

Realizar pruebas de adaptación de la prótesis y analizar los resultados obtenidos.

# Hipótesis

¿La implementación de una prótesis biónica de mano, muñeca, antebrazo que incluye un sistema de entrenamiento en un entorno virtual, permitirá facilitar la adaptación en manipulación y rotación de objetos sólidos de diferentes geometrías dentro de actividades cotidianas?



**Variable Independiente.:** Prótesis biónica de mano, muñeca, antebrazo que incluye un sistema de entrenamiento en un entorno virtual

**Variable Dependiente.:** Tiempo de adaptación en manipulación y rotación de objetos sólidos de diferentes geometrías dentro de actividades cotidianas

## Necesidades del Cliente



N°	Necesidades (Voz usuario)	Escala de importancia	Porcentaje de importancia
1	Pueda tomar objetos	5	15,873
2	Permita girar objetos	5	15,873
3	Fácil de colocar	3,5	11,111
4	Fácil de utilizar	4	12,698
5	Sea duradera	3,5	11,111
6	No tenga precio excesivo	3,5	11,111
7	Se pueda utilizar muchas horas	4	12,698
8	Tenga apariencia a un antebrazo real	3	9,524

## Necesidades técnicas



---

N°	Necesidades Técnicas (Voz del ingeniero)
1	Desarrollo de una prótesis funcional
2	Mecanismo confiable para apertura y cierre de dedos
3	Mecanismo confiable para la rotación de la prótesis y objetos
4	Comunicación Hombre - Prótesis eficientemente
5	Realizar un porta muñón a medida del usuario
6	Diseño para una rápida fijación
7	Sistema eléctrico compacto
8	Desarrollar un control que permita un uso fácil de la prótesis
9	Utilizar materiales de calidad
10	Emplear un sistema de entrenamiento antes del uso sin cargas
11	Utilizar componentes comerciales
12	La forma superficial de la prótesis tener parecido a la mano
13	Utilizar materiales que posean similitud en color a la piel

---

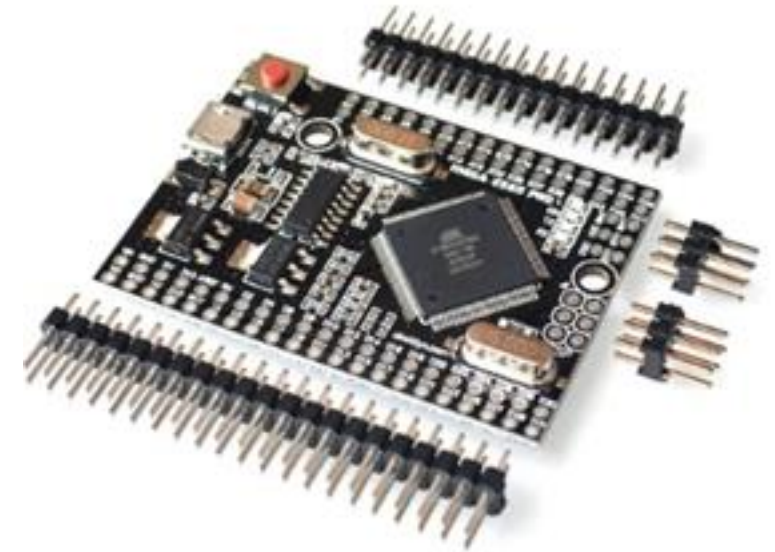
## Diseño electrónico



Brazaletes MyoArm, sensor mioeléctrico



Modulo Bluetooth 4.0, HM11



Tarjeta embebida, Arduino mega mini pro

## Diseño electrónico



Actuador lineal,  
PQ12 Actuonix



Actuador rotacional,  
Servo motor MG966



Fuente de  
alimentación,  
Batería LIPO



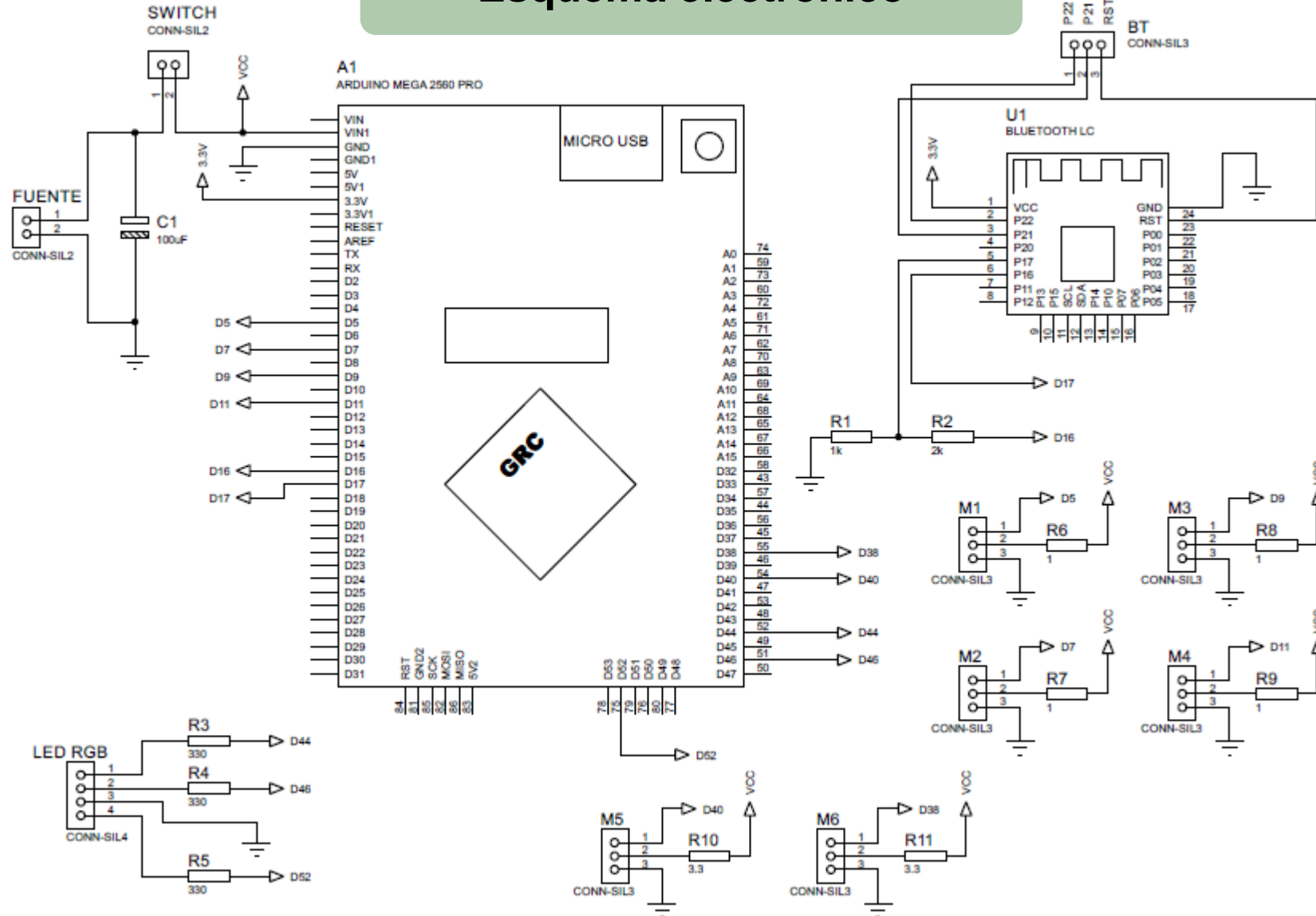
Gafas VR

# Esquema electrónico



# ESPE

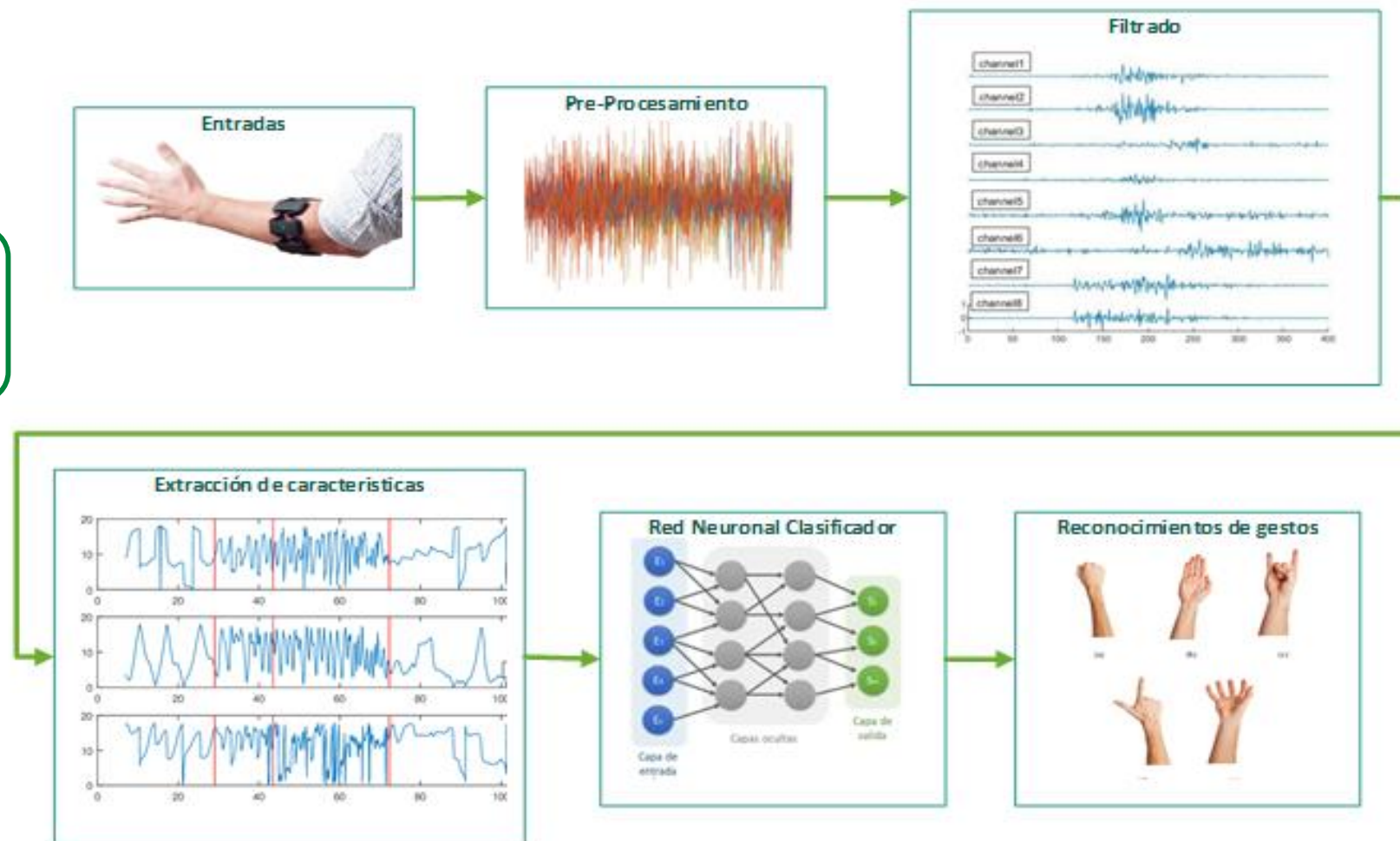
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
 INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



# Diseño del sistema de control



Arquitectura de la red neuronal.

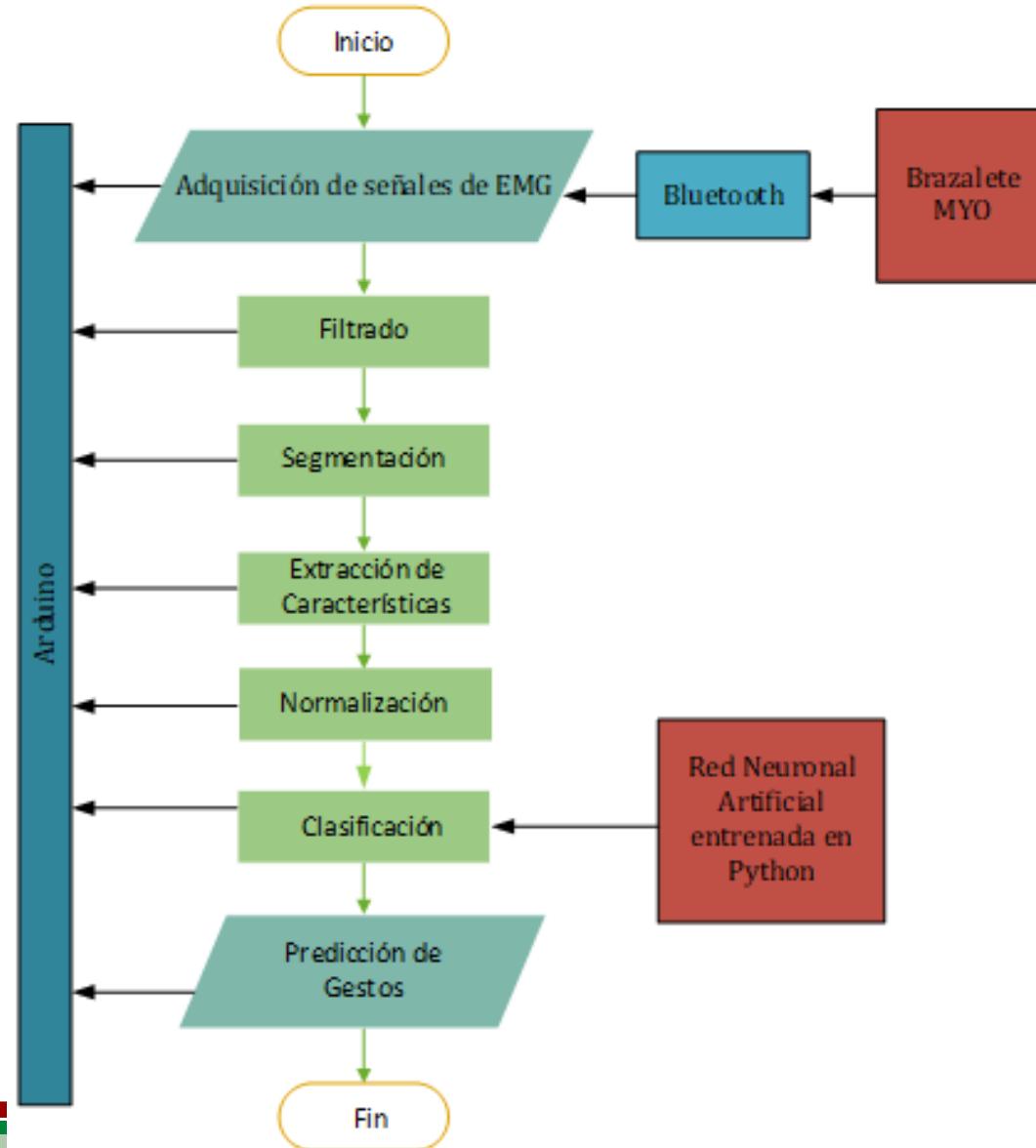




# Diseño del sistema de control



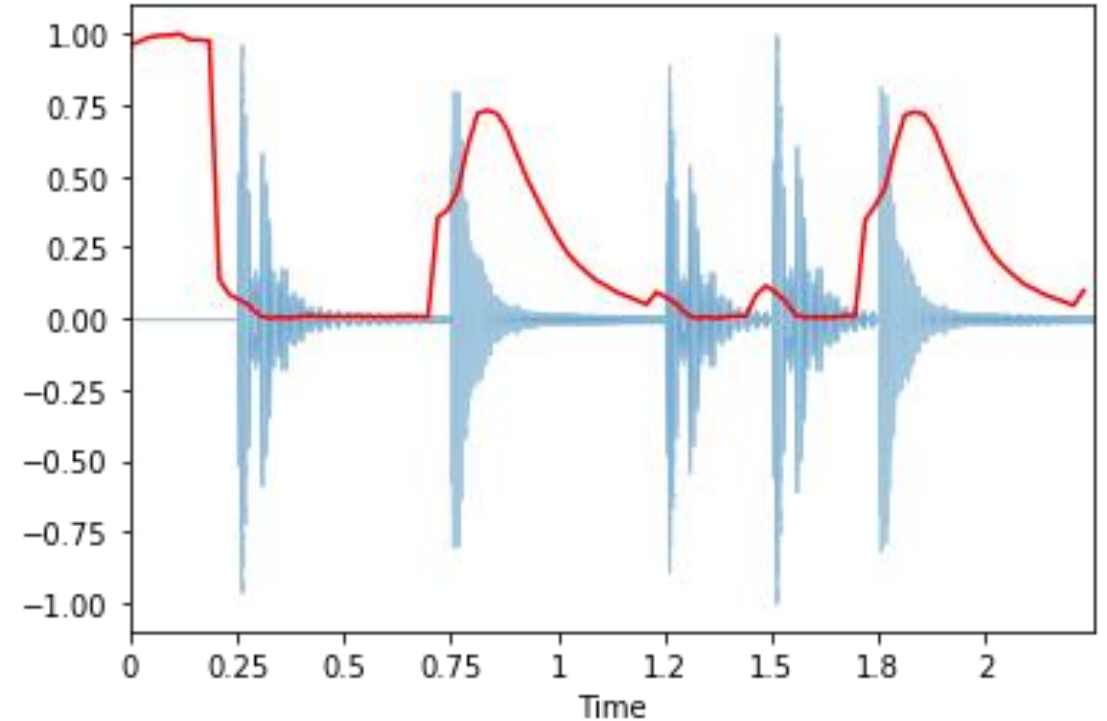
Flujograma del proceso de formación de la base de datos.



## Extracción de las Características de la señal



La extracción de las características consiste en extraer la información más relevante de la sección de un patrón, minimiza la complejidad de la implementación, reduce el costo computacional del procesamiento de la información.



## Extracción de las Características de la señal



**Valor absoluto medio (MAV):** tiene características relacionadas con la amplitud, que se encuentra calculando el valor absoluto medio del segmento. La representación matemática de MAV es:

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-1} |f_k|$$

**Raíz cuadrática media (RMS):** Tiene características relacionadas con la frecuencia, que es la raíz cuadrada del cuadrado medio del segmento. La representación matemática de RMS es

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-1} |f_k|^2}$$

## Extracción de las Características de la señal

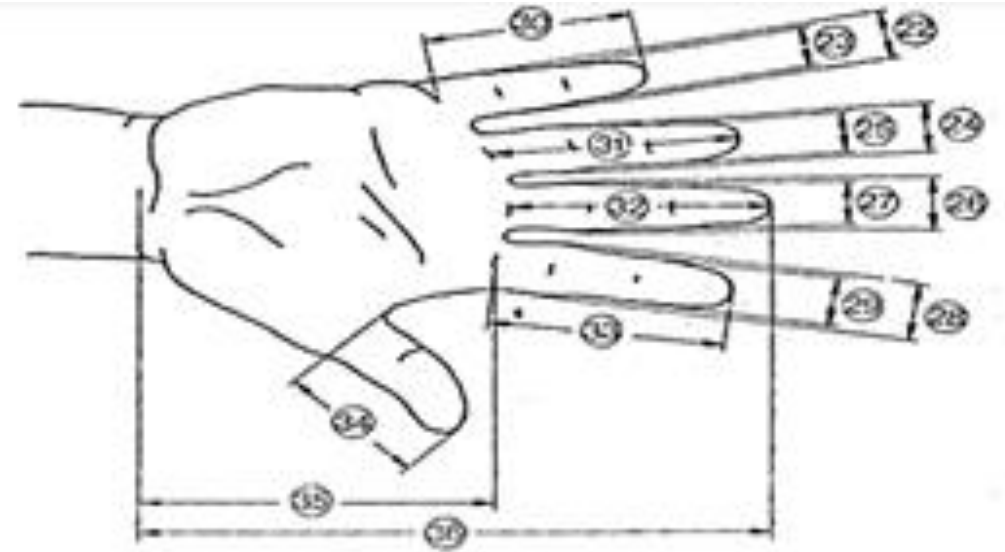


**Longitud de forma de onda (WL):** tiene características relacionadas con la amplitud, que representa la longitud acumulada de la forma de onda EMG durante el segmento de tiempo. La representación matemática de WL se da como:

$$WL = \sum_{k=1}^{N-1} |f_{k+1} - f_k|$$

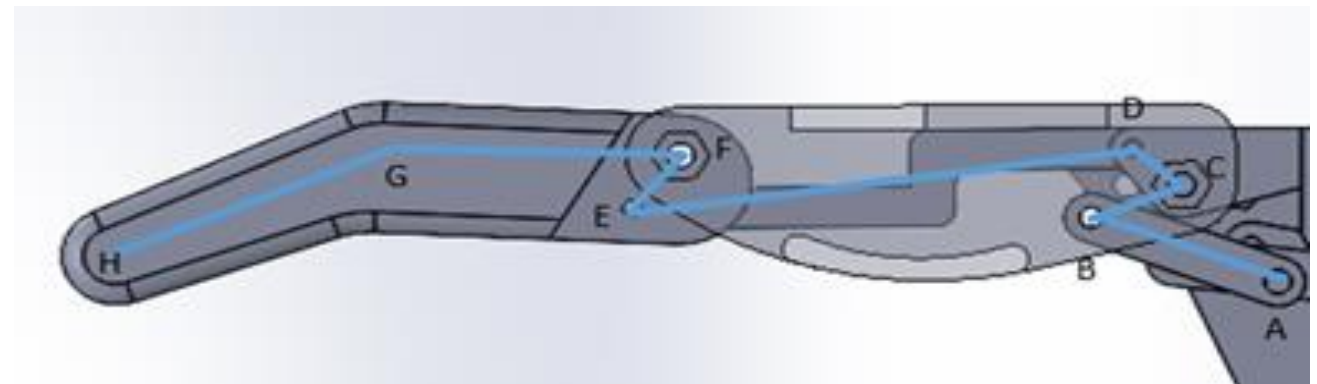
## Normas de Diseño

La norma alemana DIN 33402, en cuyas secciones uno y dos, detalla las medidas generales de la mano humana,



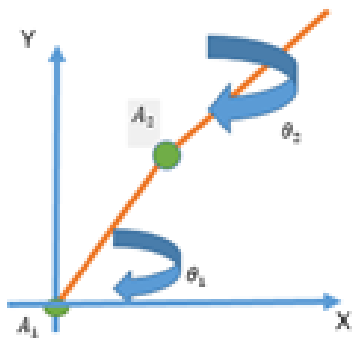
### Diseño del dedo

Al observar la representación del mecanismo se puede determinar que no es un mecanismo de 4 barras, ni semejante a un sistema conocido, además de no poder completar una rotación de  $360^\circ$ , se puede concluir que no cumple la ley Grashof, por ende se le denomina “No Grashof”.

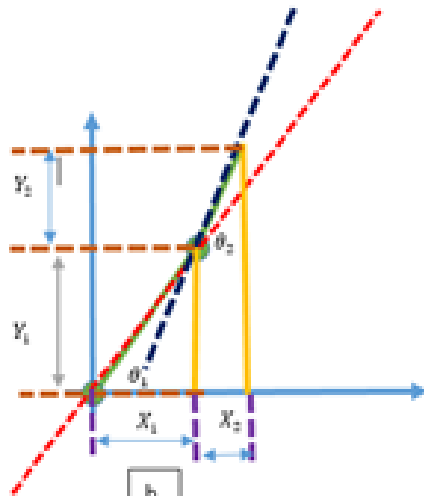


## Diseño del dedo

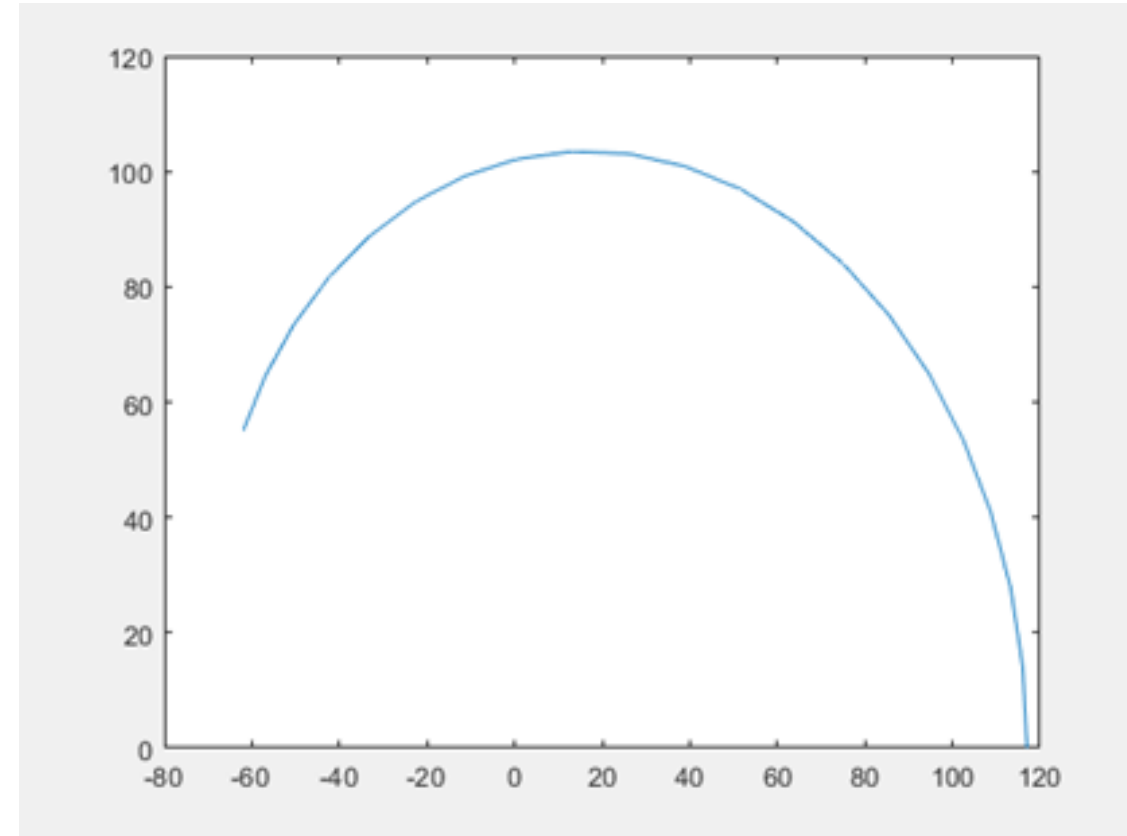
Para determinar la cinemática del dedo, se aplica el método geométrico, el cual permitirá graficar la trayectoria al variar la posición en función a sus ángulos



a)

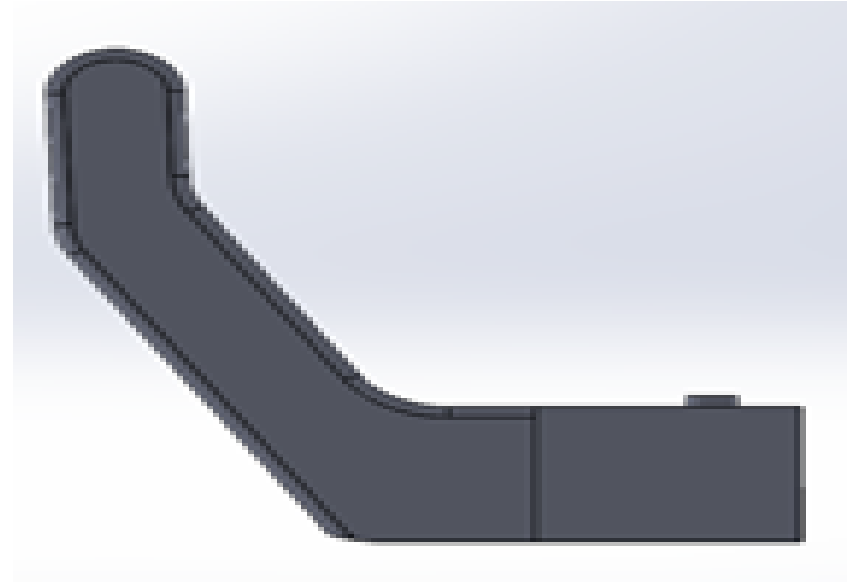


b)



### Diseño del pulgar

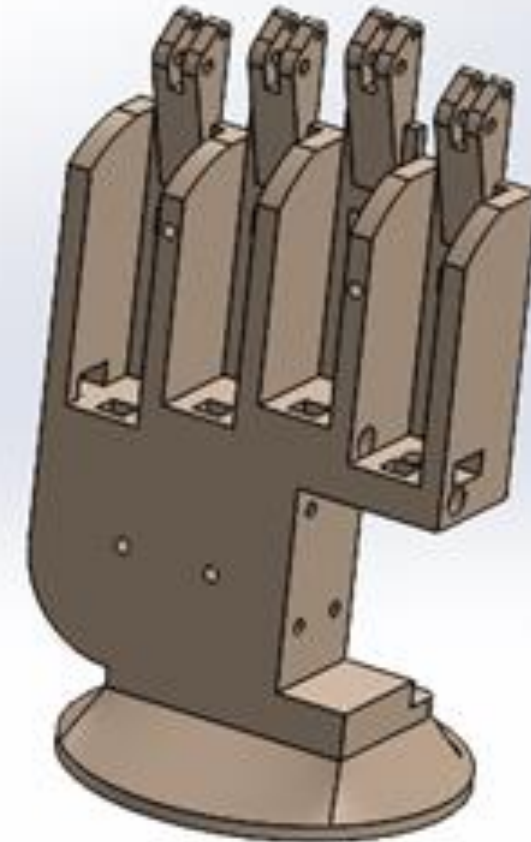
La geometría del pulgar sus falanges son fijas y considerando una inclinación de  $70^\circ$  a  $80^\circ$  de la proximal, con el objetivo de rotar y formar un ángulo de  $90^\circ$  con la palma.





### Diseño de la palma

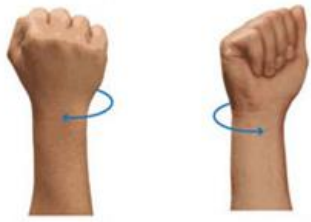
La palma es el elemento fundamental de la prótesis, ya que en él se colocaron los motores, descansaran los dedos y se apoyarán objetos que se tomen con los dedos



### Diseño del antebrazo

Para el dimensionamiento del antebrazo se parte del tamaño del muñón del futuro usuario de la prótesis, considerando de igual forma el tamaño de antebrazo izquierdo para mantener similitud con el miembro faltante.



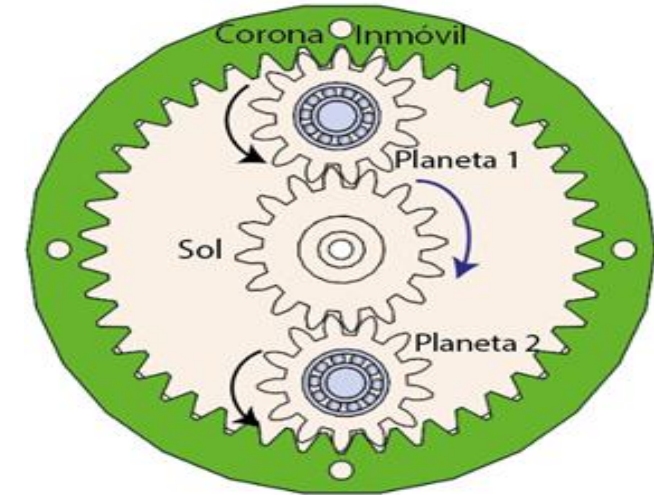
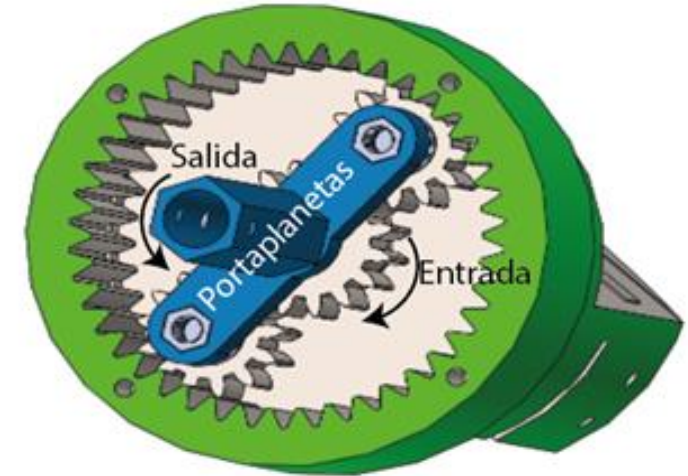


# Sistema de engranes planetario

Rotación de la muñeca, pronación y supinación

El funcionamiento del sistema de engranes planetario está restringido a tener una entrada impulsora en el engrane solar y la salida o conducida es el portaplanetas que se conecta internamente a los engranes planetarios.

Engranes	Número de dientes (Z)	Diámetro Primitivo (Dp)	Estado
Corona	42	63mm	Fijo
Sol	16	24mm	Móvil
Planeta	13	19.5mm	Móvil



## Sistema de engranes planetario



Análisis de esfuerzos por cálculos matemáticos

Por medio de la ecuación del esfuerzo de flexión en engranajes de dientes rectos se calculó la magnitud del esfuerzo

$$\sigma_b = \frac{F_{SOL-tan}}{FmJ} \frac{K_a K_m}{K_v} K_S K_B K_L \quad \sigma_b = 5.4 MPa$$

Utilizando los criterios para esfuerzos de diseño se establece un carga estática con un material frágil, dando como resultado un esfuerzo de diseño de:

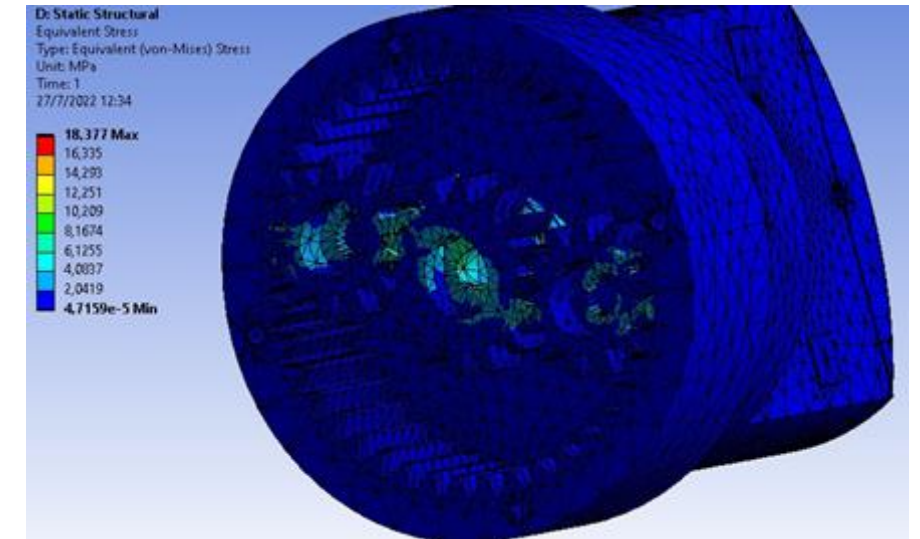
$$\sigma_d = 5.5 MPa$$

Al comparar se cumple con

$$\sigma_b < \sigma_d$$

Se aprueba el diseño para su posterior construcción.

Análisis de esfuerzos por medio de análisis computacional.



El esfuerzo de flexión simulado es menor que el esfuerzo permisible del material

### Analisis estructuras de las componentes de la prótesis

En los estudios realizados por Beer, Johnston, & DeWolf, manifiestan que la resistencia última para materiales termoplásticos usado como materia prima en la elaboración del diseño sea igual a:

$$S_u = 55 \text{ MPa}$$

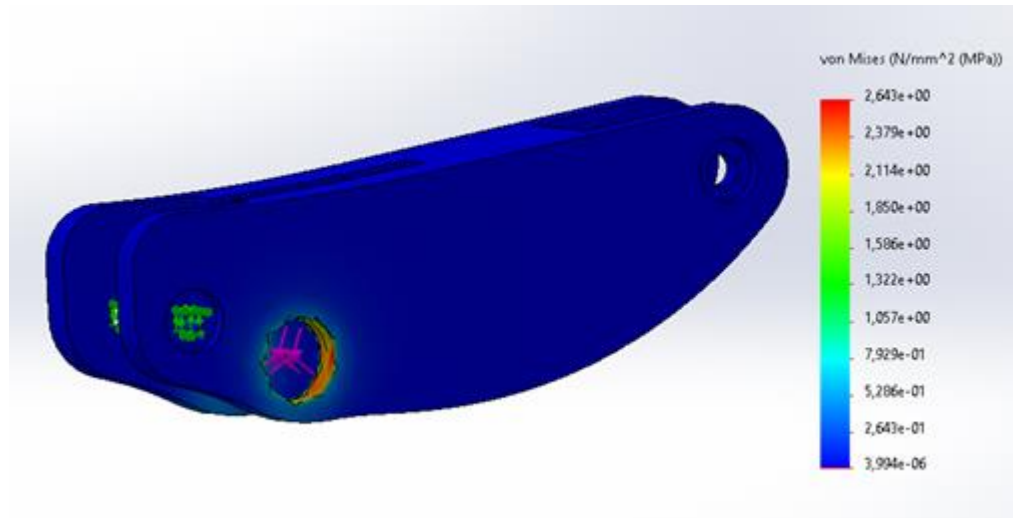
La condición de que el diseño es seguro ante un esfuerzo debido a la flexión viene dada por la siguiente condición:

$$\sigma_d < S_u / 6$$

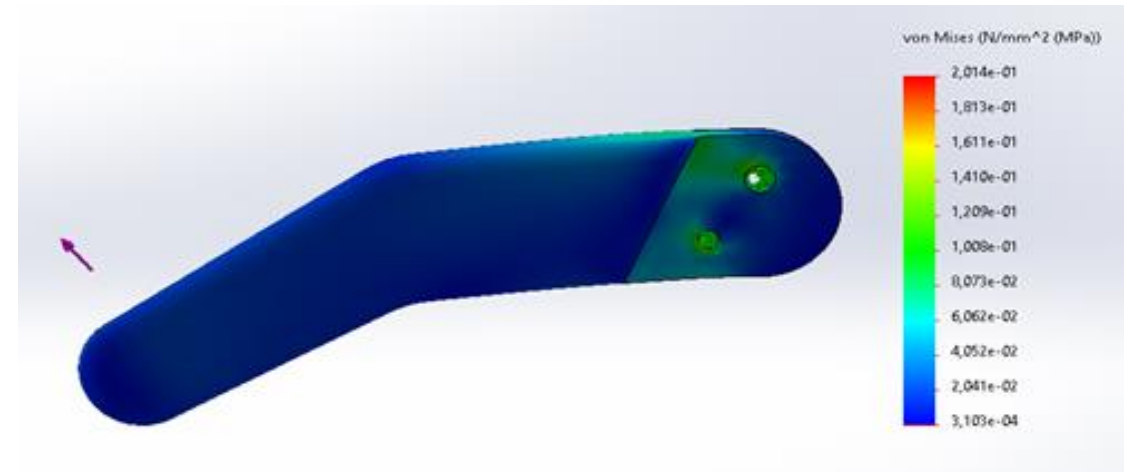
## Diseño mecánico



### Analisis estructuras de las componentes de la prótesis

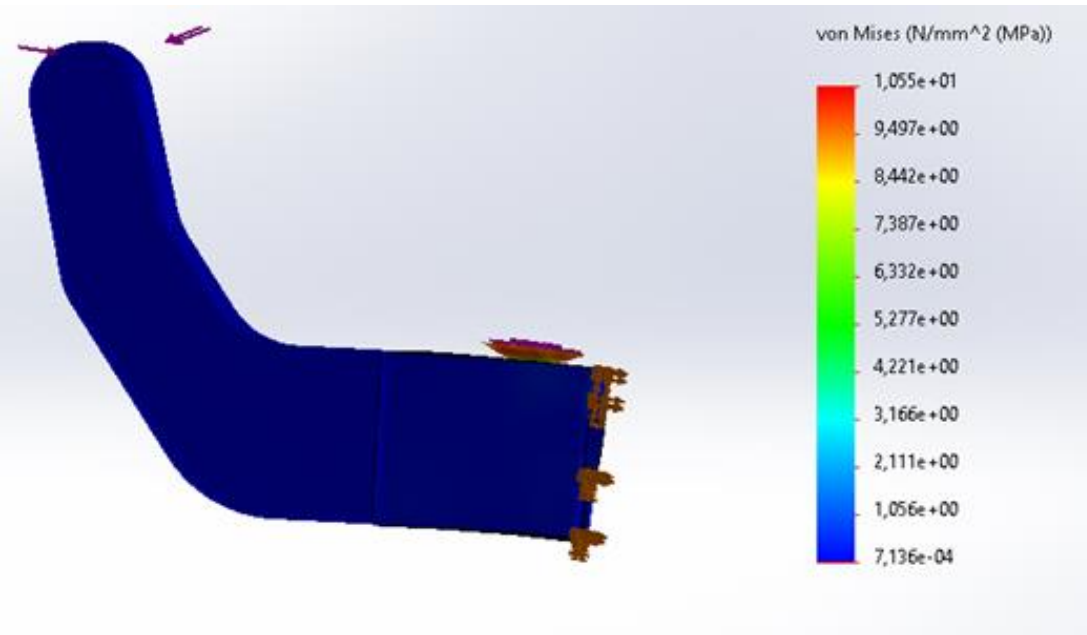


Max: 2.62 MPa  
Calculada: 0.327 MPa  
Condición de diseño:  $0.327 < 9.16$

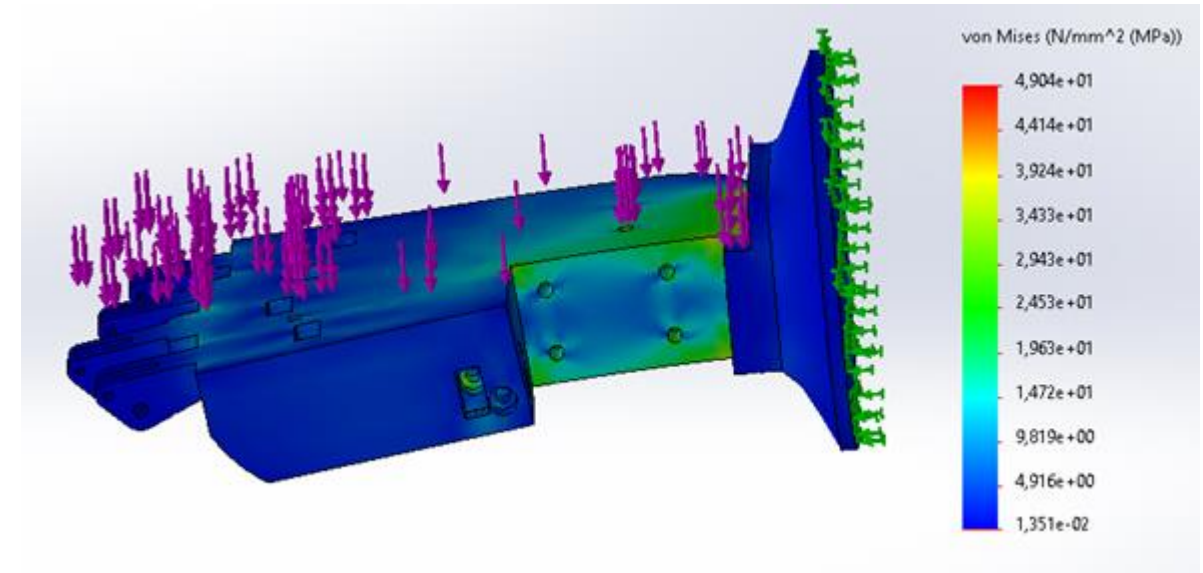


Max: 2.014 MPa  
Calculada: 0.446 MPa  
Condición de diseño:  $0.446 < 9.16$

## Analisis estructuras de las componentes de la prótesis

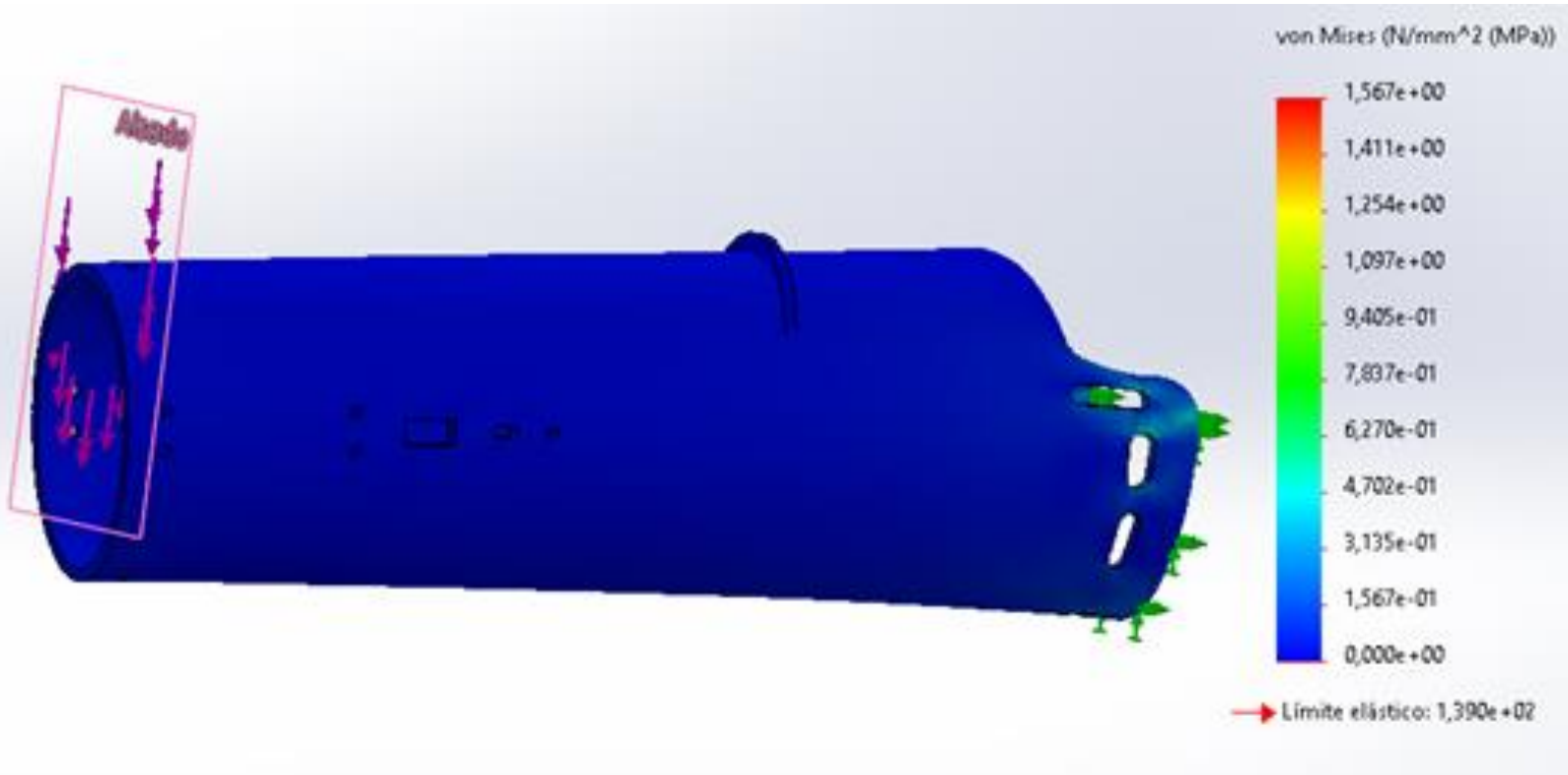


Max: 10.55 MPa  
Calculada: 0.257 MPa  
Condición de diseño:  $0.257 < 9.16$



Max: 49.4 MPa  
Calculada: 3.432 MPa  
Condición de diseño:  $3.432 < 9.16$

## Analisis estructuras de las componentes de la prótesis



Max: 1.56 MPa  
Calculada: 0.031 MPa  
Condición de diseño:  $0.031 < 9.16$



## Construcción



En nuestro país existe una normativa INEN-ISO 22523 que establece que el material no debe ser inflamable, tóxico y que no produzca ningún problema de salud al futuro usuario.

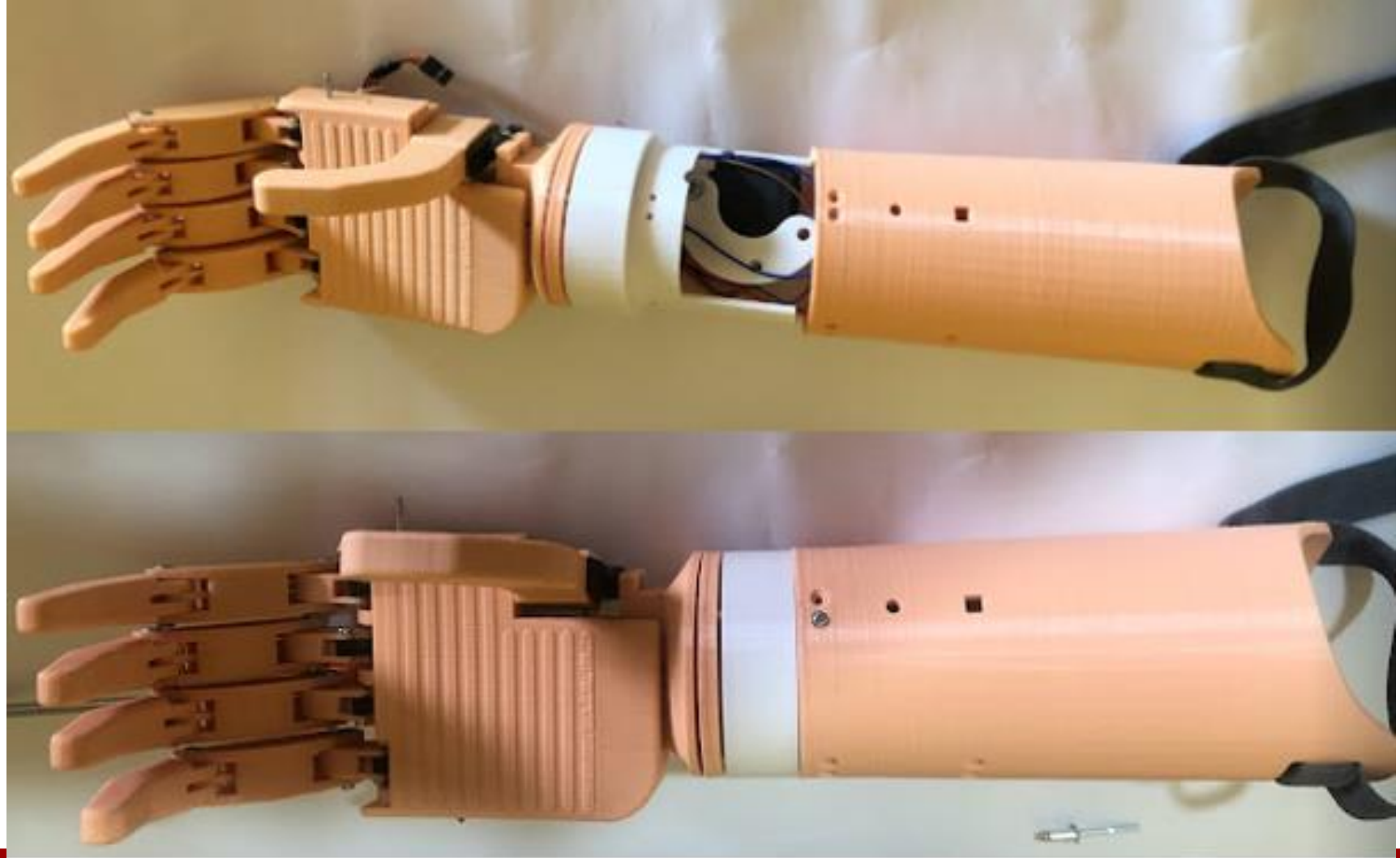
Impresión 3D y  
ensamblaje de la mano  
y palma



## Construcción



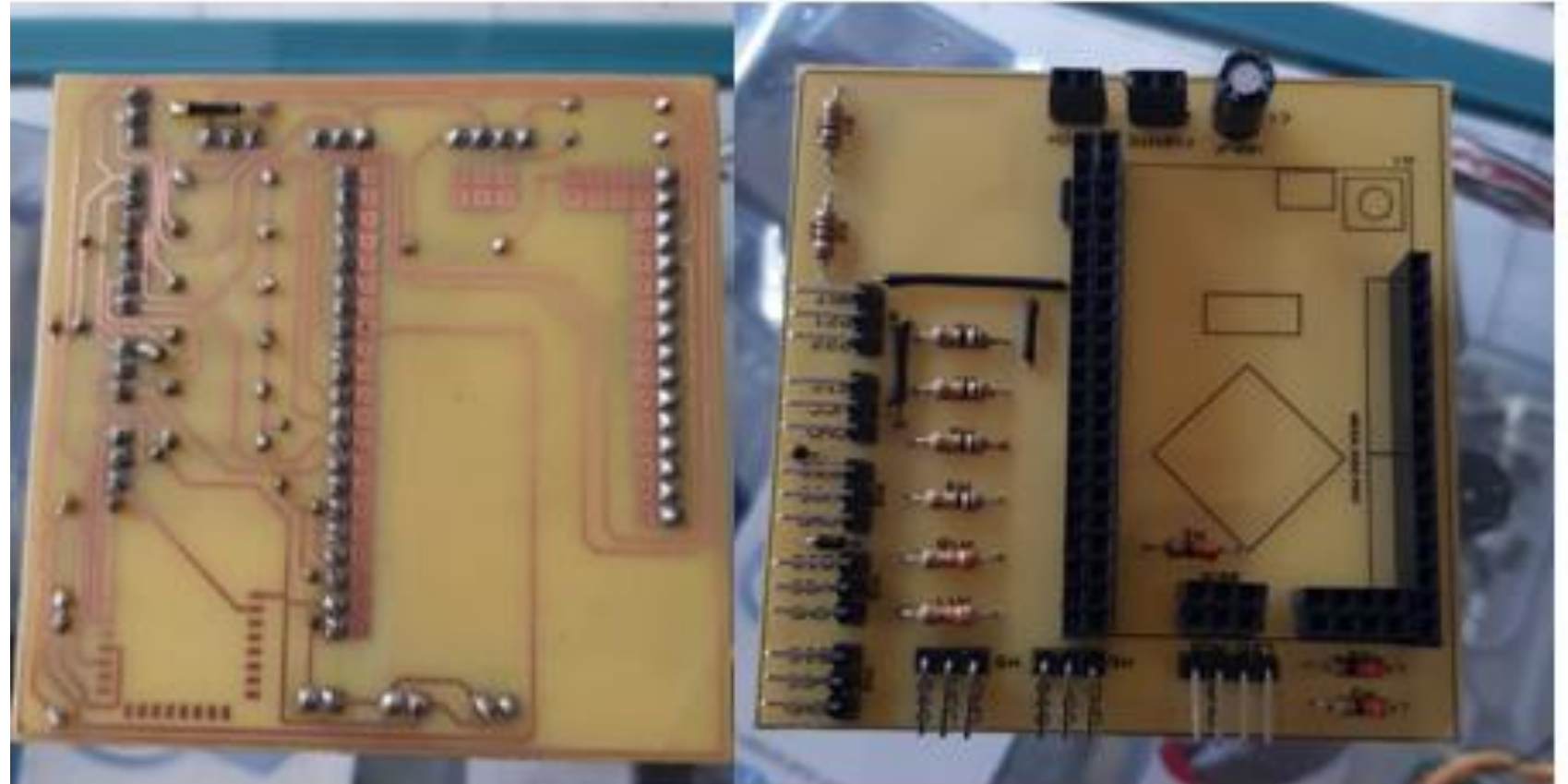
Impresión 3D y  
ensamblaje completo  
de la prótesis



## Construcción



Circuito PCB del control de la prótesis



## Comunicación entre hardware y software



Se realizó una toma de datos de las señales mioeléctricas procedentes del muñón con el fin de medir la actividad muscular de esta sección, denotándose que al solicitar al paciente realice de forma conjunta el abrir y cerrar la mano con su otra extremidad, la actividad muscular es realmente baja.



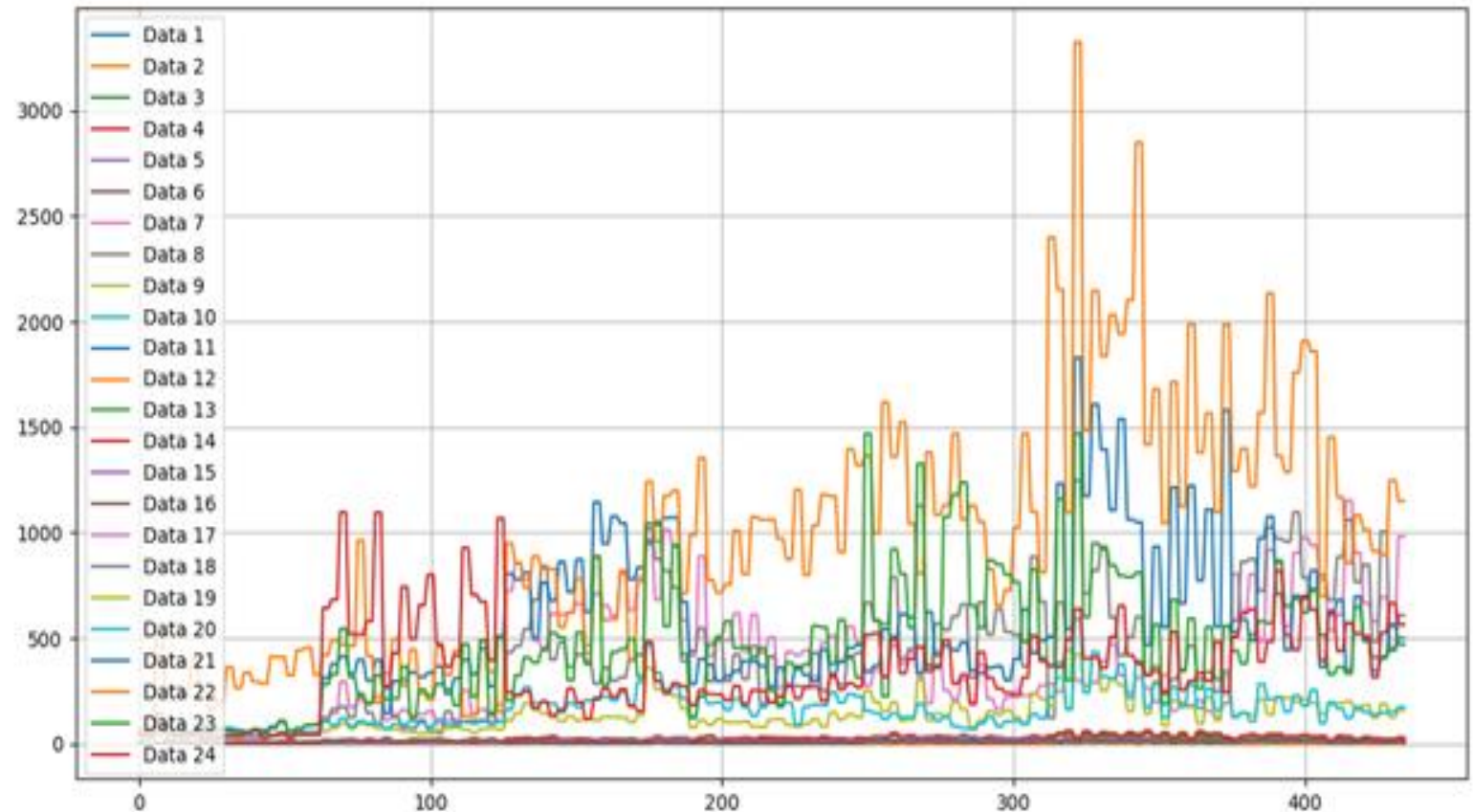
## Comunicación entre hardware y software



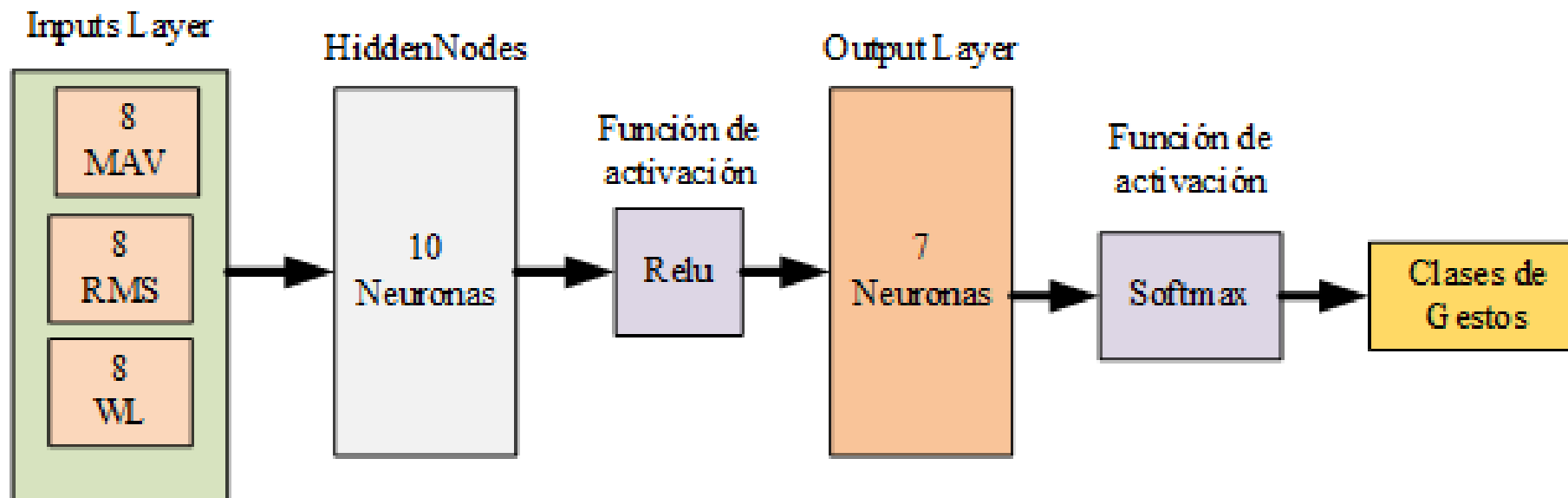
Definición de los gestos para red neuronal, estos gestos permitirán realizar distintos movimientos a la prótesis biónica.



Base de datos de los gestos para red neuronal, se muestra las 24 señales provenientes de la extracción de las características de cada gesto, la base se encuentra concatenada para ingresar al entrenamiento de la red neuronal.



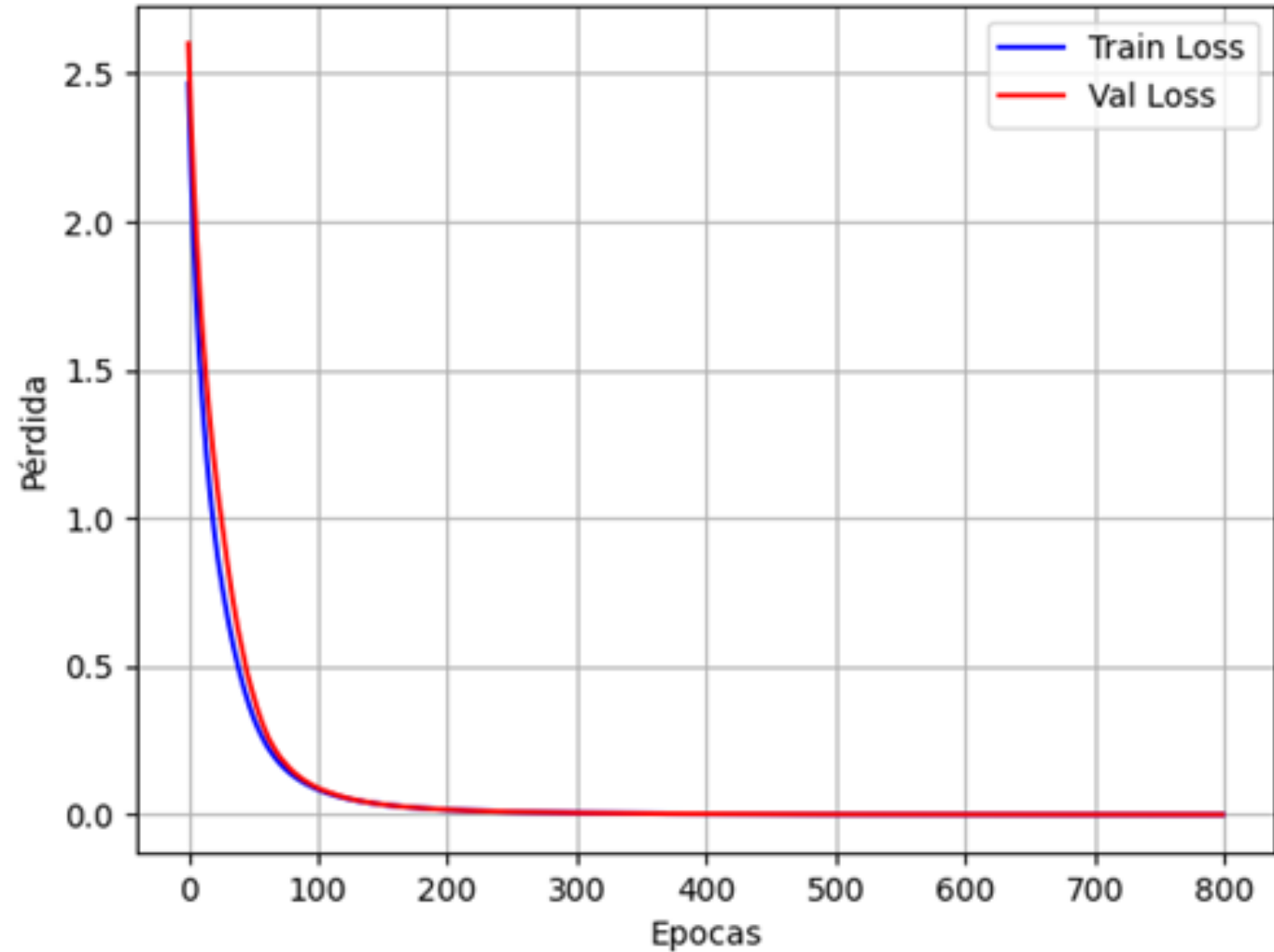
## Arquitectura de la Red Neuronal



## Comunicación entre hardware y software



Resultados de entrenamiento y validación.



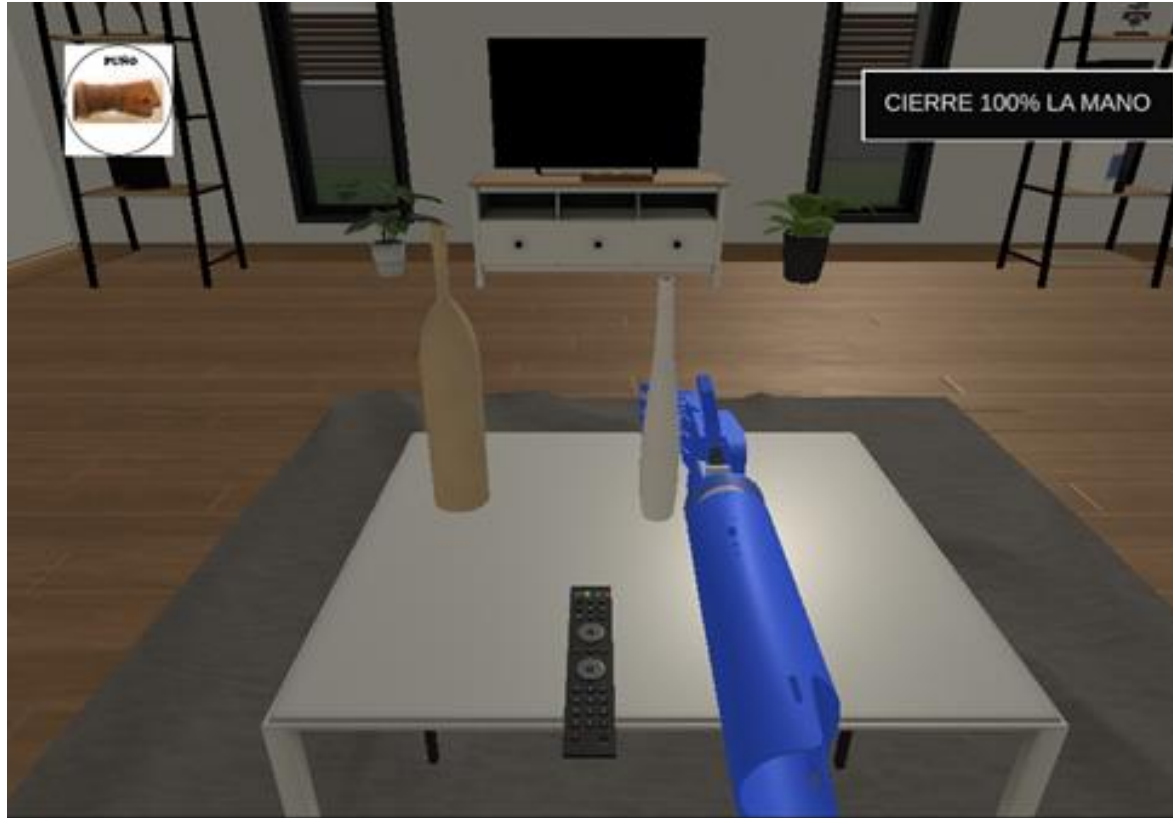


## Implementación



Previo a la colocación del miembro artificial sobre el beneficiario, se ha diseñado un entrenamiento de los gestos que debe realizar para activar los distintos movimientos que están inmersos en el sistema de control, este entrenamiento se ha realizado de forma virtual dentro del software “Unity”, en el cual se han planteado escenarios con objetos y actividades cotidianas.

## Escenario N°1



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## Escenario N°2





## Escenario N°3



## Escenario N°4





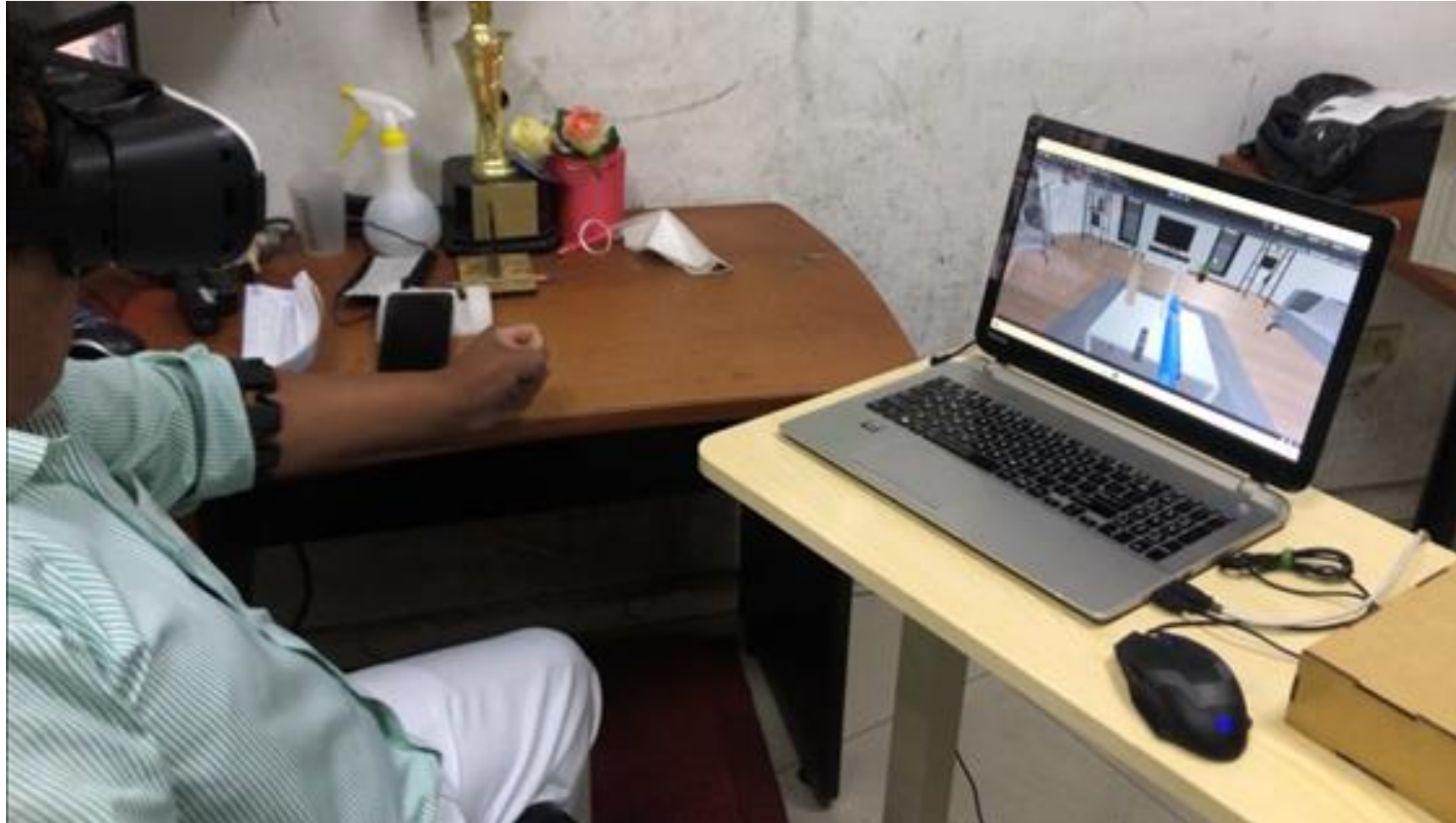
## Escenario N°5



## Escenario N°6



# Aplicación del entorno virtual



# Colocación de la prótesis sobre el usuario



## Pruebas



Objetos para los distintos agarres, los objetos son un control de televisión, un libro, una carta, una funda de té, botella de enjuague bucal, botella de agua y un desarmador.



## Pruebas



---

### Dimensiones de los objetos cotidianos para las pruebas

---

Control remoto	largo:18.5cm, ancho: 5cm , espesor: 3cm
Libro	largo: 21cm, ancho: 13cm , espesor: 2cm
Botella de enjuague bucal	largo: 14.5cm, ancho: 7.5cm , espesor: 3.5cm
Botella de agua	largo: 24 cm, diámetro: 6.5cm
Carta	largo: 16 cm, ancho:6 cm, espesor: 2mm
Funda de Té	largo: 6 cm, ancho:7 cm, espesor: 2mm
Destornillador	largo: 6 cm, ancho:7 cm, espesor: 2mm

---



## Pruebas



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas de agarre,  
a) control remoto, b)  
botella de enjuague  
bucal, c) botella de  
agua.



## Pruebas



Pruebas de agarre y  
teclado, a) teclado  
b) destornillador..



## Pruebas



Pruebas de agarre y teclado, a) funda de té, b) carta.



# Resultados



Tipos de agarres / funciones	Descanso	Agarre esférico	Agarre tipo pinza	Agarre en gancho	Informática	Rotación de la muñeca	
Nº Intento	Abrir mano	Cierre de la mano	Tres dedos	Lápiz	Forma de L	Palma Arriba	Palm a Abajo
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	0	0	0	0
4	1	0	0	0	1	0	0
5	0	1	1	1	0	1	1
6	1	1	1	1	1	0	1
7	1	0	0	0	1	1	1
8	0	1	1	0	0	1	1
9	1	1	0	1	1	0	1
10	1	1	1	0	0	1	0
11	1	1	0	1	1	1	1
12	1	0	1	0	1	0	0
13	0	1	1	1	1	0	1
14	1	1	0	0	1	1	1
15	0	1	1	1	0	0	1
16	1	0	1	1	1	1	0
17	1	1	0	0	1	1	1
18	1	1	1	1	1	0	0
19	1	0	1	1	1	1	1
20	0	1	0	0	0	1	0
Nº Aciertos	15	14	12	10	13	11	12
Nº Errores	5	6	8	10	7	9	8
Porcentaje de aciertos	75%	70%	60%	50%	65%	55%	60%

Para evaluar el sistema de la prótesis sobre el cuerpo humano, se ha realizado 20 intentos con cada objeto con sus correspondientes gestos de control, estos datos se los ha recopilado por un intervalo de 60 minutos al aplicar y no aplicar el entrenamiento RV, se le asignado un valor de 1 cuando el gesto realizado es correcto y 0 si es incorrecto.

## Validación de la hipótesis



A continuación se procede a identificar la hipótesis nula  $H_0$  y alternativa  $H_1$

Hipótesis nula  $H_0$

La implementación de una prótesis biónica de mano, muñeca, antebrazo que incluye un sistema de entrenamiento en un entorno virtual, no permite facilitar la adaptación en manipulación y rotación de objetos sólidos de diferentes geometrías dentro de actividades cotidianas.

Hipótesis alternativa  $H_1$

La implementación de una prótesis biónica de mano, muñeca, antebrazo que incluye un sistema de entrenamiento en un entorno virtual, permite facilitar la adaptación en manipulación y rotación de objetos sólidos de diferentes geometrías dentro de actividades cotidianas.

# Validación de la hipótesis



## Cálculos

Con la finalidad de conocer si los datos obtenidos en las pruebas son muestras normales o no estadísticamente, se utiliza el software estadístico Spss, los valores porcentuales de aciertos al realizar cada gesto

Se inicia estableciendo un valor de comparación para identificar las muestras recopiladas y asignar una técnica estadística adecuada.

Ho: La muestra procede de una distribución normal ( $p > 0.05$ )  
H1: La muestra No procede de una distribución normal ( $p < 0.05$ )

	PorcentajeIntentoUno	PorcentajeIntentoDos	PorcentajeIntentoTres	var	var
1	75,00	75,00	85,00		
2	70,00	75,00	85,00		
3	60,00	70,00	80,00		
4	50,00	65,00	80,00		
5	65,00	75,00	80,00		
6	55,00	70,00	85,00		
7	60,00	75,00	85,00		

## Pruebas estadísticas

- $H_0: Me_1 = Me_2 = Me_3$
- $H_1: Me_1 \neq Me_2 \neq Me_3$

Estadísticos de prueba <sup>a,b</sup>	
	Porcentaje
H de Kruskal-Wallis	15,922
gl	2
Sig. asintótica	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis  
b. Variable de agrupación: Grupo

Se acepta  $H_1$  por tener un valor estadístico  $< 0.05$

Conclusión



## Validación de la hipótesis

- $H_0: Me_1 = Me_2$
- $H_1: Me_1 \neq Me_2$

### Estadísticos de prueba<sup>a</sup>

	PorcentajeIntentoUno - PorcentajeIntentoDos
Z	-2,232 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,026

- a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  
b. Se basa en rangos positivos.

Se acepta  $H_0$  por tener un valor estadístico  $> 0.05$

- $H_0: Me_1 = Me_3$
- $H_1: Me_1 \neq Me_3$

### Estadísticos de prueba<sup>a</sup>

	PorcentajeIntentoUno - PorcentajeIntentoTres
Z	-2,375 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,018

- a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  
b. Se basa en rangos positivos.

Se acepta  $H_1$  por tener un valor estadístico  $< 0.05$



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

$H_0: Me_2 = Me_3$

$H_1: Me_2 \neq Me_3$

### Estadísticos de prueba<sup>a</sup>

	PorcentajeIntentoDos - PorcentajeIntentoTres
Z	-2,414 <sup>b</sup>
Sig. asintótica(bilateral)	,016

- a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon  
b. Se basa en rangos positivos.

Se acepta  $H_1$  por tener un valor estadístico  $< 0.05$

El valor estadístico es menor al 5% por lo tanto si existe diferencias significativas entre estos grupos siendo mayor los aciertos en el intento 3. Por lo tanto, el intento 3 supera en aciertos a los intentos anteriores.

## Pruebas t student

La prueba t student, reconocido instrumento estadístico permite establecer de dos grupos observaciones pareadas (medidas de antes y después) con muestras, no mayor a veinticinco, además de identificar diferencias significativas, promedio relaciones, independencias, error estándar y crítico en base a la información recaudada

## Validación de la hipótesis

Datos antes de utilizar el sistema de entrenamiento VR (n1)

n	Gestos de control	Porcentaje de aciertos (X)
1	Descanso	75%
2	Puño	70%
3	Tres dedos	60%
4	Lápiz	50%
5	L	65%
6	Palma arriba	55%
7	Palma abajo	60%



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

Datos después de utilizar el sistema de entrenamiento VR (n2)

n	Gestos de control	Porcentaje de aciertos (X)
1	Descanso	90%
2	Puño	90%
3	Tres dedos	85%
4	Lápiz	85%
5	L	85%
6	Palma arriba	90%
7	Palma abajo	90%

ENCIA





## Cálculos

$$g.l. = n_1 + n_2 - 2 = 12$$

Grados de libertad

$$\alpha = 0.05$$

Nivel de significancia ( $\alpha$ )

$$t_{vc} = \pm 2.1788$$

Valor crítico

Cálculo del valor est:

$$t = \frac{[\bar{x}_1 - \bar{x}_2]}{\sqrt{\frac{S_c^2}{n_1} + \frac{S_c^2}{n_2}}} = -7.5615$$

Tabla A.1: Valores críticos de t por nivel de significanza y grados de libertad.

Grados	p < 0,20	p < 0,10	p < 0,05	p < 0,02
1	3,078	6,314	12,706	31,821
2	1,886	2,920	4,303	6,965
3	1,638	2,353	3,182	4,541
4	1,533	2,132	2,776	3,747
5	1,476	2,015	2,571	3,365
6	1,440	1,943	2,447	3,143
7	1,415	1,895	2,365	2,998
8	1,397	1,860	2,306	2,896
9	1,383	1,833	2,262	2,821
10	1,372	1,812	2,228	2,764
11	1,363	1,796	2,201	2,718
12	1,356	1,782	2,179	2,681

Pruebas t student

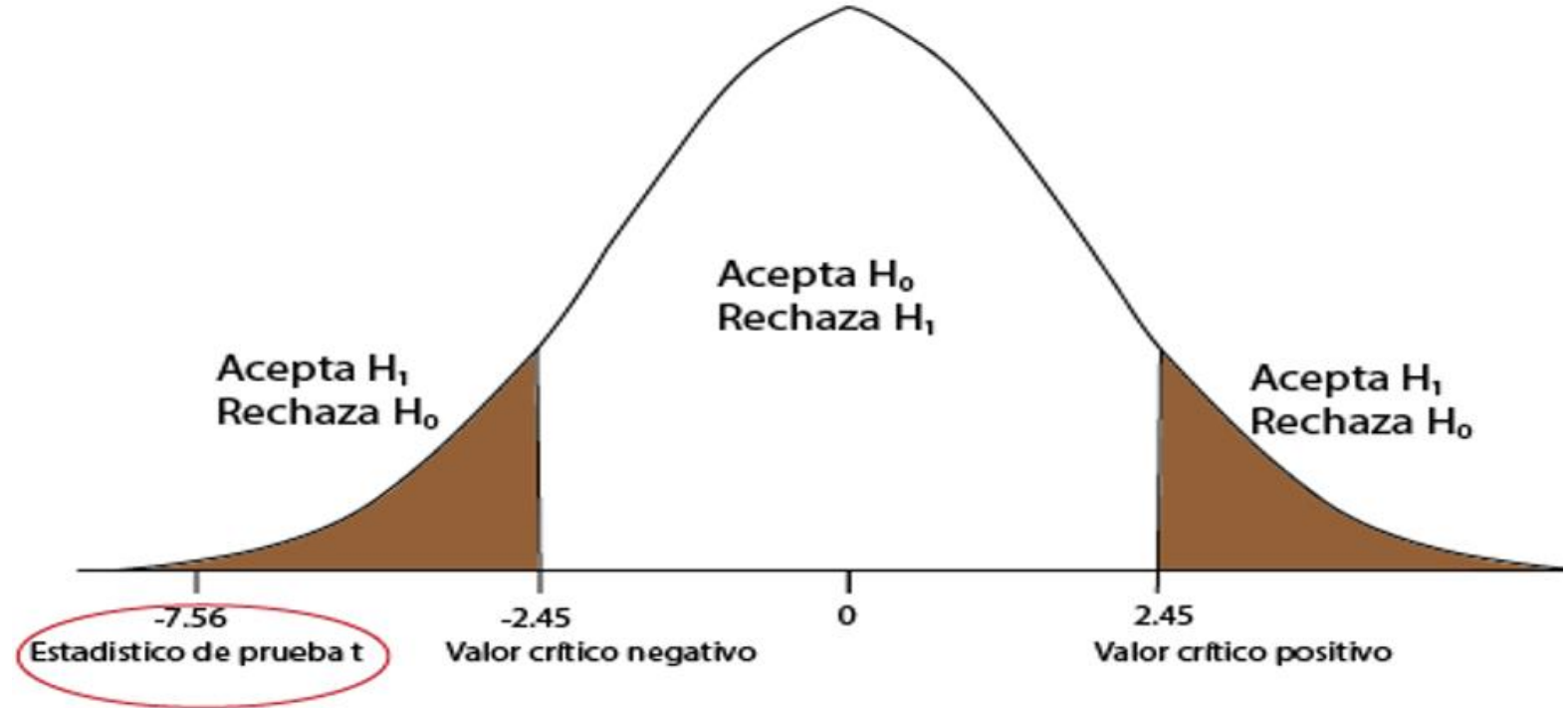
## Validación de la hipótesis



Validación de la hipótesis

Se acepta  $H_1$  si solo si :  $t > +t_{vc}$  o  $t < -t_{vc}$

Los resultados arrojados anteriormente permiten aceptar la hipótesis alternativa al tener un valor estadístico t menor que el factor crítico de asignado en base al número de grados de libertad y el nivel de significancia.



Conclusión

Se acepta la hipótesis alternativa  $H_1$

## Conclusiones



- Se diseñó e implementó una prótesis biónica de mano, muñeca y antebrazo, con capacidad de manipulación y rotación, controlada por inteligencia artificial a través de señales mioeléctricas, se utilizó un sistema de entrenamiento en un entorno virtual para facilitar su adaptación.
- Se logró entrenar al paciente sobre los gestos antes de colocar la prótesis, mediante un entorno virtual, al aplicar esta técnica y realizar ensayos con el miembro artificial sobre el cuerpo del usuario, se consiguió que el error se reduzca en un 15% por cada conjunto de pruebas, obteniendo un porcentaje de aciertos positivos del 85%.
- Mediante la unión de la falange distal y media como un solo cuerpo, y con la conservación de la inclinación de 20° de la falange distal, se consiguió que el movimiento cinemático de los dedos de la mano con excepción del pulgar, sean semejantes a una real.

## Conclusiones



- Se consiguió en base a las características extraídas de las señales mioeléctricas 7 gestos más significativos para las diferentes acciones de control de la prótesis, además de la formación de la base de datos, permitiendo generar una red neuronal compuesta por 24 datos de entrada que son 3 características por sensor, una capa oculta, dentro de esta se encuentran 10 neuronas, lo cual permiten una predicción del 99.96 % de los gestos establecidos.
- Se diseñó 6 escenarios dentro del software “Unity”, ambientado cada escena en actividades cotidianas, como: el tomar y desplazar una botella, abrir una puerta, tomar el control remoto de una televisión, teclear sobre un computador, tomar y desplazar una fruta, con el objetivo de instruir, ambientar y entrenar al usuario sobre los 7 gestos, los mismo deben ser realizados correctamente para que se ejecute la simulación y se proceda con el siguiente escenario, a través de esta técnica se consiguió que el usuario mantenga una recurrencia en la formación de los gestos y se memoricen los mismos.

## Recomendaciones



- Para mantener la vida útil de la batería de la prótesis y del brazalete MyoArm no se debe exceder el tiempo de carga establecidos en las características técnicas de cada componente del sistema.
- Se debe conectar el pin rest del módulo bluetooth, para que, en caso de una desconexión del brazalete y la tarjeta embebida, se retome la comunicación con normalidad y no se recurra a cargar nuevamente el firewall.
- Durante la manufactura de las prótesis por impresión 3D se debe mantener en todas las piezas un relleno menor al 25%, para que el peso completo del sistema no sea superior a 2kg.
- El usuario o paciente no debe estar bajo los efectos de algún antidepresivo o medicamentos que reduzcan la actividad muscular y neuronal, perjudican la actividad muscular provocando que las señales que capta el sensor no sean ideales para el control de la prótesis.



**ESPE**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS.