



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



**Ingeniería Mecatrónica**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**“INVESTIGACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO E  
IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE PRÓTESIS DE MANO  
BIÓNICA CONTROLADA AUTOMÁTICAMENTE PARA MANIPULACIÓN  
DE OBJETOS”**

**KATHERINE JOHANA PINTO GARCÍA  
DAVID FABRIZIO LÓPEZ HIDALGO**

**TUTOR: ING. ANDRÉS GORDÓN GARCÉS**





## INTRODUCCIÓN

En el Ecuador existen un sin número de personas que tienen discapacidad física, entre los cuales se encuentran personas que sufren de amputación en algunos de sus miembros superiores, en especial amputaciones de mano.





## ANTECEDENTES

- Según los datos del CONADIS alrededor de 196.076 personas tienen discapacidades físicas, entre las cuales se encuentran personas que sufren de amputaciones de mano.

**Título:** Diseño y construcción de una prótesis biónica de mano de 7 grados de libertad utilizando materiales inteligentes y control mioeléctrico adaptada para varios patrones de sujeción.

**Autores:** Monar Martin, Murillo Luis.

**Fecha de Publicación:** Octubre 2015.

- Actualmente en el país existen entidades que en su mayoría se dedican a la fabricación de prótesis de miembros inferiores, pero descuidan las necesidades de las personas con amputación de mano.



## ANTECEDENTES

Ecuaprótesis 3D, la única empresa dedicada a la fabricación de prótesis de mano en el país.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una discapacidad por amputación de mano imposibilita a una persona a realizar adecuadamente sus actividades diarias.



Creación de una prótesis de bajo costo, estética, antropométrica y funcional.



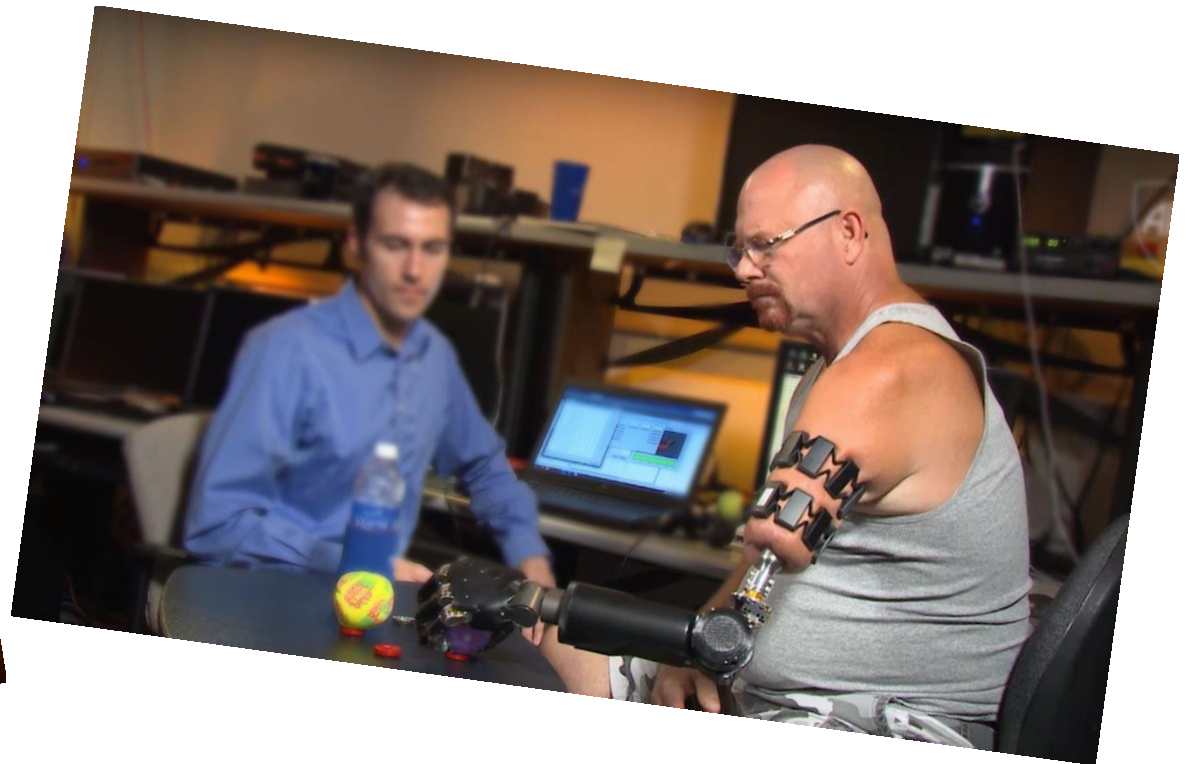
Las prótesis que existen en el país no cuentan con las características de una mano real.

El inconveniente está en adquirir una prótesis de mano de alta tecnología es su costo elevado.



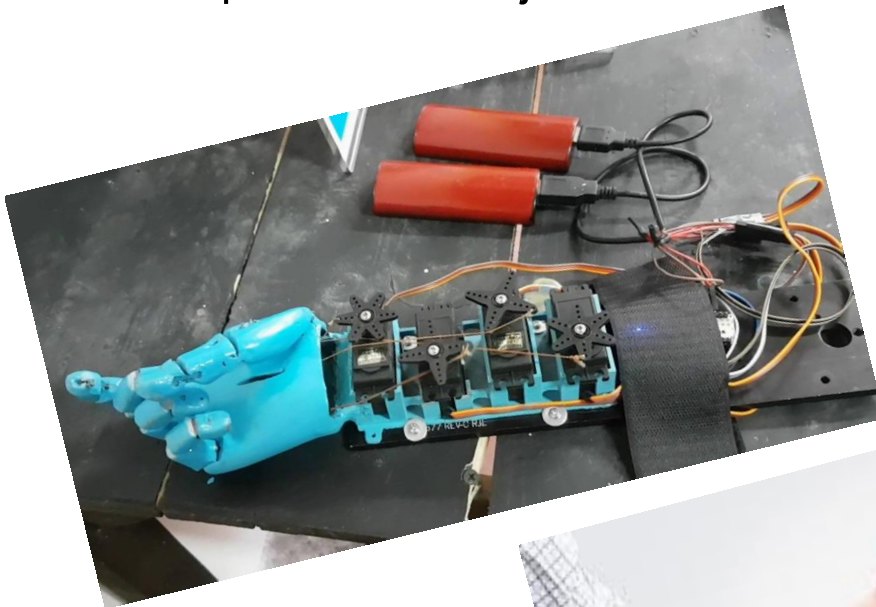
## PROPUESTA

Diseñar y fabricar una prótesis automática, controlada mediante señales mioeléctricas emitidas por el músculo del brazo en el que se encuentra la amputación; para la manipulación de objetos por medio de distintos agarres.



## OBJETIVOS GENERAL

- Investigar la metodología para el diseño e implementación de un prototipo de prótesis de mano biónica controlada automáticamente, para manipulación de objetos.





## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las mejores propuestas de diseño para la implementación de un prototipo de mano biónica para personas con discapacidad motriz por amputación de una mano.
- Establecer la metodología más apta para el diseño e implementación de un prototipo de prótesis de mano biónica controlada automáticamente, para manipulación de objetos.
- Establecer parámetros de diseño para la implementación del prototipo de prótesis.
- Diseñar una estructura mecánica para la implementación de un prototipo de prótesis de mano biónica.







## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de control para la movilidad del prototipo de prótesis de mano biónica.
- Construir un prototipo de prótesis de mano biónica e implementar el sistema de control.
- Realizar pruebas de funcionamiento y movilidad del prototipo de prótesis de mano biónica.



## HIPÓTESIS

¿Es posible determinar una metodología que permita establecer un diseño e implementación de un prototipo de prótesis de mano biónica controlada automáticamente para manipulación de objetos?





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



## Ingeniería Mecatrónica

# MARCO TEÓRICO





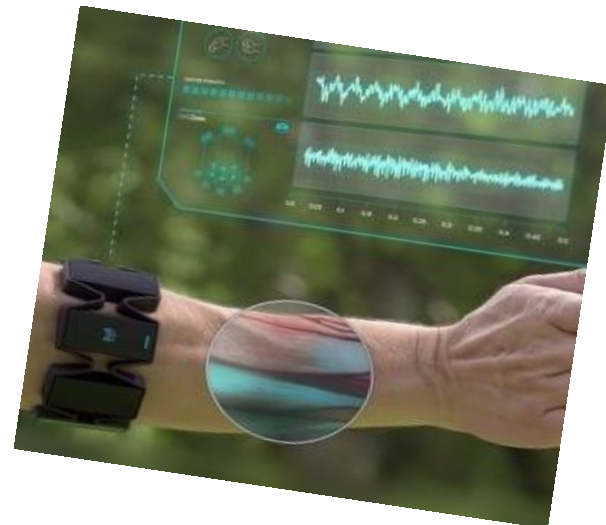
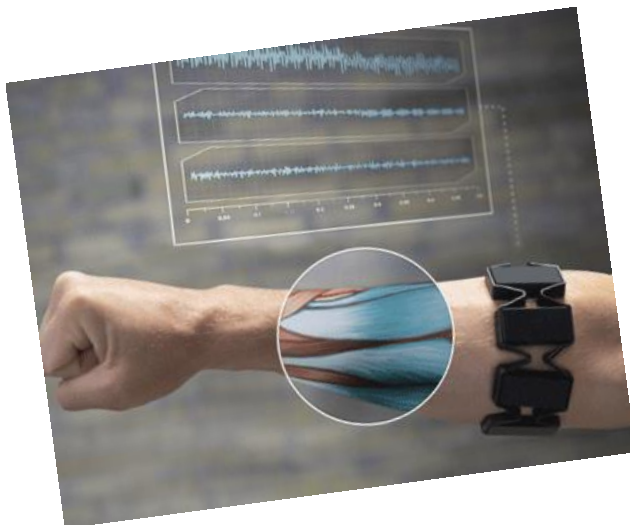
## ESTADO DEL ARTE

- La sustitución por pérdida de alguna extremidad, por dispositivos artificiales, se ha dado hace más de dos mil años.
- Después de la revolución industrial, el índice de accidentes con pérdida de alguna extremidad, se fue incrementado notoriamente.
- En el siglo XXI, es posible encontrar prótesis robóticas altamente similares en apariencia y con prestaciones cada vez más cercanas a las de una extremidad real.



## AVANCES TECNOLÓGICOS EN PRÓTESIS

- En los últimos años el desarrollo tecnológico en el ámbito de las prótesis tanto de miembros superiores como inferiores ha crecido enormemente.
- En lo que se refiera a la evolución en prótesis de mano se empezó usando la tecnología mioeléctrica



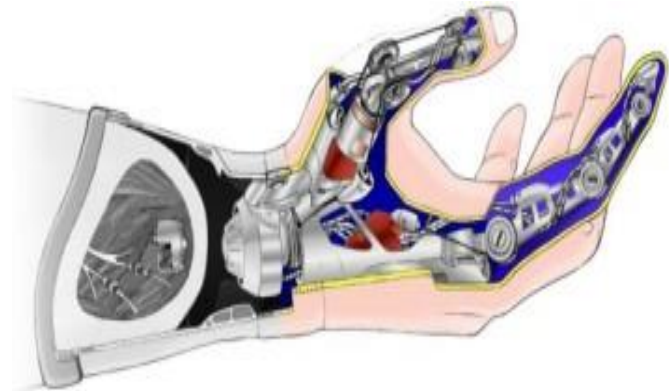


# AVANCES TECNOLÓGICOS EN PRÓTESIS

- Otto Bock



- Prótesis Cyberhand



# AVANCES TECNOLÓGICOS EN PRÓTESIS

- Prótesis iLimb Ultra
- Prótesis Michelangelo



# AVANCES TECNOLÓGICOS EN PRÓTESIS

- Prótesis Bebionic 3





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



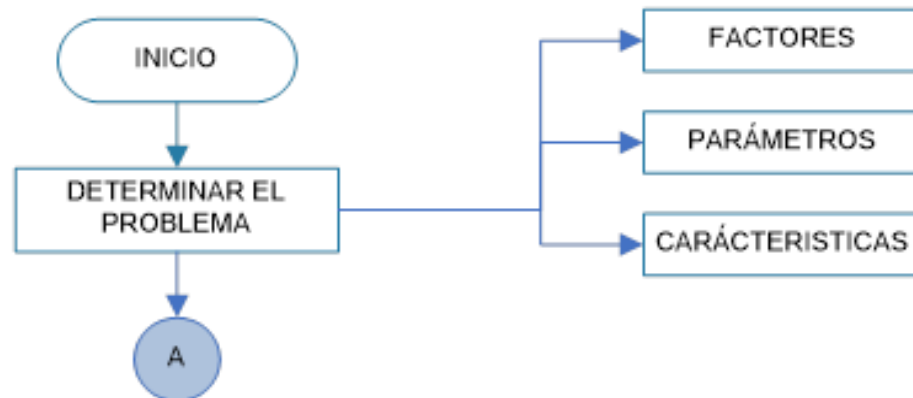
**Ingeniería Mecatrónica**

# DISEÑO CONCEPTUAL

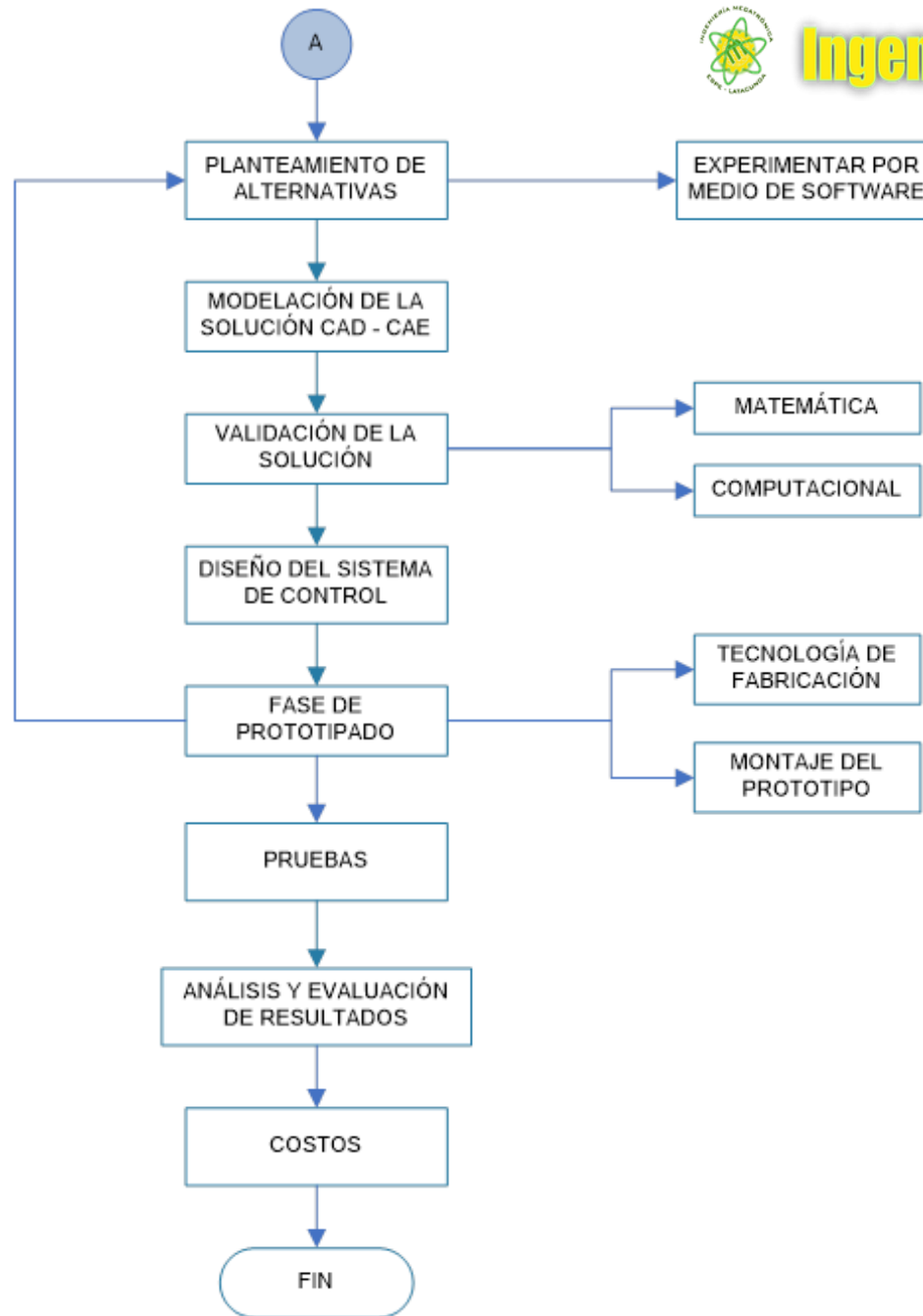


## METODOLOGÍA DE DISEÑO DEL PRODUCTO

Se estableció la metodología más acorde para el diseño de una prótesis de mano biónica, la cual está basada en las metodologías de diseño de Morris Asimov, Nigel Cross y Bruce Archer, en cuanto a la fase de diseño.









# RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Encuestas realizadas a que personas que sufren de amputación de mano, para determinar sus requisitos y necesidades. Teniendo una población de diez personas.

## Tabulación y análisis de encuesta

¿HACE QUE TIEMPO SUFRIÓ LA AMPUTACIÓN?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
1 A 5 AÑOS	1	10%
6 A 10 AÑOS	5	50%
OTROS	4	40%

El 10% de personas encuestadas sufrieron una amputación hace cinco años, mientras que el 50% hace diez años, y el 40% superan los diez años con su amputación.

¿CUALES FUERON LAS CAUSAS POR LAS QUE SUFRIÓ LA AMPUTACIÓN?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
ACCIDENTE DE TRABAJO	7	70%
ACCIDENTE DE TRÁNSITO	2	20%
DESDE EL NACIMIENTO	1	10%





# RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

El 70% de personas encuestadas sufrieron una amputación debido a accidentes de trabajo, mientras que el 20% a causa de un accidente de tránsito y el 10% por mal formaciones de nacimiento.

¿HA ESCUCHADO SOBRE LAS PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	10	100%
NO	0	0%

El 100% de las personas encuestadas conocen acerca de las prótesis de mano robótica.

¿LE GUSTARÍA USAR UNA PRÓTESIS DE MANO ROBÓTICA PARA REALIZAR CIERTAS ACTIVIDADES?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	10	100%
NO	0	0%

El 100% de las personas encuestadas les gustaría realizar cierta actividad con la ayuda de una prótesis de mano robótica.



## RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

¿CUAL DE LOS SIGUIENTES DISEÑOS DESEARÍA QUE TUVIERA LA PRÓTESIS?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
OPCIÓN 1		9 90%
OPCIÓN 2		1 10%
OPCIÓN 3		0 0%

El 90% de personas encuestadas desean una prótesis parecida a la opción 1, mientras que el 10% parecida a la opción 2 y 0% para la opción 3.



## RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

¿CÓMO DESEARÍA CONTROLAR EL MOVIMIENTO DE LA PRÓTESIS?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
MEDIANTE IMPULSOS PRODUCIDOS POR LOS MÚSCULOS DEL BRAZO	9	90%
MEDIANTE ACCIONAMIENTOS DE BOTONES	1	10%
OTROS	0	0%

El 90% de personas encuestadas desean controlar la prótesis mediante impulsos producidos por los músculos del brazo donde se encuentra la amputación, mientras que el 10% mediante accionamiento de botones y el 0% otros tipos de accionamientos.

¿CUÁNTO ESTARÍA DISPUESTO A PAGAR POR UNA PRÓTESIS ROBÓTICA?	FRECUENCIA	PORCENTAJE
2000 A 2500 DÓLARES	7	90%
4000 A 7000 DÓLARES	1	10%
10000 A 15000 DÓLARES	2	0%
20000 A 60000 DÓLARES	0	0%

El 70% de personas encuestadas estarían dispuesto a pagar un valor de \$ 2000 – 2500 dólares por una prótesis, mientras que el 10% de \$ 4000 – 7000 dólares, el 20% de \$ 10000 - 15000 dólares y el 0% de \$ 20000 – 60000 dólares.







## DESARROLLO DE LA FUNCIÓN DE LA CALIDAD

Es un método globalizador cuyo objetivo principal es asegurar que en la definición de un producto o servicio se han considerado las necesidades y requerimientos de los usuarios (voz del usuario), para traducirlos en requerimientos técnicos de ingeniería (voz del ingeniero) en las fases de diseño y fabricación.

### **CASA DE LA CALIDAD**

Su objetivo es definir una matriz de planificación con el fin de relacionar los requerimientos del cliente contra cómo puede el diseñador o productor cumplirlas.

- Exigencias o requerimientos
- Requerimientos técnicos
- Matriz de correlación
- Evaluación de la matriz de correlación de requerimientos.





## PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

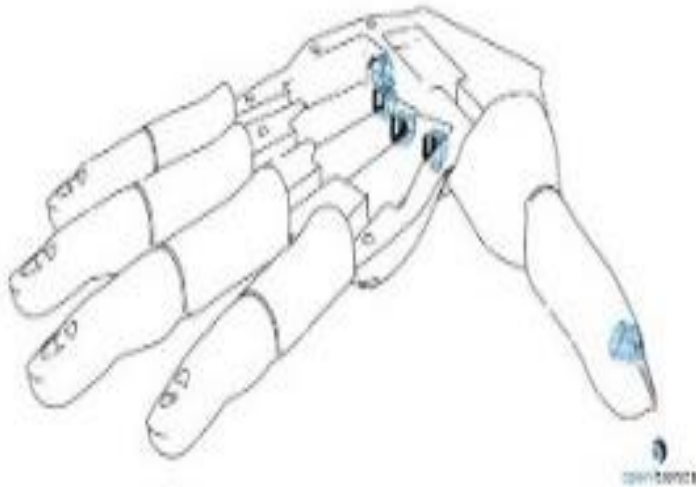
Se tienen dos alternativas:

- El diseño de la prótesis mano por Federico Ciccarese, de Italia llamada Youbionic Hand.



## PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

- Diseño de la prótesis Ada Hand, desarrollada por la empresa Opens Bionics quienes ofrecen los archivos para impresión 3D y su manual de ensamblaje libremente en su página web bajo la licencia de Creative Commons, Attribution – ShareAlike 4.0 International License. Para el diseño de los dedos se basó en la prótesis de Flexy Hand de Gyrobot, encontrada en forma libre en internet, en la página Thingiverse,





## PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

### PRIMERA OPCIÓN

- Es bastante ligera ya que su estructura es hueca.
- El diseño de la palma es más pequeño.
- La distribución de los micro servos lineales en la palma, permite al pulgar tener dos grados de movimiento, facilitando el agarre de objetos.
- Requiere de menor tiempo de impresión pues esta prótesis es una sola pieza.

### Ventajas

### SEGUNDA OPCÓN

- Es ligera, considerando que se encuentra dentro del peso de una mano humana (700 gr).
- Es desarmable, por tanto, es posible reemplazar las partes que conforman los dedos o palma, así como los componentes electrónicos.
- Sus articulaciones son de material flexible, permitiendo un mayor grado de movimiento en los dedos sin producirse rompimientos.
- Para transmitir el movimiento en los dedos utiliza un cable de tendón lo que permite dar mayor estabilidad y buen cierre a los dedos.
- Funciona con cinco micro servos lineales para generar el movimiento de cada dedo.
- Soporta un peso máximo de 1 kg.





## PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

### PRIMERA OPCIÓN

- No es desarmable, por lo tanto, si algún mecanismo o parte de la mano sufre desgaste o se rompe no es posible reemplazarla ya que la mano es una sola pieza.
- Los dedos no poseen las partes de un dedo real, es decir no tienen falange, falangina y falangeta, simplemente está conformado por dos partes.
- Sus articulaciones son en forma de anillo por lo que tienen que ser de material flexible para evitar la ruptura, pero esto genera que los dedos no tengan estabilidad y tiendan a caerse hacia atrás.
- Utiliza seis micro servos lineales lo que implica más costos en su fabricación.
- No soporta pequeñas ni grandes cargas debido a que su mecanismo de anillos es bastante débil.
- Por la naturaleza del material de construcción la textura es lisa lo que no permite sujetar un objeto, por tanto, es necesario colocar algún tipo de recubrimiento.

### Desventajas

### SEGUNDA OPCIÓN

- La palma es un poco más ancha de lo normal pues lleva dentro todos los elementos electrónicos con sus respectivas conexiones.
- La ubicación y el diseño del dedo pulgar dificulta el agarre de objetos.
- Continúa
- Por la naturaleza del material de construcción la textura es lisa lo que no permite sujetar un objeto, por tanto, se necesita de algún tipo de recubrimiento para que pueda sujetar y manipular los objetos sin que se resbalen. Requiere de mayor tiempo de impresión pues está conformada por







## MATRIZ DE EVALUACIÓN DE DISEÑO

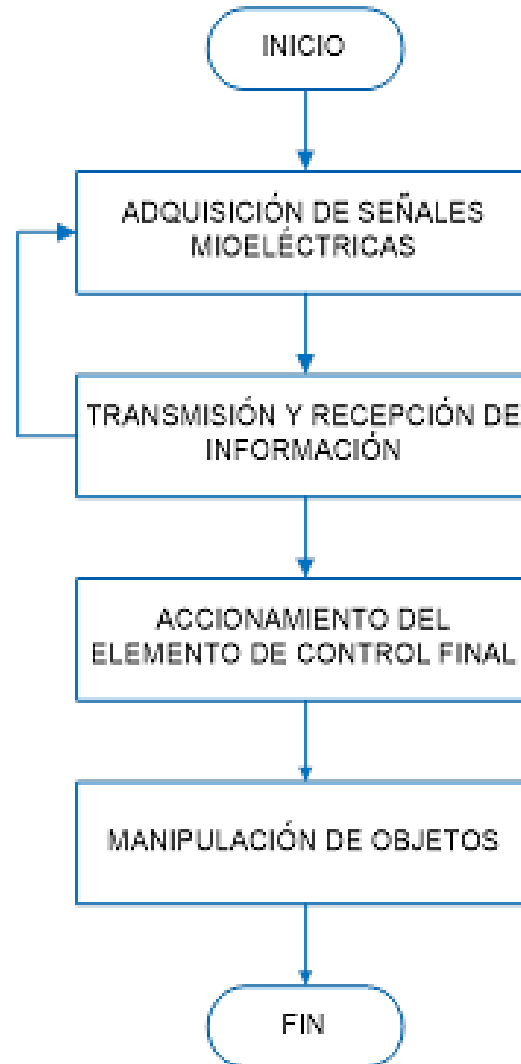
### Evaluación de los diseños propuestos

Alternativas	Criterios de evaluación								Total
Valor	Tam	Pes	Est	Fun	Res	Mnt	Fab	Cos	
	(1)	(1)	(2)	(1)	(1.5)	(1.5)	(1)	(1)	<b>10</b>
<b>Opción 1</b>	0.8	1	1.2	1	1	0.8	1	1	<b>7.8</b>
<b>Opción 2</b>	0.8	0.9	1.8	1	1.3	1.4	0.9	1	<b>9.1</b>





# PROCESO DE FUNCIONAMIENTO DE LA PRÓTESIS





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



**Ingeniería Mecatrónica**

# SELECCIÓN DE COMPONENTES



## SELECCIÓN DE COMPONENTES

### Actuadores Eléctricos

El modelo de Ada Hand los cuales usan micro servos lineales PQ12 de Actuonix, por ende, se escogió este modelo de servos en la serie R, pues tienen similitud con los servomotores rotatorios en cuanto al control por medio de señales PWM y el número de terminales facilitando la programación en la tarjeta arduino.



### Sensores Mioeléctricos

El sensor mioeléctrico es el componente principal para el control de la prótesis puesto que adquiere las señales emitidas por el brazo en el cual se encuentra la amputación, para trasmitírselo a la tarjeta controladora.





## SELECCIÓN DE COMPONENTES

### ELECTRODO SUPERFICIAL

La señal no es limpia necesita de tratamiento.  
Es afectado por la frecuencia, la sudoración de la piel, ubicación de los electrodos uno respecto al otro.  
Posee una vida útil corta ya que es necesario el cambio diario de los electrodos.  
Comunicación por cableado.  
Necesita de 2 a tres posiciones fijas para la detección.  
Tiene un control de lazo abierto.  
Es acondicionado y calibrado para una sola persona.

### MYO ARMBAND

La señal es limpia no necesita de tratamiento.  
No es afectado por ningún tipo de frecuencia (Interferencias).  
Posee una vida útil larga ya que es un sensor robusto.  
Comunicación Inalámbrica.  
Necesita una sola ubicación.  
Tiene un control de lazo cerrado.  
Puede ser calibrado para cualquier persona y no necesita de un acondicionamiento.

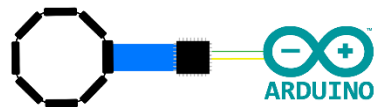
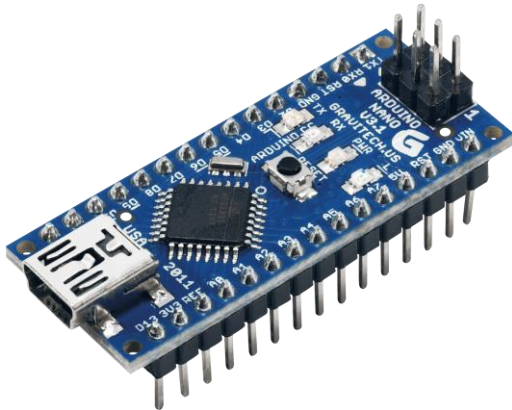


## SELECCIÓN DE COMPONENTES

### Tarjetas Controladoras

Dentro del requerimiento para seleccionar una tarjeta controladora eficiente, se necesita de 5 salidas PWM, mínimo 12 salidas digitales, tamaño compacto y cuenta con la librería de comunicación con el Myo Armband

Se encontró dos tipos aptas para la implementación de este proyecto, entre las cuales se tienen el Arduino Nano y la Pololu Baby Orangutan.



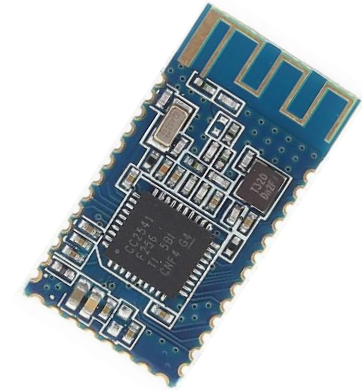
Tarjeta Controladora	Salidas PWM	Salidas digitales	Tamaño compacto	Librería de comunicación
Arduino Nano	✓	✓	✓	✓
Pololu Baby Orangutan	X	✓	✓	X



## SELECCIÓN DE COMPONENTES

### Dispositivo de comunicación inalámbrica (Bluetooth)

Para la comunicación entre el Myo Armband y la tarjeta controladora, es necesario utilizar un bluetooth de bajo consumo (HM -10).



### Sensor de Fuerza

La prótesis de mano está diseñada para ejecutar distintos agarres, entre ellos el agarre en pinza que se ejecuta con el dedo índice y pulgar. Para delimitar el cierre conforme el tipo de objeto que se sostenga se utilizara una galga FSR 400.





## SELECCIÓN DE COMPONENTES

### Fuente de Alimentación

Con las especificaciones de los micro servos lineales y la tarjeta Arduino en cuanto a voltaje y corriente se necesita alimentar con 1 batería recargables de Lipo de 2500 mhA., a 7.4 voltios.





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

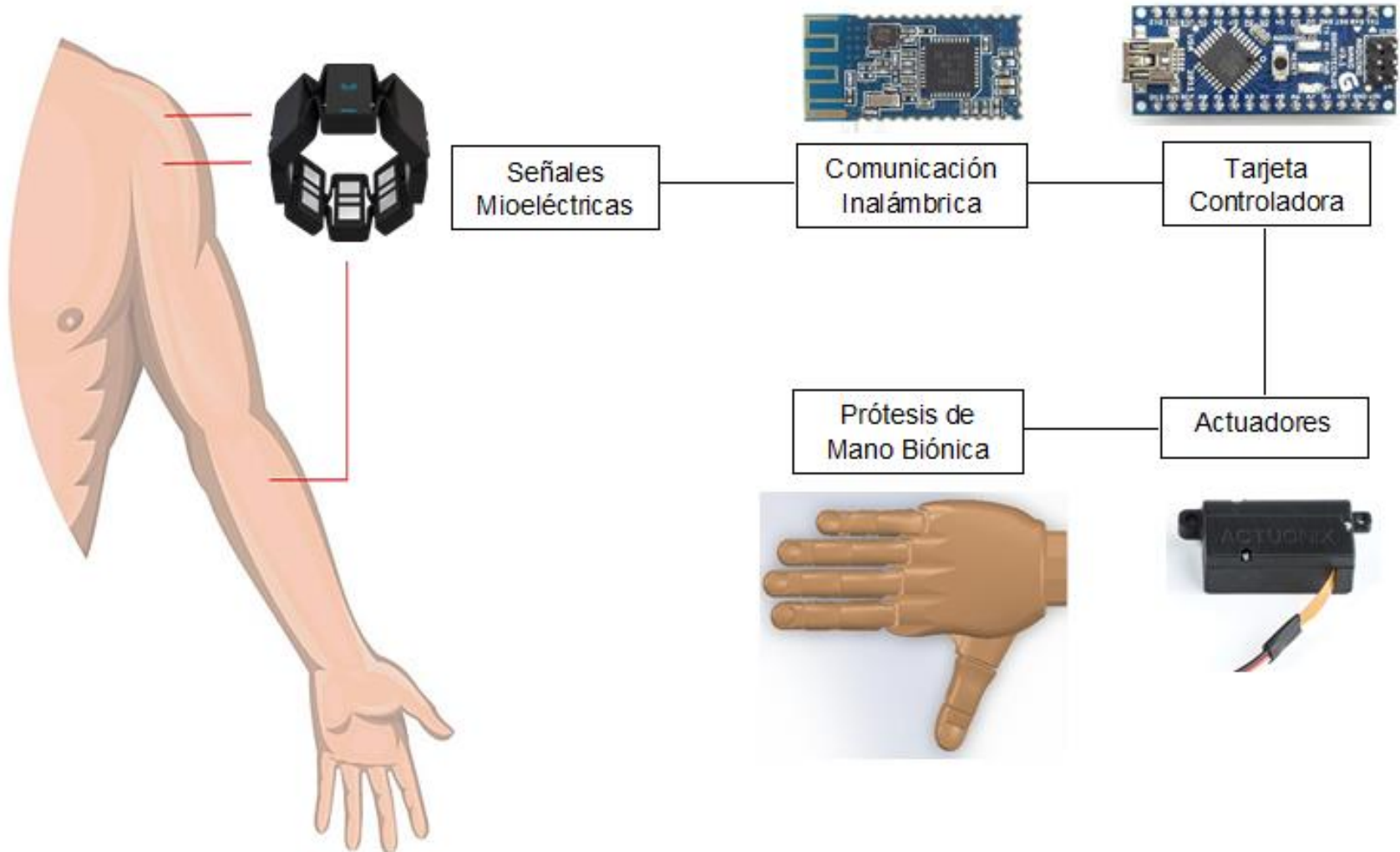


## Ingeniería Mecatrónica

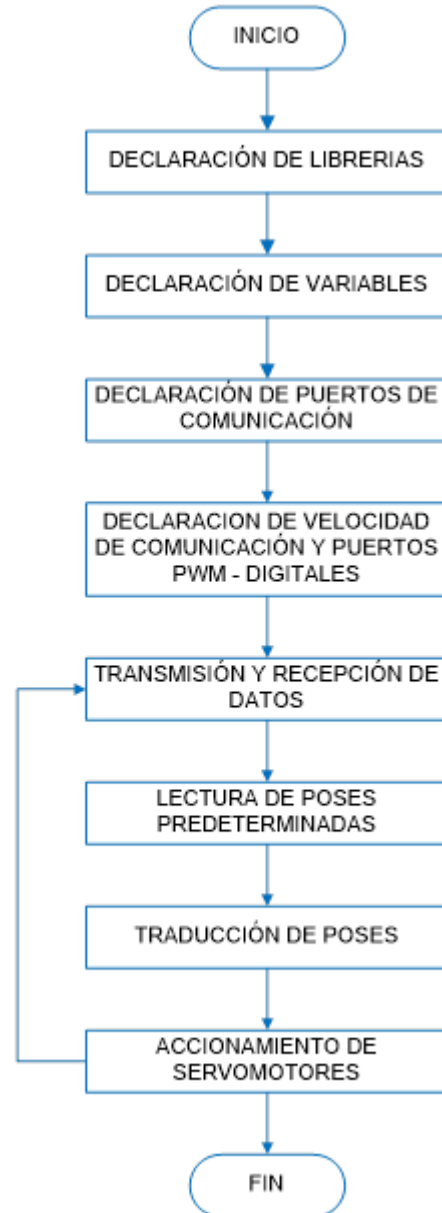
# DISEÑO DE DETALLE



## DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

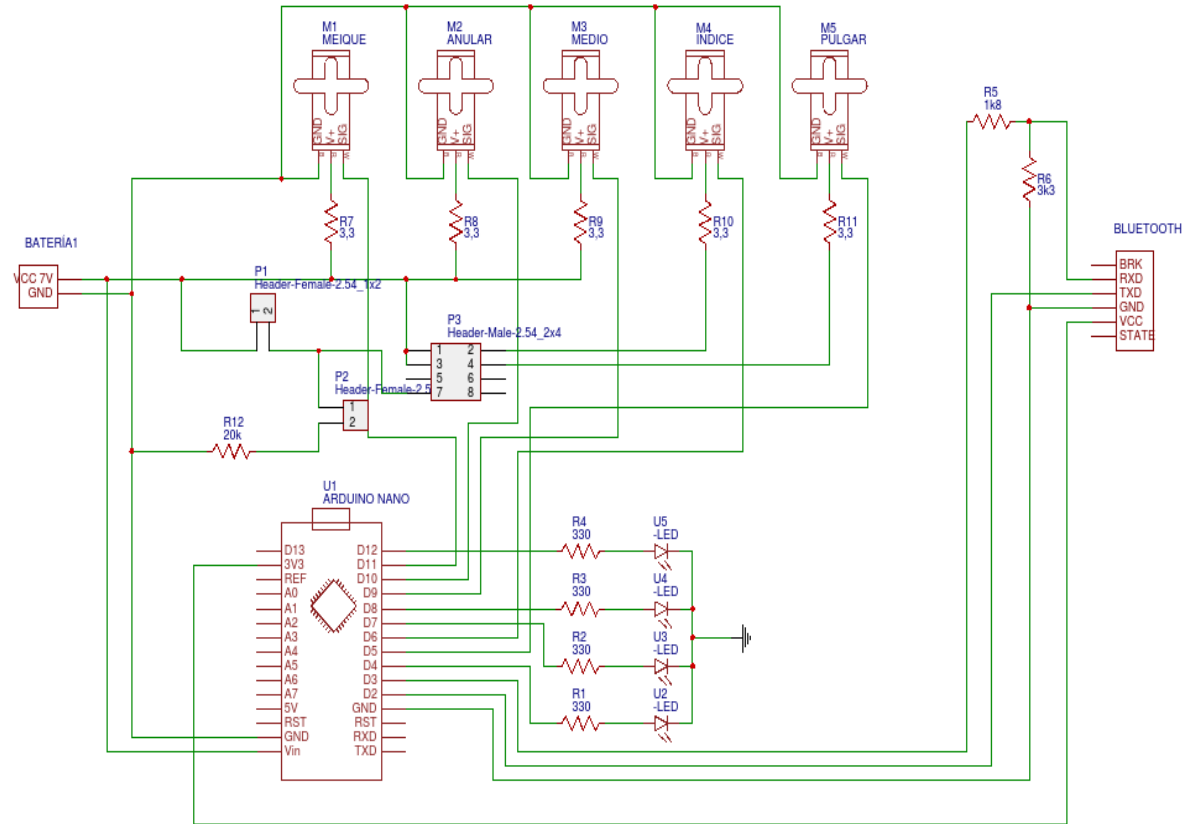


Proceso de control de la prótesis de mano biónica



## DISEÑO ELECTRÓNICO DE LA PRÓTESIS

Una vez seleccionado los componentes y diseñado el sistema de control se diseña el sistema electrónico, mediante un software de simulación de circuitos y diseño de placas PCB, considerando que la placa electrónica debe ser pequeña para que alcance perfectamente en la palma del prototipo







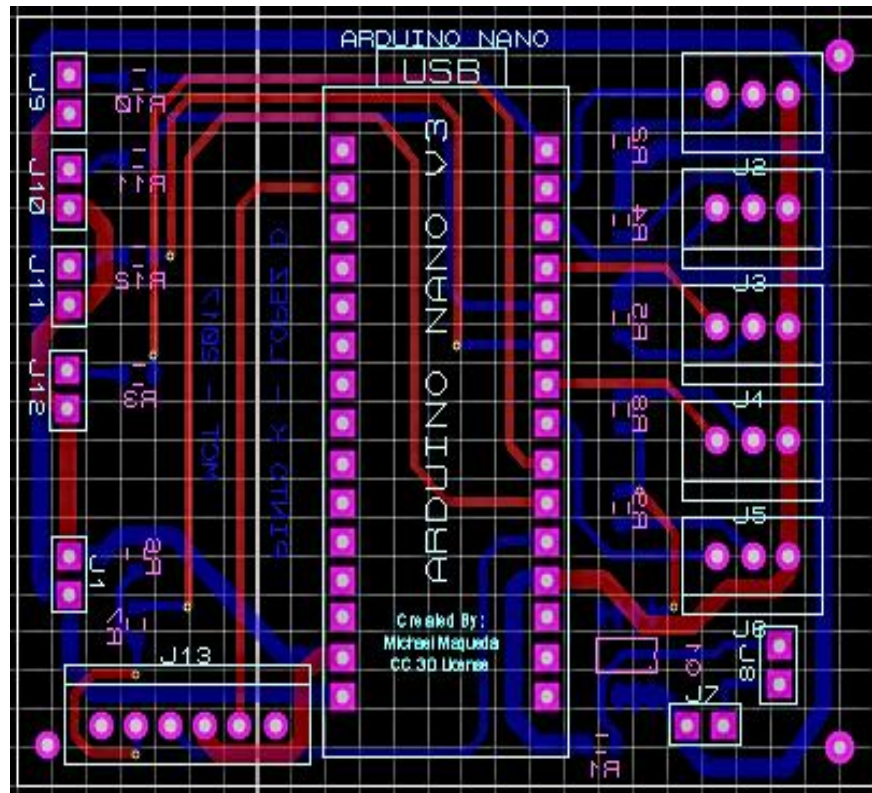
## DISEÑO ELECTRÓNICO DE LA PRÓTESIS

Pines de Arduino	Funciones	Observaciones
D2	RX (Comunicación módulo Bluetooth)	Es necesario realizar un regulador de tensión a 3,3 V.
D3	TX (Comunicación módulo Bluetooth)	
D4	Salida de indicador luminoso N°1	Agarre cilíndrico
D5	Salida de control PWM	Dedo pulgar
D6	Salida de control PWM	Dedo índice
D7	Salida de indicador luminoso N°2	Agarre en gancho
D8	Salida de indicador luminoso N°3	Agarre de pinza
D9	Salida de control PWM	Dedo medio
D10	Salida de control PWM	Dedo anular
D11	Salida de control PWM	Dedo meñique
D12	Salida de indicador luminoso N°4	Saludo



## DISEÑO ELECTRÓNICO DE LA PRÓTESIS

Placa electrónica en PCB (circuito impreso), de dimensiones: 6,2 cm de largo y 5 cm de ancho.



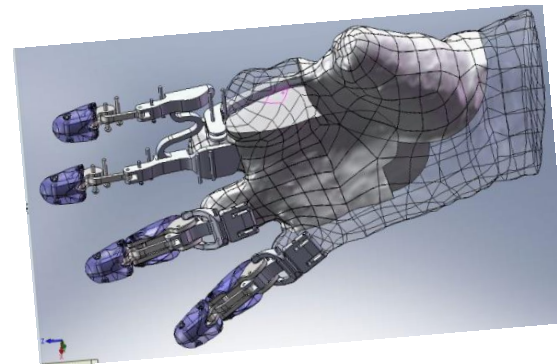


## DISEÑO MECÁNICO DE LA PROTÉSIS

Es necesario el uso de un software de diseño asistido por computador con el fin de simular y validar el mecanismo de movimiento que conforman la estructura.

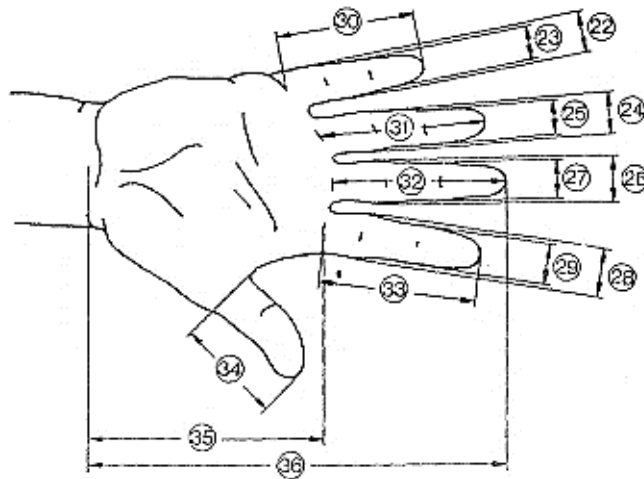
### Diseño asistido por computador (CAD)

- Fundamental para crear representaciones gráficas de objetos físicos.
- Permite al ingeniero examinar interactivamente las variantes de diseño y encontrar el diseño más óptimo;
- Simular análisis de esfuerzo – deformación, movimiento, verificando que el diseño sea seguro y minimizando el uso de recursos en su fabricación



## DISEÑO DE LOS DEDOS ÍNDICE, MEDIO, ANULAR Y MEÑIQUE

Debido a que en el país no existe un estudio de antropometría física de la mano humana, diseño del prototipo de prótesis esta basado en la norma DIN 33402 (Ergonomics – Human Body Dimensions – Part 2), y se sitúa en el percentil 50% de hombres ya que esto significa que de cada 100 hombres la mitad poseen estas medidas en cuanto a la mano.





## DISEÑO DE LOS DEDOS ÍNDICE, MEDIO, ANULAR Y MEÑIQUE

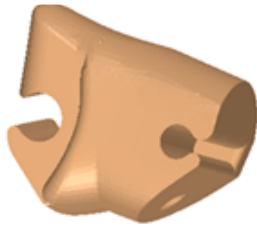
Dimensiones en cm.	PERCENTIL						
	Hombres			Mujeres			
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	
22	Ancho del meñique en la palma de la mano	1,8	1,7	1,8	1,2	1,5	1,7
23	Ancho del meñique próximo de la yema	1,4	1,5	1,7	1,1	1,3	1,5
24	Ancho del dedo anular en la palma de la mano	1,8	2	2,1	1,5	1,6	1,8
25	Ancho del dedo anular próximo a la yema	1,5	1,7	1,9	1,3	1,4	1,6
26	Ancho del dedo mayor en la palma de la mano	1,9	2,1	2,3	1,6	1,8	2
27	Ancho del dedo mayor próximo a la yema	1,7	1,8	2	1,4	1,5	1,7
28	Ancho del dedo índice en la palma de la mano	1,9	2,1	2,3	1,6	1,8	2
29	Ancho del dedo índice próximo a la yema	1,7	1,8	2	1,3	1,5	1,7
30	Largo del dedo meñique	5,6	6,2	7	5,2	5,8	6,6
31	Largo del dedo anular	7	7,7	8,6	6,5	7,3	8
32	Largo del dedo mayor	7,5	8,3	9,2	6,9	7,7	8,5
33	Largo del dedo índice	6,8	7,5	8,3	6,2	6,9	7,6
34	Largo del dedo pulgar	6	6,7	7,6	5,2	6	6,9
35	Largo de la palma de la mano	10,1	10,9	11,7	9,1	10	10,8
36	Largo total de la mano	17	18,6	20,1	15,9	17,4	19

Dimensiones en cm.	PERCENTIL						
	Hombres			Mujeres			
	5%	50%	95%	5%	50%	95%	
37	Ancho del dedo pulgar	2	2,3	2,5	1,6	1,9	2,1
38	Grosor de la mano	2,4	2,8	3,2	2,1	2,6	3,1





# DISEÑO DE LOS DEDOS ÍNDICE, MEDIO, ANULAR Y MEÑIQUE



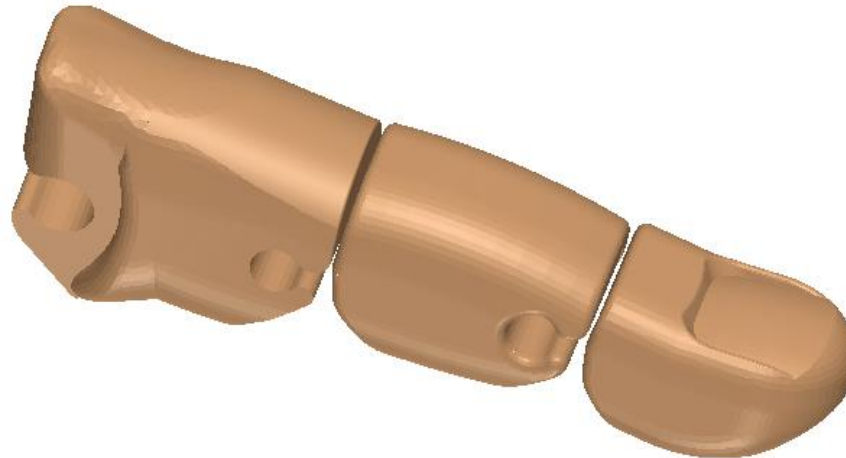
Falange Próxima



Falange Medial o Falangina



Falange Distal o Falangeta

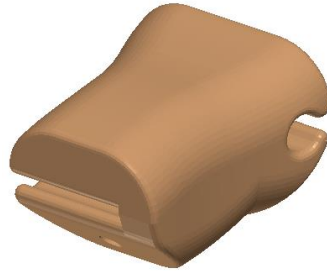


Ensamble del Dedo Índice





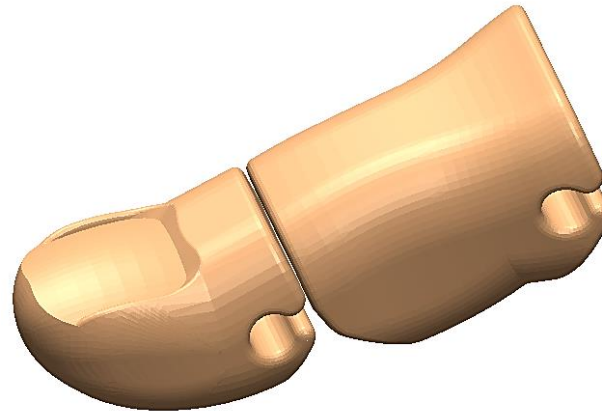
## DISEÑO DEL DEDO PULGAR



Falange Próxima



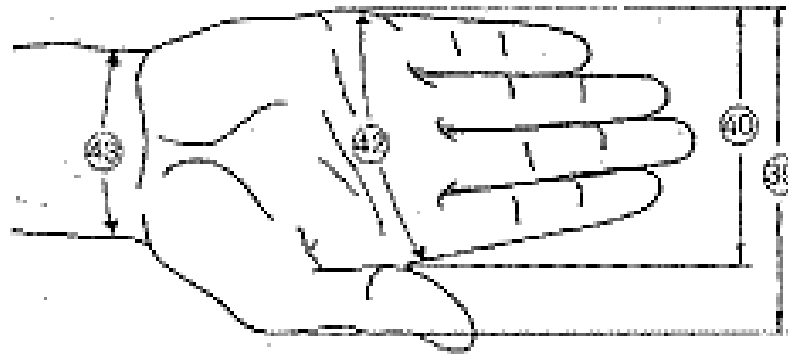
Falange Distal o  
Falangeta



Ensamble del Dedo Pulgar

## DISEÑO DE LA PALMA

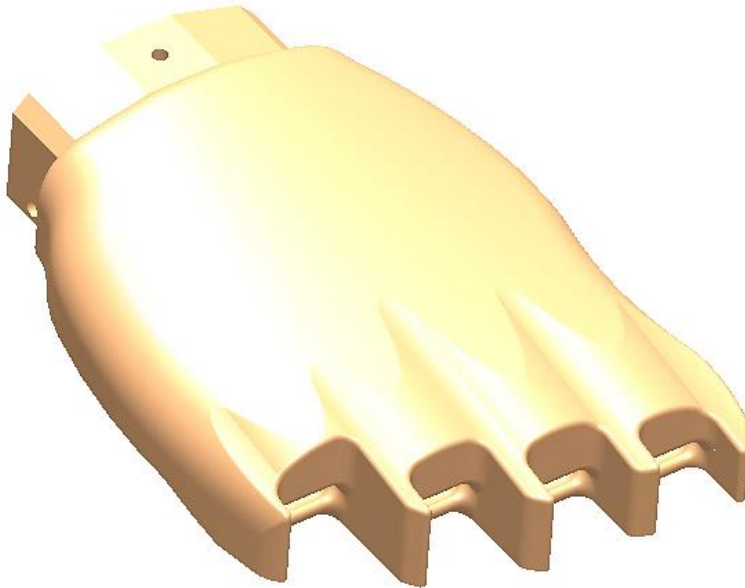
Dimensiones en cm.	PERCENTIL					
	Hombres			Mujeres		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
39 Ancho de la mano incluyendo dedo pulgar	9,8	10,7	11,6	8,2	9,2	10,1
40 Ancho de la mano excluyendo el dedo pulgar	7,8	8,5	9,3	7,2	8	8,5
41 Diámetro de agarre de la mano	11,9	13,8	15,4	10,8	13	15,7
42 Perímetro de la mano	19,5	21	22,9	17,6	19,2	20,7
43 Perímetro de la articulación de la muñeca	16,1	17,6	18,9	14,6	16	17,7



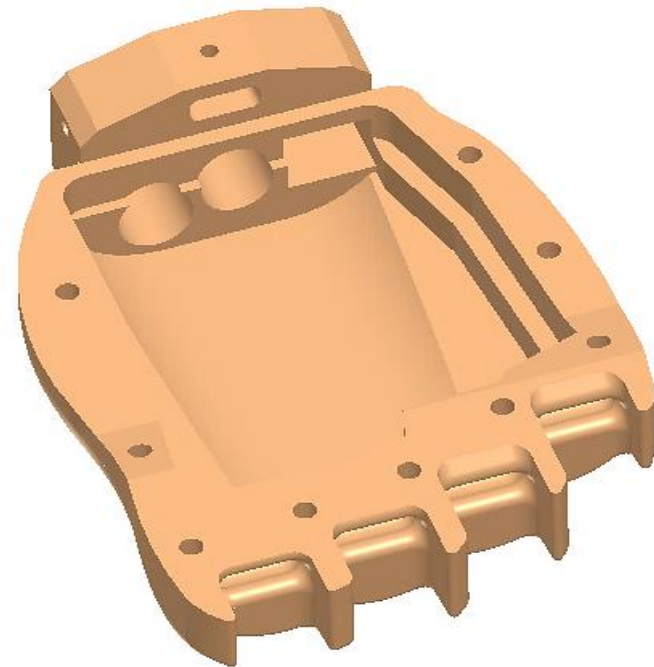


## DISEÑO DE LA PALMA

Se prefirió modelar la palma en dos partes, puesto que se desea tener una prótesis de mano armable y desarmable.



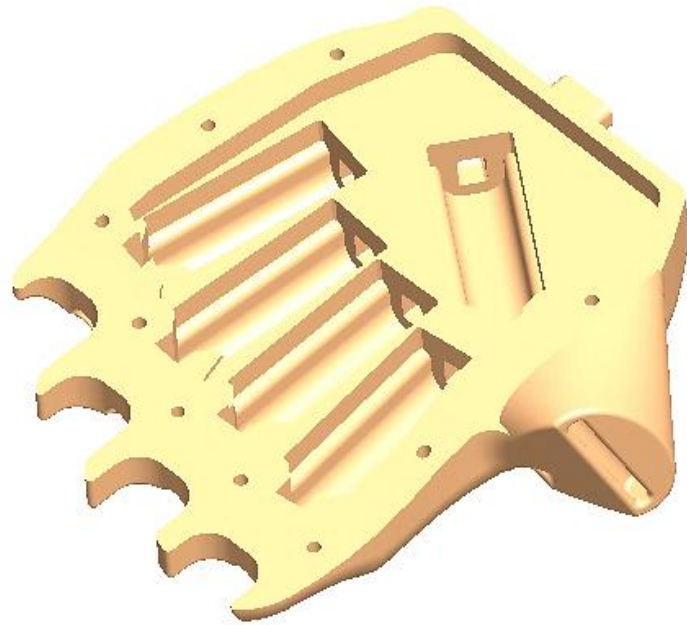
Palma Superior, vista de arriba



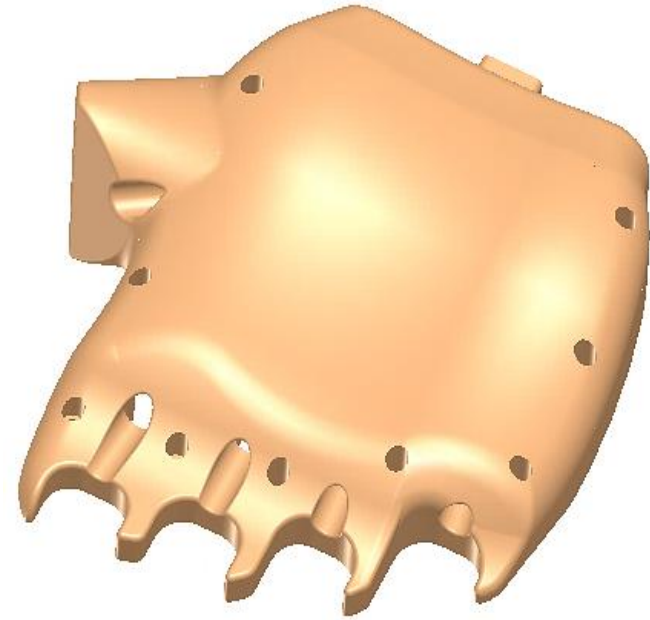
Palma Superior, vista de abajo



## DISEÑO DE LA PALMA



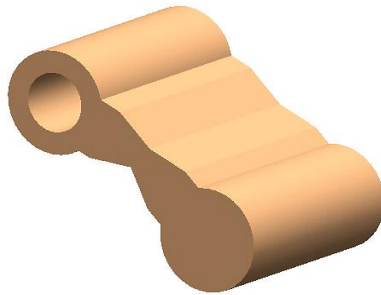
Palma Inferior, vista de arriba de arriba



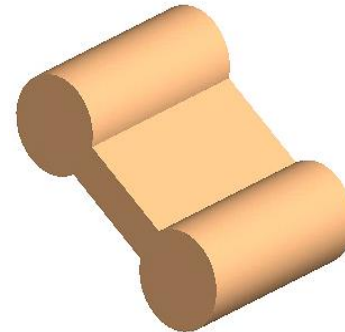
Palma Inferior, vista de abajo

## DISEÑO DE ARTICULACIONES

Las articulaciones fueron diseñadas para ser fabricadas en un elastómero termoplástico (TPE) o material flexible, ya que deben flexionarse ante el movimiento de los dedos.



Articulación entre palma  
y falange próxima

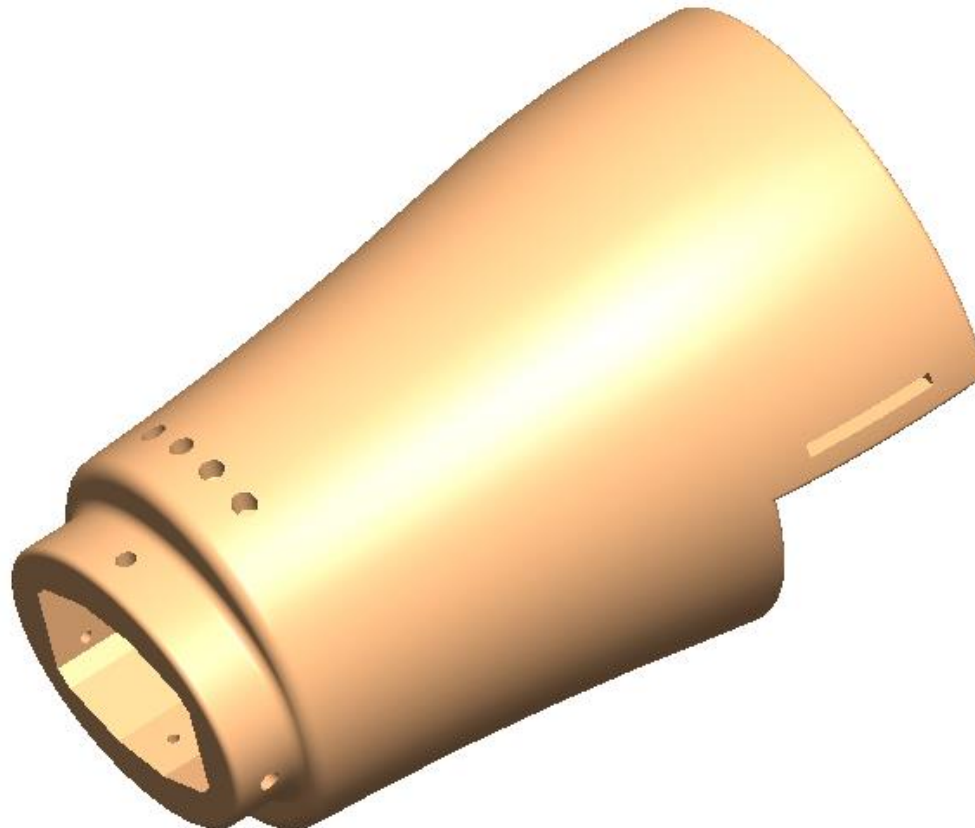


Articulación entre falanges



## DISEÑO DEL ANTEBRAZO

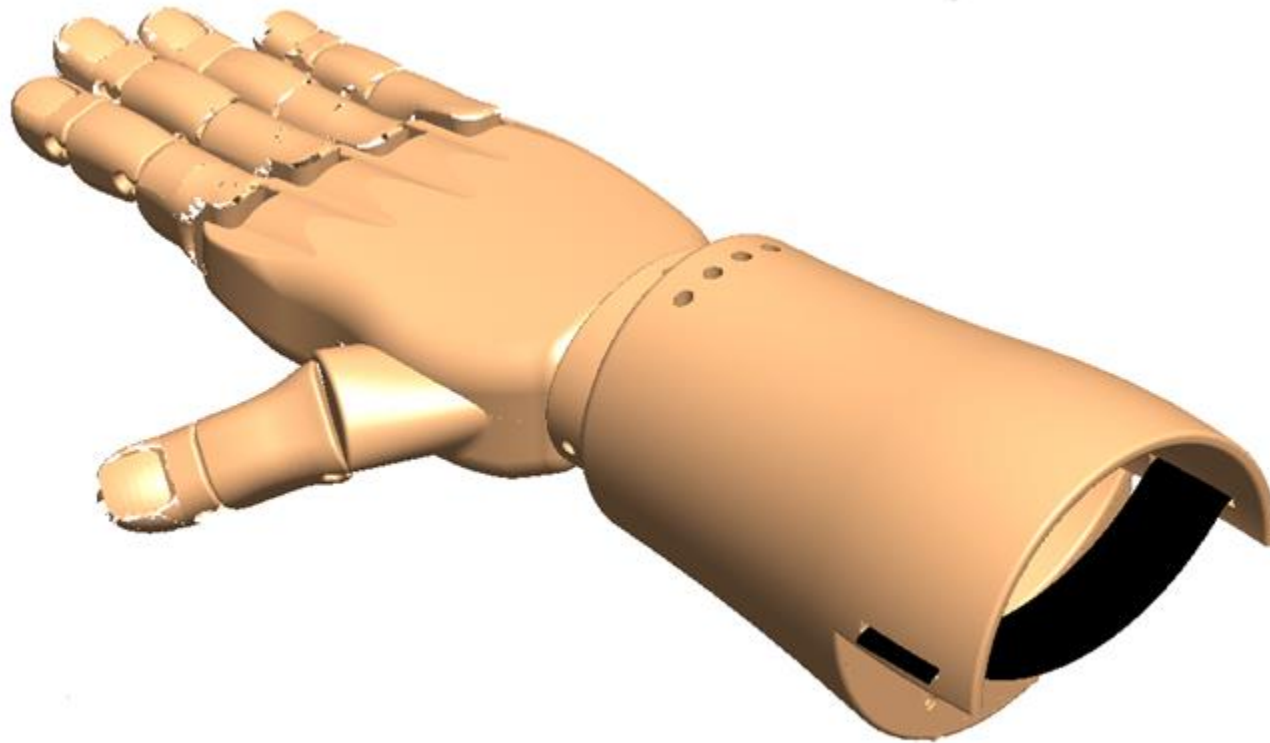
Este antebrazo fue diseñado con medidas referenciales a la de un brazo masculino.



Antebrazo



# DISEÑO FINAL DE LA PRÓTESIS







## GRADOS DE LIBERTAD CON LOS QUE CUENTA LA PRÓTESIS

Según el criterio de Grübler Kutzbach se determina con la ecuación 1

$m =$  *movilidad o grados libertad*

$n =$  *4 eslabones*

$j_1 =$  *3 uniones de 1 grados de libertad*

$j_2 =$  *0 uniones de 2 grados de libertad*

$$m = 3(n - 1) - 2j_1 - j_2 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$m = 3 \text{ grados de libertad}$$





## SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA FABRICACIÓN DE LA PRÓTESIS

### Material de construcción para impresión 3D

- **Construcción de los eslabones**

En base a la tecnología de impresión 3D, se tienen dos opciones de materiales plásticos, el PLA y el ABS.

PLA	ABS
Material constituido de elementos naturales (biodegradable)	Material sintético (no es biodegradable)
Estable y fácil de imprimir	Sensible a cambios de temperatura y difícil de imprimir
No emite gases nocivos	Emite gases nocivos
Limite elástico: 60 MPa	Limite elástico: 2,3 GPa
Se funde entre 185 y 220°C	Se funde entre 200 y 250°C
La temperatura recomendada pero no necesaria de la cama donde se deposita el material puede estar alrededor de 50°C	La temperatura necesaria de la cama donde se deposita el material debe estar alrededor de 80°C
Aplicaciones domésticas	Aplicaciones industriales
El costo es menor	Tiene mayor costo



## SELECCIÓN DE COMPONENTES PARA LA FABRICACIÓN DE LA PRÓTESIS

### Material de construcción para impresión 3D

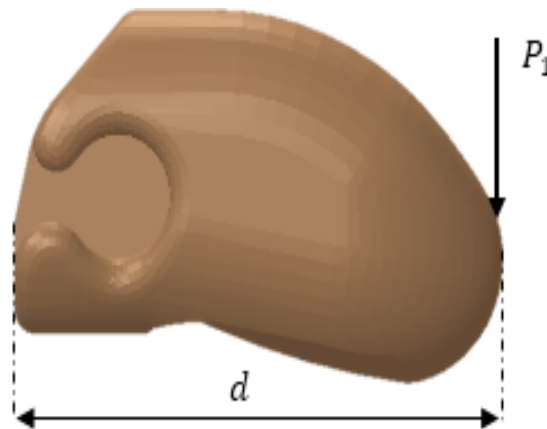
- **Construcción de articulaciones**

Al ser las articulaciones las encargadas de facilitar la generación de los movimientos en cada uno de los dedos, deben ser fabricadas de un material flexible el cual sea resistente y apto para impresión 3D.



## VALIDACIÓN MATEMÁTICA

- Análisis estático del diseño
- Fuerza total aplicada de 12,81 [N].
- Fuerza para cada dedo de 3,2 [N].



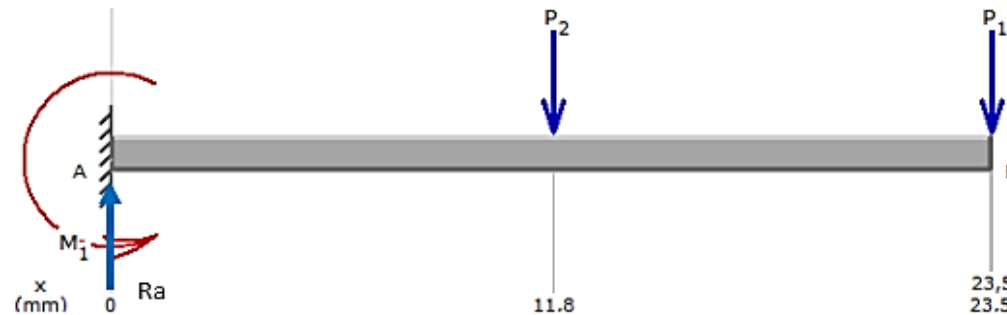
## VALIDACIÓN MATEMÁTICA

Datos:

$$d = 23,45 \text{ [mm]}$$

$$m = 3,75 \text{ [g]} = P_2 = 0,0367 \text{ [N]}$$

$$P_1 = 3,2 \text{ [N]}$$





# VALIDACIÓN MATEMÁTICA

$$\sum F_y = 0$$

$$\sum M_a = 0$$

$$R_a = 3,2367 \text{ [N]}$$

$$M_1 = 75,6303 \text{ [N}\cdot\text{mm]}$$

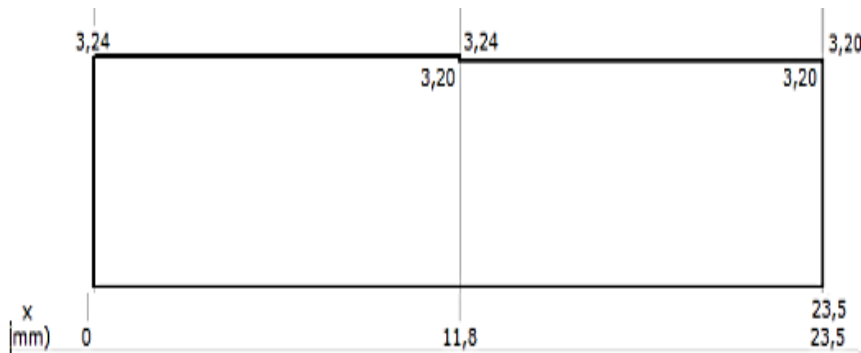


Diagrama de fuerzas cortantes

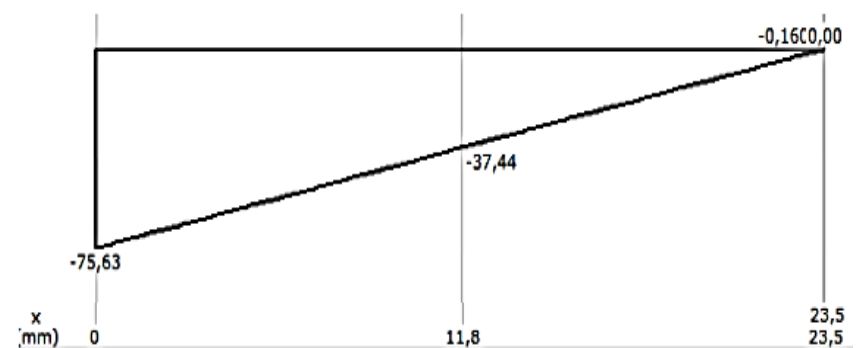


Diagrama de momentos flectores





# VALIDACIÓN MATEMÁTICA

$$\sigma_{flex} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{S}$$

$$S = \frac{I_x}{c}$$

$$I_x = \frac{\pi ab^3}{4}$$

$$a = 8 \text{ mm}$$

$$b = 6,31 \text{ mm}$$

$$I_x = 1578,584 \text{ [mm}^4\text{]}$$

$$S = 250,171 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$\sigma_{flex} = 0,302 \text{ [MPa]}$$







## VALIDACIÓN MATEMÁTICA

(Beer, Johnston, & DeWolf, 2007) la resistencia ultima del material termoplástico es igual a 55 MPa

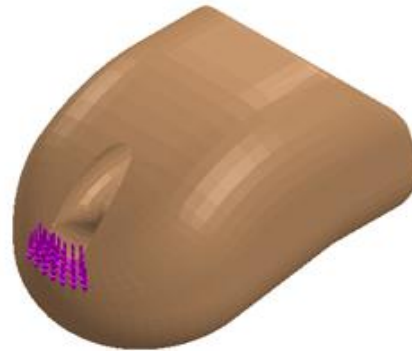
$$\sigma_{flex} < \frac{Su}{6}$$

$$0,302 [MPa] < 9,16 [MPa]$$



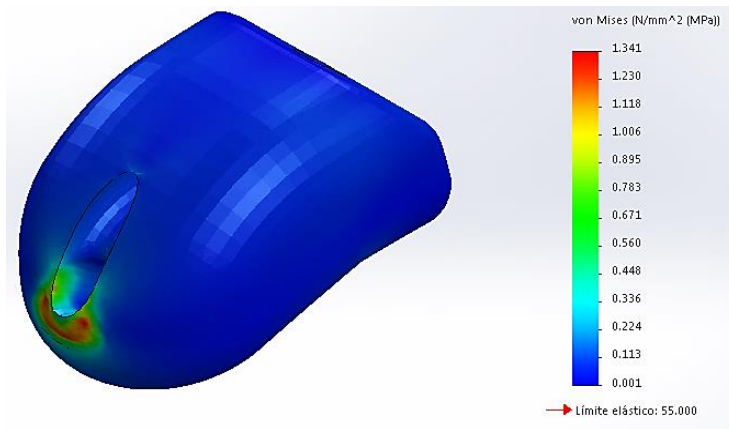
## VALIDACIÓN COMPUTACIONAL

El análisis estático mediante software permite comprobar que las piezas del diseño de la prótesis son seguras; con el análisis de tensión de Von Mises se asegura que no existirá fallo elástico o ruptura



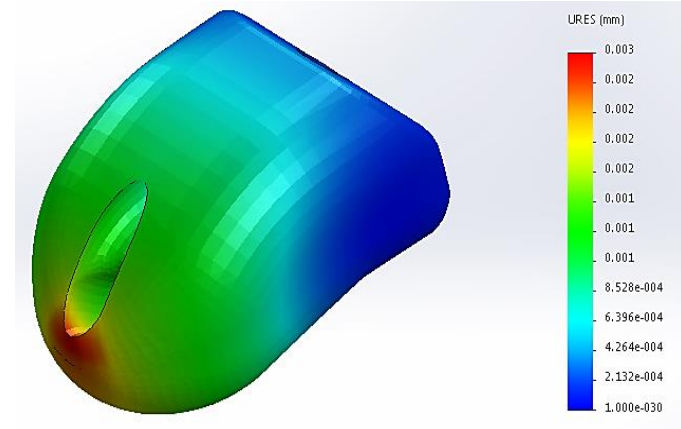
Carga estática aplicada

## VALIDACIÓN COMPUTACIONAL



Esfuerzo de Von Mises

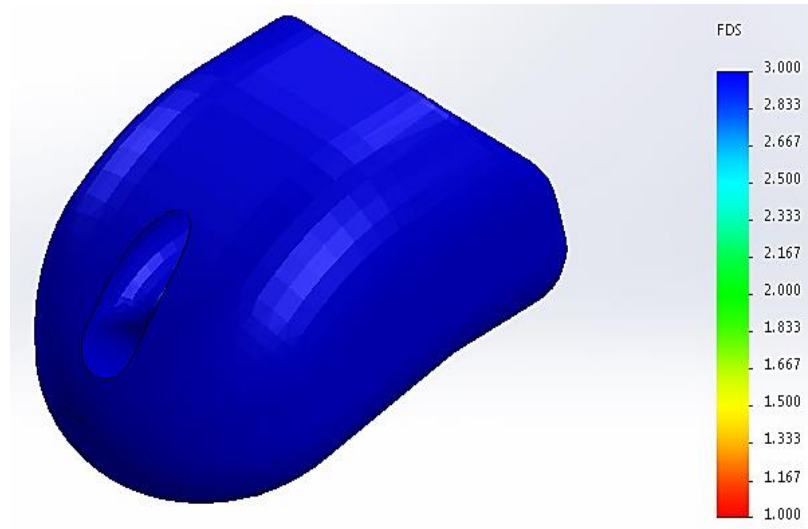
1.341 MPa



Desplazamiento total.

0.003 mm

## VALIDACIÓN COMPUTACIONAL



Factor de Seguridad

Mayor o igual 3



## ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (AMFE)

Es una metodología que se aplica para diseñar nuevos productos, servicios o procesos. Su finalidad es estudiar los posibles fallos futuros (“modos de fallo”) del producto, para clasificarlos y enlistarlos según su importancia





## AMFE

Elemento	Modo de fallo	Efecto	Causas	Método de detección				NPR	Acciones propuestas
				S	O	D			
<b>Falanges distales (todos los dedos)</b>	Desgaste en los orificios donde pasa el cable de tendón.	Ruptura, no transmite el movimiento.	Fatiga del material por rozamiento del cable de tendón.	Ninguno	7	3	2	42	<b>Mantenimiento cada 6 meses</b>
	Grietas cerca de los agujeros donde se introducen las articulaciones.	Ruptura	Fatiga del material por exceso de carga externa.	Ninguno	5	2	5	50	<b>Cambio del componente</b>
<b>Falanges mediales (índice, medio, anular y meñique)</b>	Desgaste en los orificios donde pasa el cable de tendón.	Ruptura, no transmite el movimiento.	Fatiga del material por rozamiento del cable de tendón.	Ninguno	7	1	2	14	<b>Mantenimiento cada año</b>
	Grietas cerca de los agujeros donde se introducen las articulaciones.	Ruptura	Fatiga del material por exceso de carga externa.	Ninguno	5	3	5	75	<b>Cambio del componente</b>





## CONCLUSIÓN (AMFE)

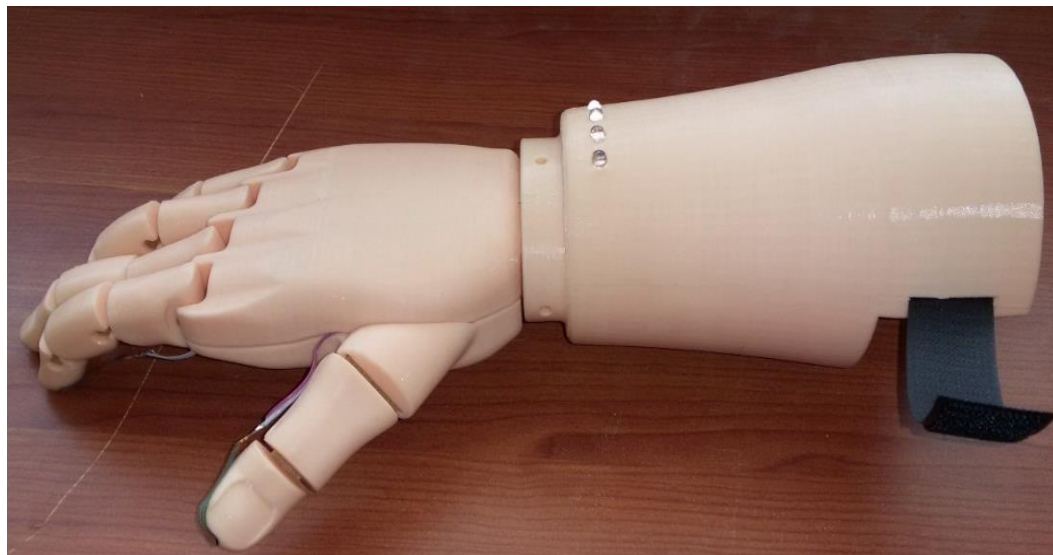
- El valor más crítico que se da en el análisis, es la falla por fatiga del cable de tendón, siendo este el elemento principal para la transmisión de movimiento del motor hacia los dedos. Para evitar la posible falla es recomendable realizar un tratamiento adecuado al cable para mejorar su propiedad de resistencia al desgaste, en este caso se recubrirá de un aislante en spray.





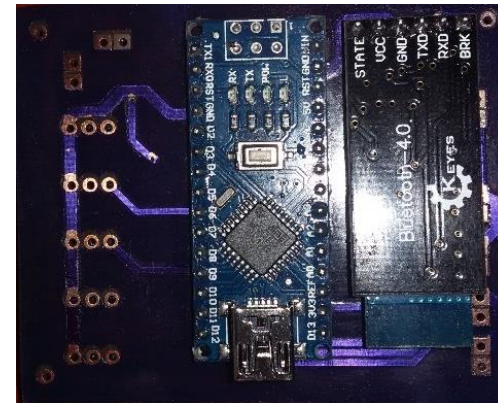
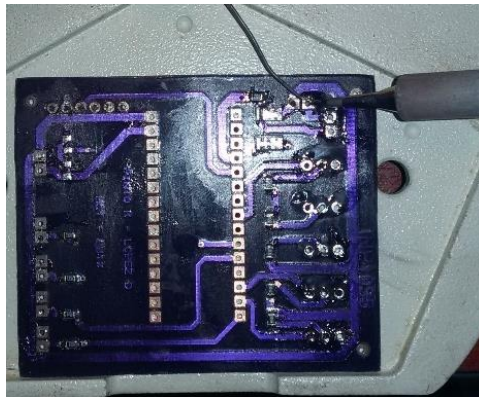
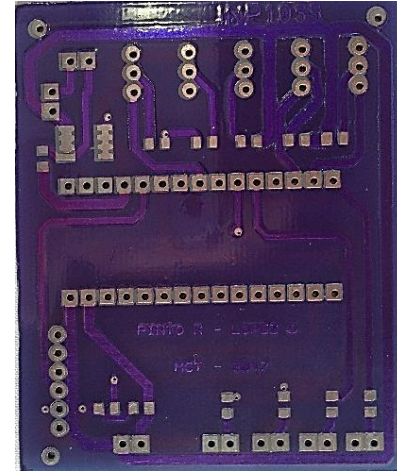
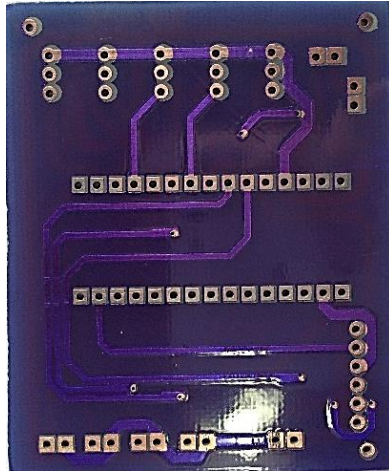
## FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE

Finalizada la etapa de diseño y la validación del prototipo, se procede con la construcción del sistema electrónico y mecánico que conforman el prototipo de prótesis de mano biónica.

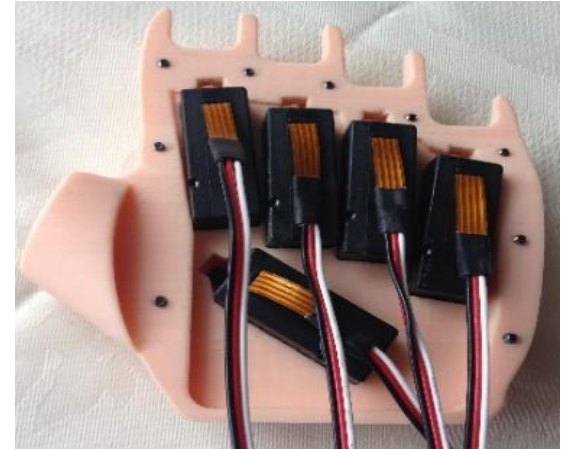
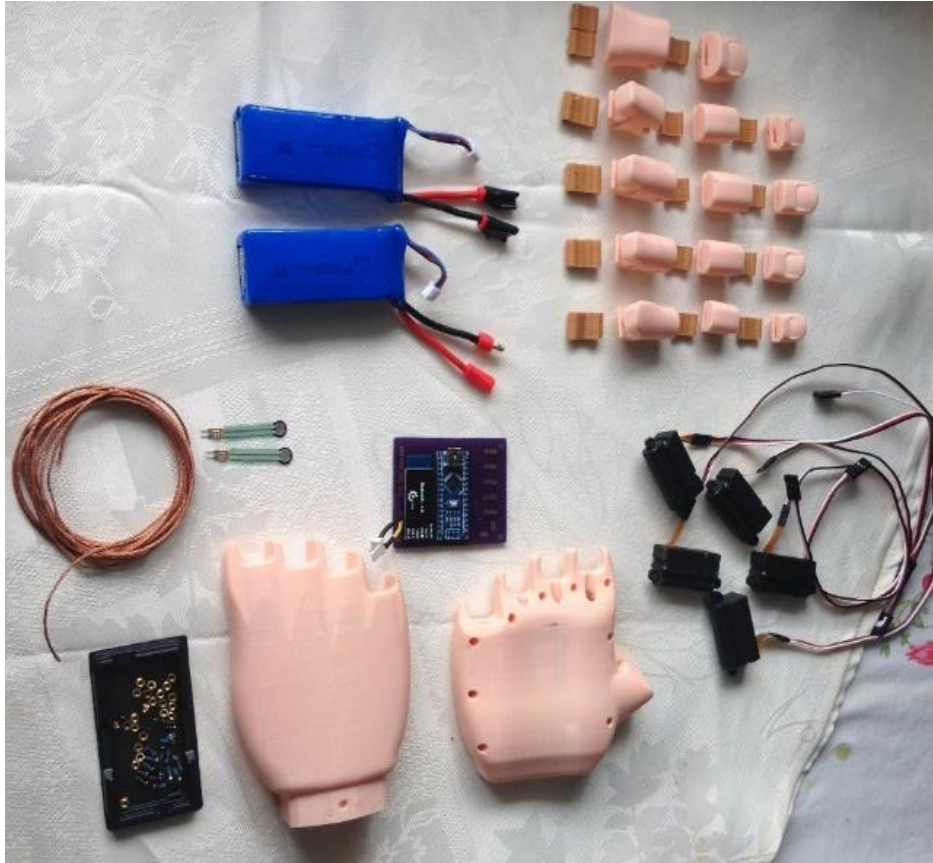




# SISTEMA ELECTRÓNICO

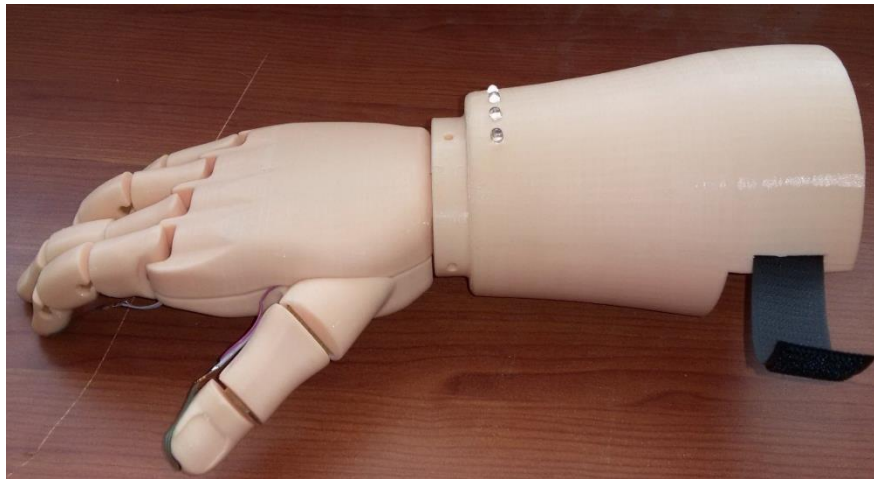
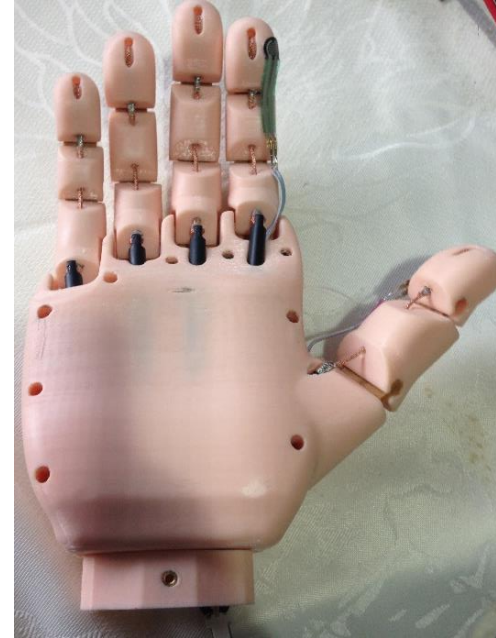


## ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO





# ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO



## DESCRIPCIÓN DE LAS PRUEBAS

POSES	FUNCIÓN
	Apertura de los dedos de la prótesis (Posición inicial).
	Ejecución de los distintos agarres, es decir el cierre de los dedos de acuerdo al tipo de agarre.
	Cambio de agarre de izquierda a derecha.
	Cambio de agarre de derecha a izquierda.

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### Agarre Cilíndrico



	Característica	Total agarres	Aciertos agarres	Error agarres
<b>Botella de Agua</b>	Forma cilíndrica, $\varnothing$ 65mm.	10	8	2
<b>Botella de Desinfectante</b>	Forma ovalada, $\varnothing a$ 79mm, $\varnothing b$ 51mm.	10	9	1
<b>Botella de Gaseosa</b>	Forma cilíndrica, $\varnothing$ 66mm.	10	7	3
<b>Botella Spray</b>	Forma cilíndrica, $\varnothing$ 34mm.	10	10	0
<b>Pelota de Plástico</b>	Forma cilíndrica, $\varnothing$ 58mm	10	10	0

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### Agarre en Gancho

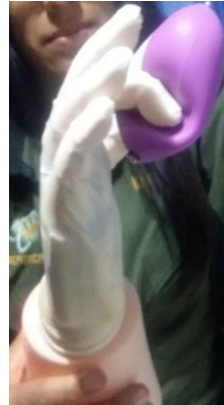


	Peso (gramos)	Observaciones
Funda de azúcar	680,4	El prototipo soporta 1 kg de peso perfectamente.
Funda de fideos y arroz	453,6	
<b>SUBTOTAL</b>	<b>1134,0</b>	El prototipo soporta 2 kg de peso perfectamente.
Funda de harina	453,6	
Funda de fréjol	453,6	
<b>TOTAL</b>	<b>2041,2</b>	



## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### Agarre en Pinza



	Característica	Total agarres	Aciertos agarres	Error agarres
<b>Envase plástico</b>	Forma cilíndrica,	10	10	0
<b>Pelota plástica</b>	Forma cilíndrica.	10	9	1
<b>Huevo</b>	Forma ovalada.	10	10	0
<b>Monedero</b>	Forma ovalada.	10	8	2
<b>Billetera</b>	Forma rectangular.	10	7	3



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Movimiento adicional





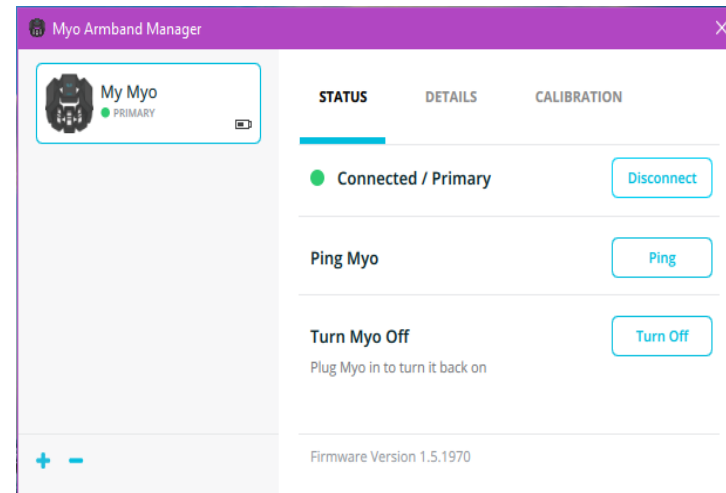
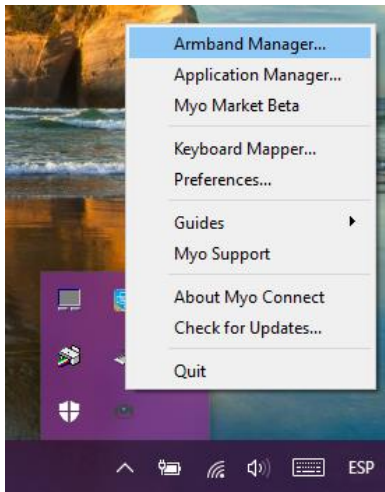
# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

## Pruebas de Confort



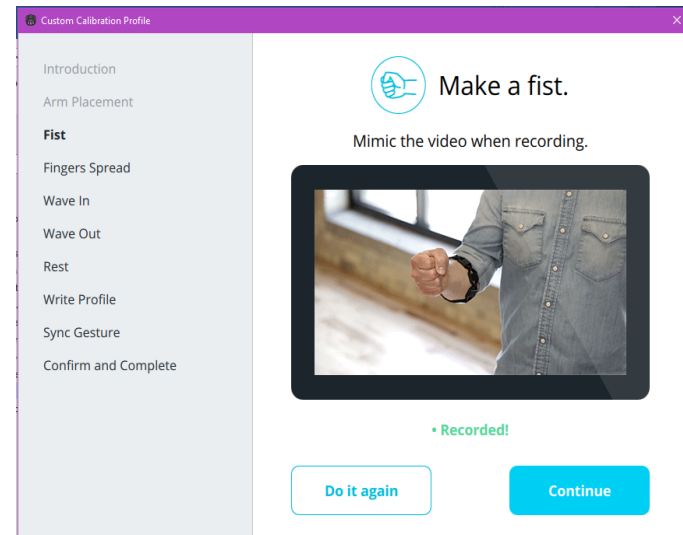
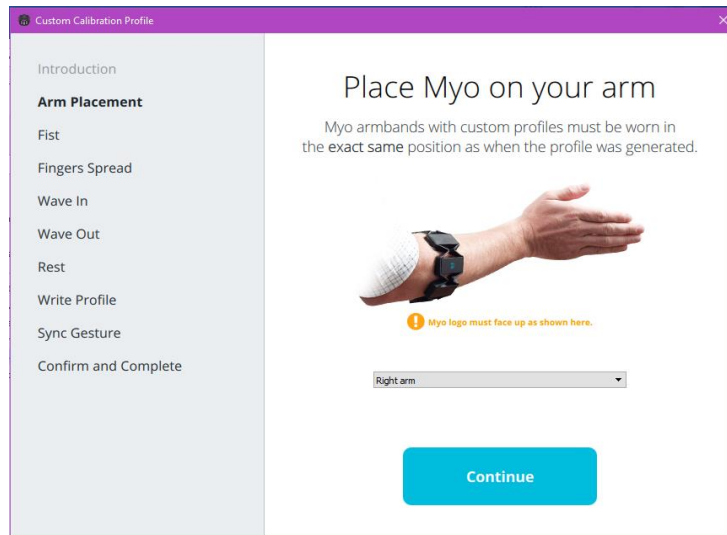
## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### Calibración



# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

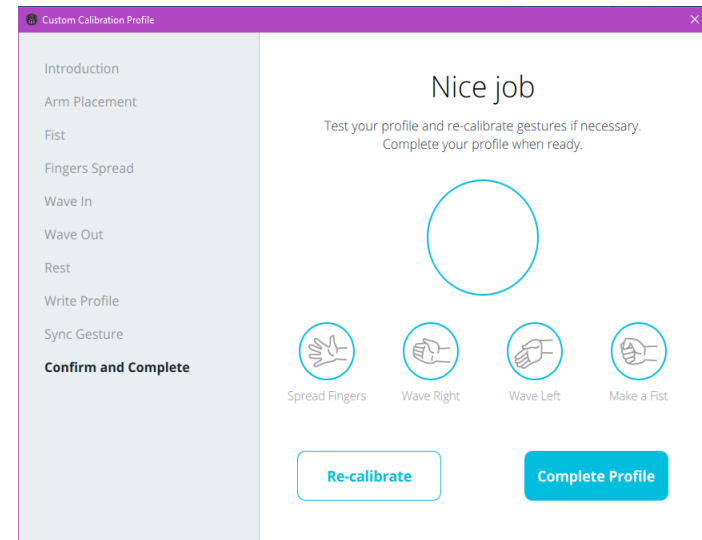
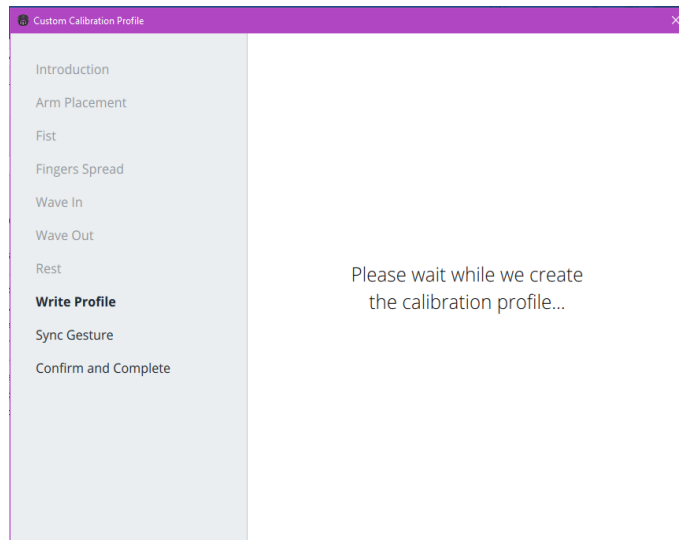
## Calibración





# PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

## Calibración





# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Prueba del Chi Cuadrado

$$\lambda^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

En donde:

$\lambda^2$  = Chi cuadrado

$O_i$  = Frecuencia absoluta observada

$E_i$  = Frecuencia esperada





Ord	Agarre	Descripción	Si Cumple	No Cumple	Número Pruebas
1		Botella de agua	8	2	10
2		Botella desinfectante	9	1	10
3	Cilíndrico	Botella de gaseosa	7	3	10
4		Botella spray	10	0	10
5		Pelota plástica	10	0	10
6		Envase plástico	10	0	10
7		Pelota plástica	9	1	10
8	En pinza	Huevo	10	0	10
9		Monedero	8	2	10
10		Billetera	7	3	10
<b>Suma total</b>			<b>88</b>	<b>12</b>	<b>100</b>







## VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Una vez obtenidos los datos de la frecuencia observada ( $O_i$ ), se procede a calcular la frecuencia esperada ( $E_{ij}$ ).

$$E_{ij} = \frac{O_i * O_j}{O}$$

Donde:

$$O_i = \text{Frecuencia observada}$$

$$E_{ij} = \text{Frecuencia esperada}$$

$$O = \text{Total}$$





## Resultados del cálculo de la frecuencia esperada

Orden	Agarre	Descripción	Si Cumple	No Cumple	Número de Pruebas
1		Botella de agua	8,8	1,2	10
2		Botella de desinfectante	8,8	1,2	10
3	Cilíndrico	Botella de gaseosa	8,8	1,2	10
4		Botella spray	8,8	1,2	10
5		Pelota plástica	8,8	1,2	10
6		Envase plástico	8,8	1,2	10
7		Pelota plástica	8,8	1,2	10
8	En pinza	Huevo	8,8	1,2	10
9		Monedero	8,8	1,2	10
10		Billetera	8,8	1,2	10
		<b>Suma Total</b>	<b>88</b>	<b>12</b>	<b>100</b>





## Resultados del Chi Cuadrado

Orden	Agarre	Descripción	Si Cumple	No Cumple
1		Botella de agua	0,073	0,533
2		Botella de desinfectante	0,005	0,033
3	Cilíndrico	Botella de gaseosa	0,368	2,700
4		Botella spray	0,164	1,200
5		Pelota plástica	0,164	1,200
6		Envase plástico	0,164	1,200
7		Pelota plástica	0,005	0,033
8	En pinza	Huevo	0,164	1,200
9		Monedero	0,073	0,533
10		Billetera	0,368	2,700
		<b>TOTAL</b>	<b>1,545</b>	<b>11,333</b>





## Valor del Chi Cuadrado

12,88

- Con el número de grados de libertad
- “Tabla de distribución del Chi cuadrado”
- Se extrae el valor de 11,0705





## TRABAJOS A FUTURO

- Realizar un recubrimiento tipo guante que se asemeje a la piel protegiendo así la prótesis del agua y de otros factores que puedan afectar su funcionamiento.
- Adicionar más movimientos en la mano, mediante la inmersión y programación del SDK del Myo Armband.
- Implementar algún tipo de mecanismo en la muñeca para obtener más grados de libertad y permitir la rotación de la mano.
- Mediante el uso de un scanner 3D diseñar un antebrazo que encaje correctamente con la forma del muñón de la persona con amputación de mano.





## MARCO ADMINISTRATIVO

### Recursos Materiales

N	Ítem
◦	
1	Sensor mioeléctrico Myo Armband Gesture
2	Material de impresión 3D PLA
3	Material de impresión 3D TPE (Ninjaflex)
4	Micro servo lineales Actuonix PQ12 – serie R
5	Bluetooth de bajo consumo de energía HM - 10
6	Arduino Nano
7	Cable de tendón (Bigote de parlante)
8	Sensores de fuerza resistivos FSR 400
9	Baterías de lipo 7.4V 2500mAh.
10	Elementos de electrónica básica
11	Insertos roscados M3
12	Tornillo M3
13	Materiales para construcción de placa electrónica





# MARCO ADMINISTRATIVO

## Talento Humano

---

<b>Grupo de talento humano</b>	Katherine Pinto	Investigadores
	David López	Investigadores
	Ing. Andrés Gordón	Director del Proyecto de Titulación

---







## MARCO ADMINISTRATIVO

### Recursos Financieros

<b>Gatos generales</b>				
<b>N°</b>	<b>Ítem</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
1	Sensor mioeléctrico Myo Armband Gesture	1	200,00	<b>200,00</b>
2	Material de impresión 3D PLA (1kg)	2	25,00	<b>50,00</b>
3	Material de impresión 3D TPE (Ninjaflex – 0.25 kg)	1	25,00	<b>25,00</b>
4	Micro servo lineales Actuonix PQ12 – serie R	5	70,00	<b>350,00</b>
5	Bluetooth de bajo consumo de energía HM - 10	1	10,99	<b>10,99</b>
6	Arduino Nano	1	7,59	<b>7,59</b>
7	Sensores de Fuerza Resistivos	2	9,99	<b>19,98</b>





---

8	Paquete 2 baterías de lipo 7.4V 2500mAh, con cargador	1	28,44	<b>28,44</b>
9	Metros de cable de tendón (Bigote de parlante)	5	0,60	<b>3,00</b>
10	Elementos de electrónica básica	Varios	6,80	<b>6,80</b>
11	Insertos roscados M3	20	0,25	<b>5,00</b>
12	Tornillo M3	20	0,20	<b>4,00</b>
13	Materiales para construcción de placa electrónica	Varios	6,60	<b>6,60</b>
14	Gastos en paquetes de importación	3	25,00	<b>75,00</b>
15	Impresión 3D	18		<b>295,17</b>
16	Fabricación placa electrónica	2	14,25	<b>28,50</b>
	<b>SUBTOTAL</b>			<b>1116,07</b>
17	Horas de ingeniería	50	20,00	<b>1000,00</b>
	<b>TOTAL</b>			<b>2116,07</b>

---





## CONCLUSIONES

- Con la investigación previamente realizada sobre diseños de prótesis de mano existentes a nivel nacional e internacional, se fusionaron diferentes tipos de diseños que se encuentran libres online, obteniendo un prototipo de prótesis de mano biónica mejorada en su aspecto, funcionalidad y que cumple con las necesidades del usuario.
- La etapa más importante en la metodología del diseño es la recolección de información en cuanto a los requerimientos y necesidades de personas que necesitan una prótesis de mano, seguida de las fases de modelado, validación y prototipado en los cuales se pueden encontrar falencias que pueden ser corregidas para obtener un diseño robusto.





- Las ventajas de las prótesis de mano ya diseñadas y fabricadas, es que son un gran aporte a la hora diseñar nuevos, ya que no es necesario partir desde cero sino más bien utilizar lo existente y mejorarlo.
- Se estableció parámetros de diseño para la implementación del prototipo de prótesis de mano mediante una encuesta de requerimientos y necesidades realizadas a las personas que sufren de discapacidad por amputación de mano.
- Se diseñó la estructura mecánica para la implementación del prototipo de prótesis de mano biónica basado en la norma DIN 33402 (Ergonomics – Human Body Dimensions – Part 2).





- El control de la prótesis de mano fue realizado por medio de comunicación bluetooth entre el Brazalete Myo y el arduino nano, ya que con la comunicación inalámbrica se eliminó el uso de cables para la captación de las señales eléctricas, facilitando el movimiento y la manipulación de la prótesis.
- Se construyó un prototipo de prótesis de mano biónica donde se implementó un sistema de control automático activado por medio de señales mioeléctricas generadas por el brazo.
- Se realizó pruebas de funcionamiento y movilidad del prototipo de prótesis de mano biónica mediante el agarre y manipulación de objetos de distintos tamaños y formas.





- El prototipo de prótesis de mano biónica es apto para el agarre de objetos cilíndricos o semejantes (plásticos), con un diámetro máximo de 65 mm y un mínimo de 34 mm, donde el error máximo es de 3 agarres fallidos pues la prótesis necesita de una inclinación de  $30^\circ$  para agarrar los objetos.
- El prototipo de prótesis de mano biónica es capaz de soportar un peso de 2 Kg sin sufrir ningún tipo de deformación en sus dedos o algún daño en los micro servos lineales.
- Se diseñó y elaboró una prótesis estética con el fin de asemejarse a una mano real, ayudando en la autoestima de las personas que sufren de discapacidad por amputación de miembros superiores en este caso manos.





## RECOMENDACIONES

- Se recomienda manipular objetos de plásticos ya que estos pueden ser deformados por la presión de la prótesis de mano sin sufrir ningún tipo de daño permanente como ruptura.
- Realizar la etapa de calibración del sensor Myo Armband con el fin de que el sensor lea correctamente los gestos ejecutados por el usuario y así activar correctamente el prototipo de prótesis.
- Al ser un prototipo de mano y contener dispositivos electrónicos en su interior se debe tener en cuenta que no posee grados de protección IP, por tanto, es aconsejable no exponerlo al agua.







- Cuando se recargue la batería, se recomienda estar pendiente del indicador led del cargador, pues cuando se quede estático la batería estará al 100% de su carga; esto evita que la batería permanezca conectada más del tiempo necesario y se reduzca su tiempo de vida útil.
- Se recomienda pulir las piezas elaboradas mediante impresión 3D con una lija de agua, con el fin de quitar las rugosidades y dejarlas totalmente lisas.
- Es necesario imprimir las piezas que conforman el prototipo de prótesis de mano con un porcentaje de relleno del 25%.
- Se recomienda ubicar correctamente los sensores de fuerza en los dedos índice y pulgar, debido a que únicamente se activarán al sentir un objeto en los dos sensores y se detendrán los micro servos lineales de dichos dedos.
- Colocar un guante quirúrgico a la prótesis de mano, con el objetivo de agarrar correctamente los objetos y evitar que se resbalen.





“El hombre encuentra a Dios detrás de cada puerta que la ciencia logra abrir”

Albert Einstein





¡GRACIAS!

