



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y  
MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA**

**“INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE  
MATERIALES FLEXIBLES IMPRESOS EN 3D PARA EL DISEÑO  
E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ÓRTESIS  
FUNCIONAL DE MANO, CONTROLADA AUTOMÁTICAMENTE  
PARA FACILITAR HABILIDADES MOTRICES”**

**LEÓN CÁRDENAS MANUEL ALEJANDRO  
ROMERO ANDRADE PAUL ALEJANDRO**

**TUTOR: Ing. VICTOR ANDALUZ**



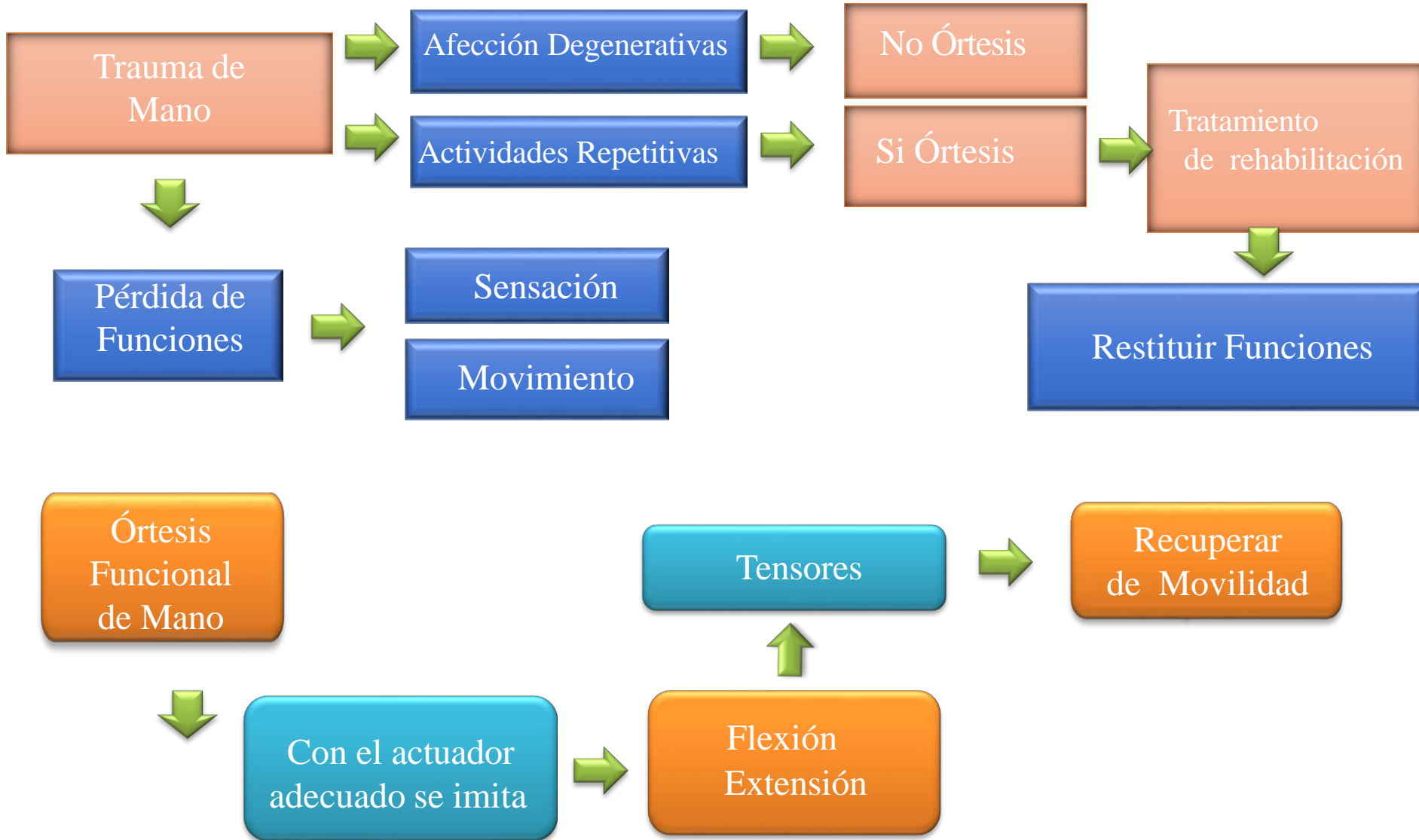


- **Paul Romero, Manuel León, Oscar Arteaga, Víctor H. Andaluz and Mauricio Cruz.**  
**“Composite Materials for the Construction of Functional Orthoses ”**, 2017 3rd Advanced Research in Material Sciences, Manufacturing, Mechanical and Mechatronic Engineering Technology International Conference.



- **Manuel A. León, Paul A. Romero, Washington X. Quevedo, Oscar Arteaga, Cochise Terán, Marco E. Benalcázar and Víctor H. Andaluz “Virtual Rehabilitation System for Fine Motor Skills Using a Functional Hand Orthosis”**, The 5th International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics (SALENTO AVR 2018 ).

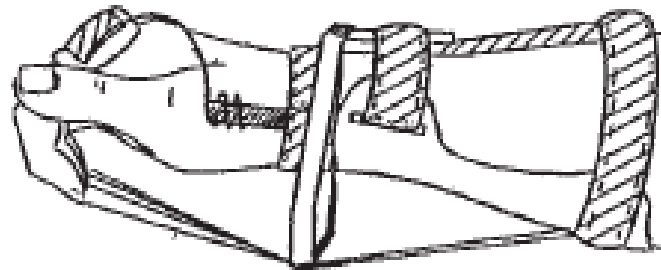
# INTRODUCCIÓN



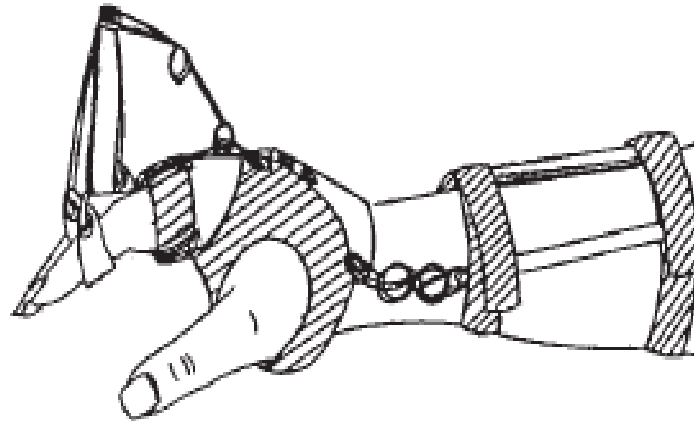
# ANTECEDENTES



# Órtesis Funcionales de Mano



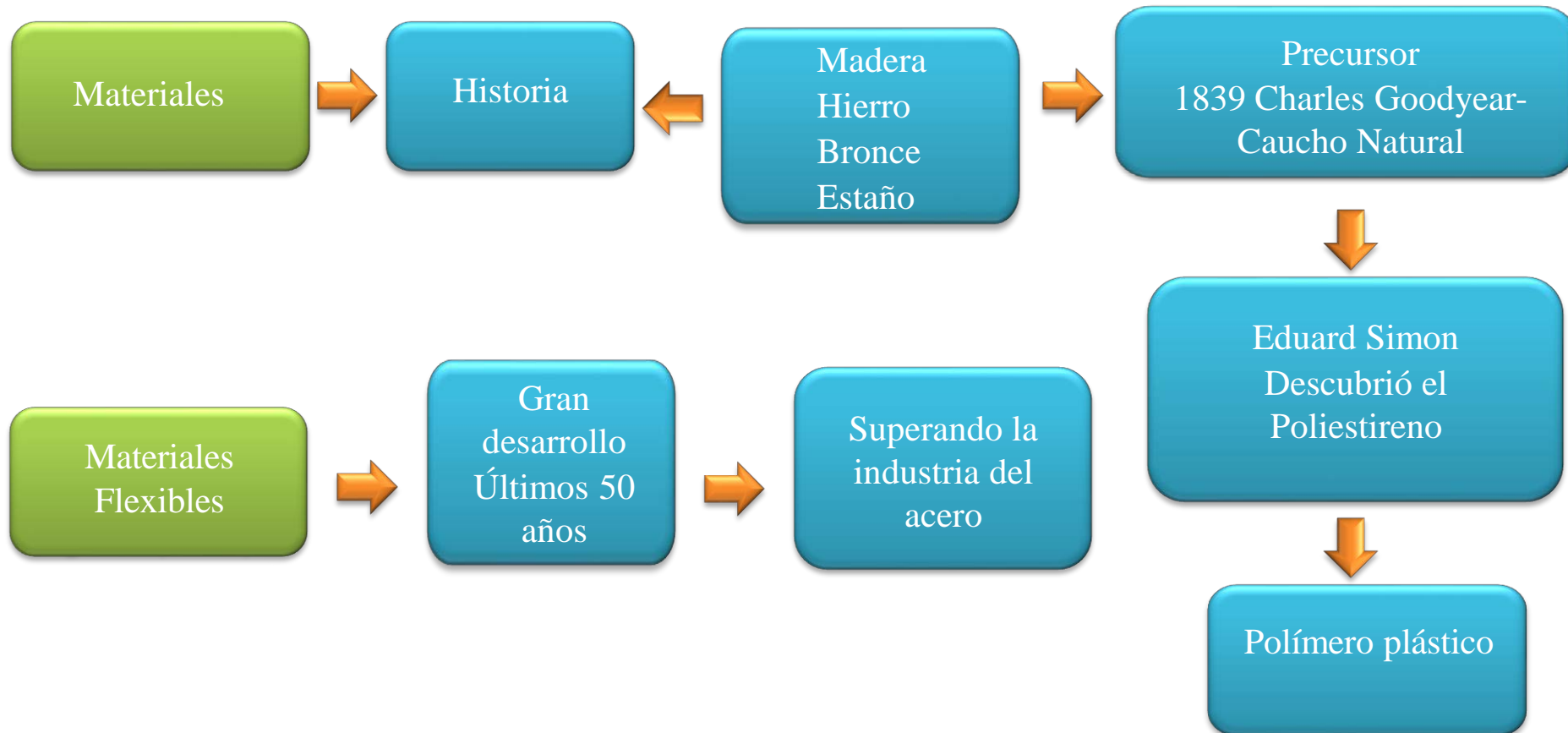
**Aditamento Flexor**



**Aditamento Extensor**



## ANTECEDENTES



# PROPUESTA

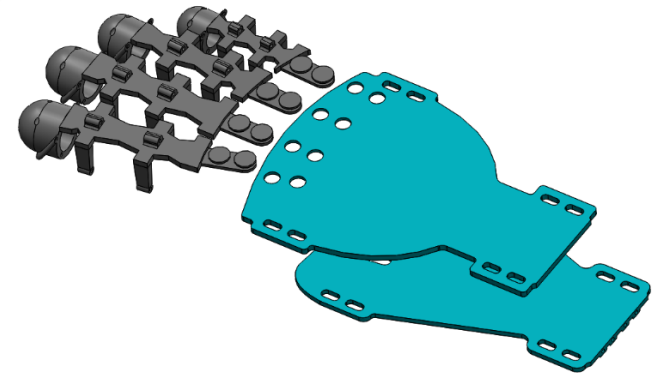
Investigación de  
Propiedades  
mecánicas de  
materiales flexibles



Implementación de un  
prototipo de órtesis  
funcional de mano



Impresos en  
3D





## OBJETIVO GENERAL

- Investigar las características mecánicas de materiales flexibles impresos en 3D, para el diseño de una órtesis funcional de mano controlada automáticamente para rehabilitación, mejorando la motricidad fina.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las propiedades tecnológicas, físicas y químicas de diferentes materiales flexibles a través de procesos normalizados.
- Diseñar un prototipo de órtesis funcional de mano, que provea comodidad y flexibilidad al usuario.
- Construir un prototipo de órtesis funcional de mano mediante el uso de sensores alámbricos que proporcionen los movimientos necesarios para tareas de rehabilitación facilitando la motricidad fina.
- Implementar un control autónomo que permita el accionamiento de los actuadores de la órtesis estimulando la funcionalidad de la mano.
- Realizar evaluaciones experimentales de la órtesis desarrollada para comprobar la utilidad del material flexible y su comportamiento en base al algoritmo de control propuesto.

## TRABAJOS PREVIOS



DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA  
ORTESIS PARA MANO DURANTE LA  
CONDUCCION DE UN AUTOMOVIL  
**COLOMBIA**



Rehabilitación de la mano con órtesis robóticas  
**COLOMBIA**



# ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE MATERIAL





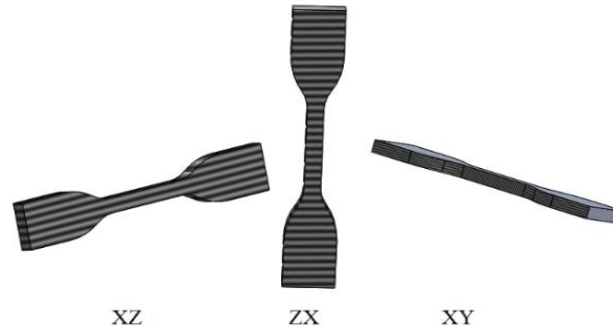
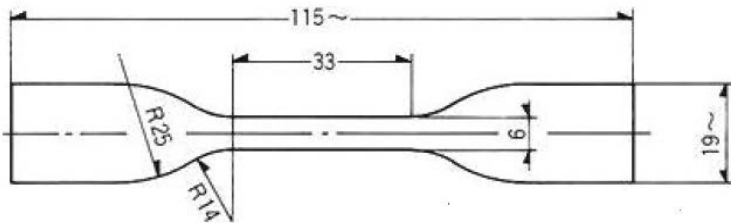
## CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES IMPRESOS EN 3D

Probetas normadas

Normas  
ASTM D638  
y NTE INEN  
1165

Planos  
XY, XZ,  
ZX

Máquina  
Universal de  
ensayos  
MTE – 50





## NINJA FLEX

### Propiedades

NinjaFlex está hecho de TPU

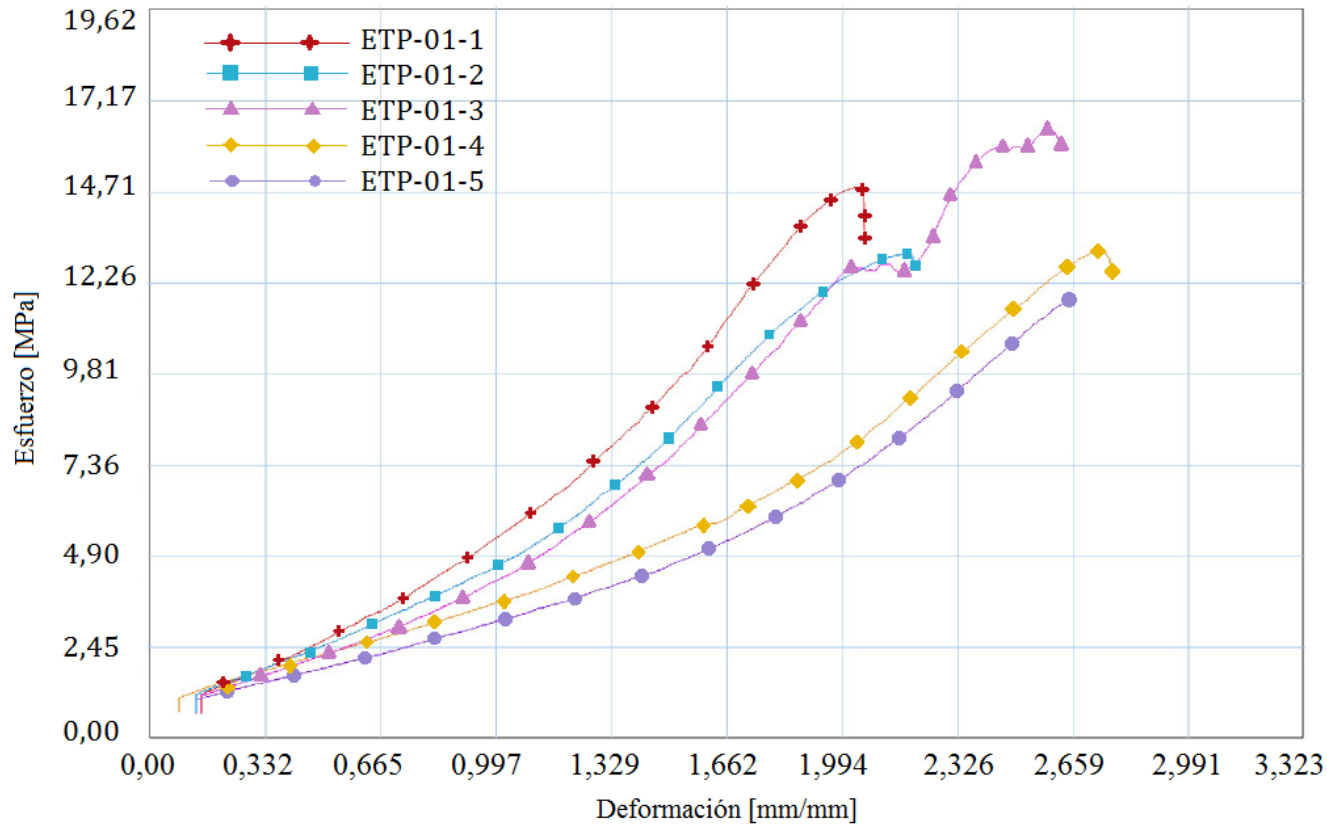
Puede presentar fisuras si se ve expuesto a aguas saladas, a hongos nocivos o a hidrolisis

Los poliuretanos termoplásticos poseen baja toxicidad – aplicaciones biomédicas

Deformación Térmica 0,455 [MPa] de 74 [°C] → ASTM D648

Lulzbot Mini a 210°C





### Diagrama Esfuerzo Vs Deformación, probetas XY

|                             |                         |
|-----------------------------|-------------------------|
| Deformación de las probetas | De 1,994 a 2,72 [mm/mm] |
| Esfuerzos máximos           | De 11,87 a 16,35 [MPa], |
| Coefficiente de variación   | 12,6%                   |
| Desviación estándar         | 1,75 [MPa]              |



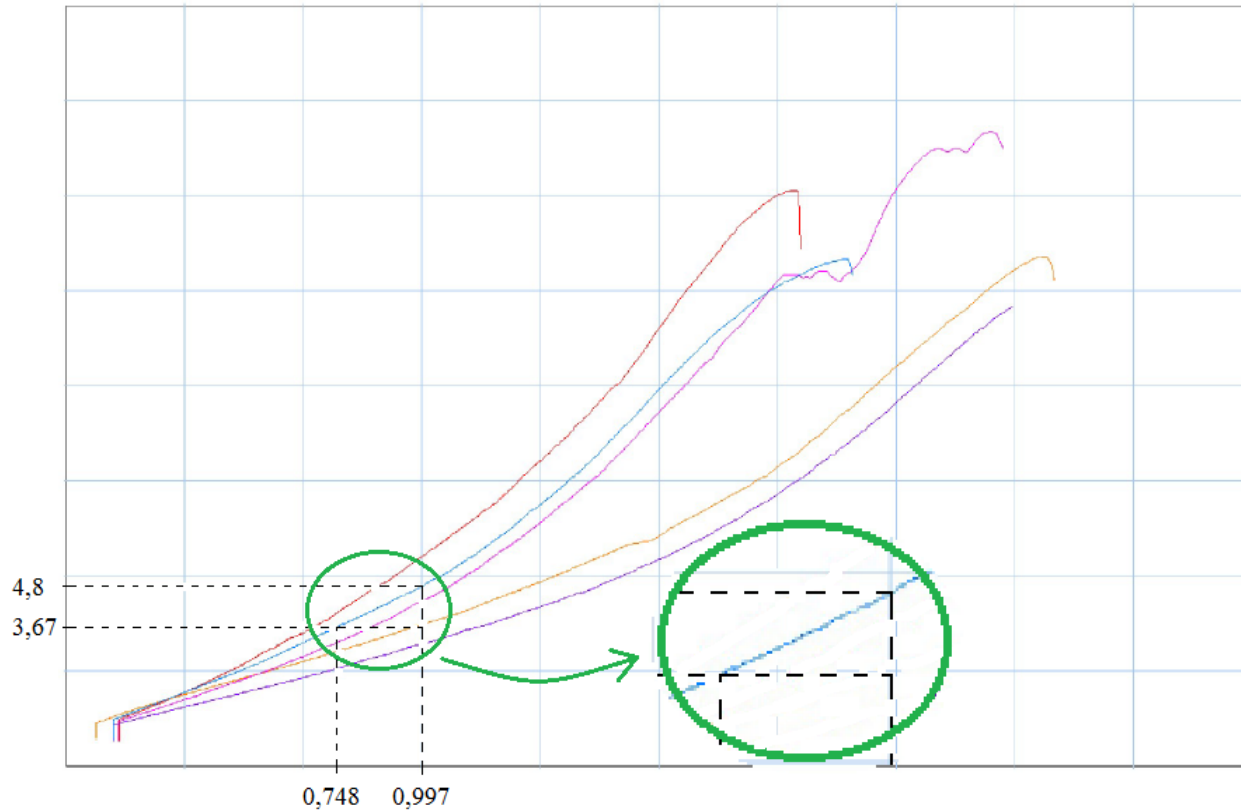
## CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD

Ley de Hooke

$$\sigma = E\epsilon$$



$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$



$$\begin{aligned} E &= \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{4,8 - 3,67}{0,997 - 0,748} [MPa] \\ &= \frac{1,13}{0,249} [MPa] = 4,5381 [MPa] \end{aligned}$$



## RESULTADOS ENSAYOS

| PROBETA (XY) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-01-1     | 445,14  | 14,84     | 3,48        | 7,409  |
| ETP-01-2     | 394,45  | 13,15     | 1,47        | 3,794  |
| ETP-01-3     | 356,01  | 11,87     | 1,20        | 2,691  |
| ETP-01-4     | 490,46  | 16,35     | 1,29        | 5,422  |
| ETP-01-5     | 391,77  | 13,06     | 1,35        | 4,538  |
|              | 415,566 | 13,852    | 1,758       | 4,7708 |

| PROBETA (XZ) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-02-1     | 291,22  | 9,71      | 2,18        | 2,854  |
| ETP-02-2     | 228,45  | 7,61      | 1,82        | 2,318  |
| ETP-02-3     | 284,34  | 9,48      | 1,54        | 2,882  |
| ETP-02-4     | 247,58  | 8,25      | 1,80        | 2,318  |
| ETP-02-5     | 301,13  | 10,04     | 2,20        | 2,936  |
|              | 270,544 | 9,018     | 1,909       | 2,6616 |







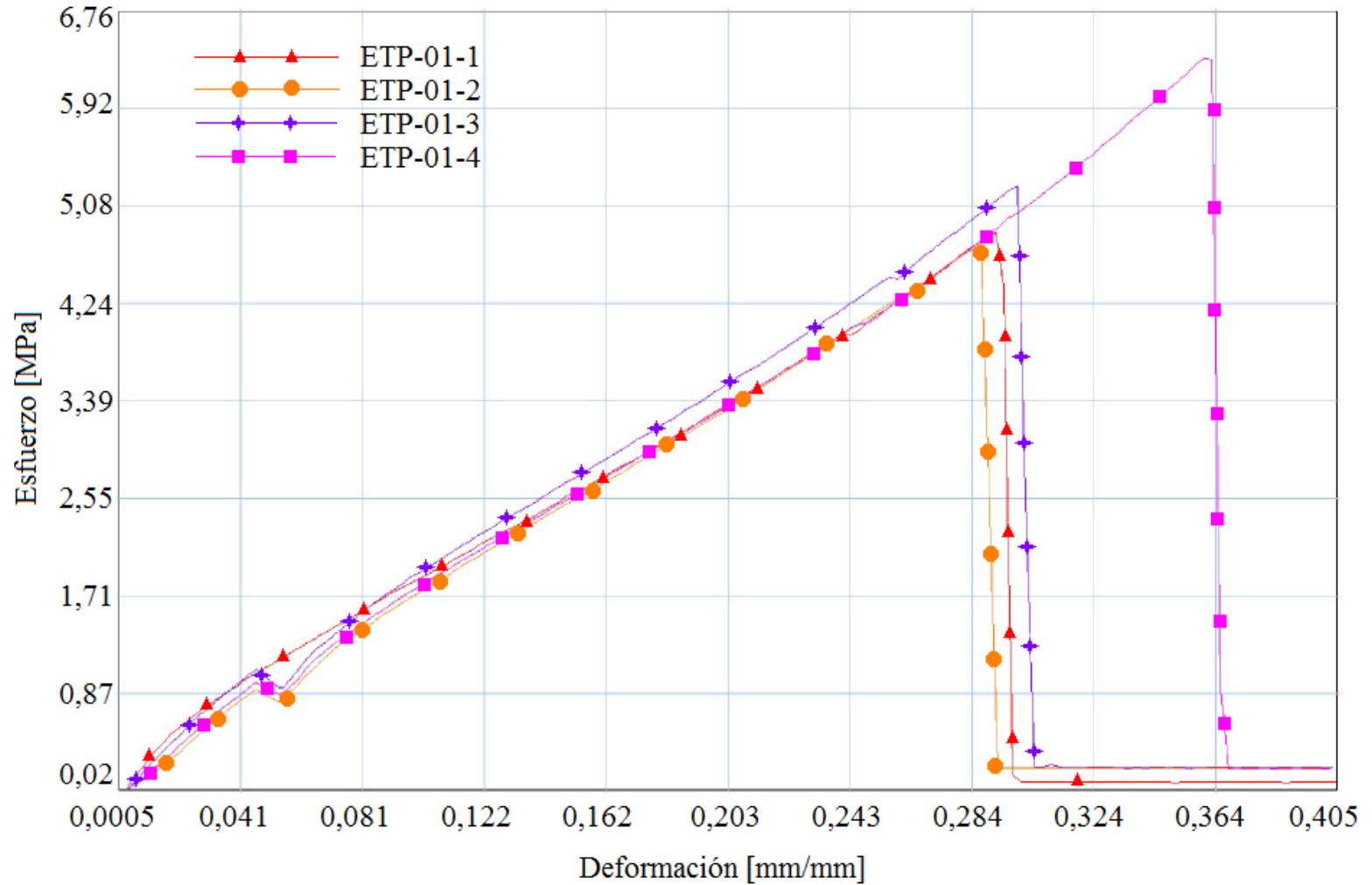
| PROBETA (ZX) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-03-1     | 64,79   | 2,16      | 0,81        | 2,458  |
| ETP-03-2     | 47,33   | 1,58      | 0,84        | 1,219  |
| ETP-03-3     | 41,29   | 1,38      | 0,82        | 1,667  |
| ETP-03-4     | 56,90   | 1,90      | 0,91        | 1,525  |
| ETP-03-5     | 42,47   | 1,42      | 0,83        | 2,125  |
|              | 50,556  | 1,685     | 0,840       | 1,7988 |

| NinjaFlex     | Esfuerzo Máximo [MPa] |
|---------------|-----------------------|
| Hoja de datos | 26                    |
| Plano XY      | 13,85                 |
| Plano XZ      | 9,018                 |
| Plano ZX      | 1,685                 |





## RESINA POLIMERICA





## RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

| PROBETA (XZ) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-01-1     | 157,78  | 4,86      | 1,09        | 13,803 |
| ETP-01-2     | 148,21  | 4,76      | 0,79        | 14,915 |
| ETP-01-3     | 157,95  | 5,25      | 0,95        | 16,787 |
| ETP-01-4     | 197,39  | 6,35      | 0,96        | 13,939 |
|              | 165,332 | 5,305     | 0,948       | 14,861 |

| PROBETA (XY) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-02-1     | 157,95  | 4,87      | 0,78        | 14,832 |
| ETP-02-2     | 160,47  | 5,27      | 0,75        | 16,135 |
| ETP-02-3     | 127,90  | 3,90      | 0,45        | 14,859 |
| ETP-02-4     | 181,45  | 5,54      | 0,81        | 13,939 |
|              | 156,942 | 4,895     | 0,697       | 14,941 |





## RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

| PROBETA (ZX) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-03-1     | 127,90  | 4,26      | 0,56        | 13,889 |
| ETP-03-2     | 157,45  | 5,33      | 0,69        | 15,089 |
| ETP-03-3     | 155,26  | 5,33      | 0,62        | 15,821 |
| ETP-03-4     | 155,10  | 5,34      | 0,59        | 16,135 |
|              | 148,928 | 5,062     | 0,615       | 15,234 |

| Resina polimérica | Esfuerzo Máximo [MPa] |
|-------------------|-----------------------|
| Hoja de datos     | 8,5                   |
| Plano XY          | 5,305                 |
| Plano XZ          | 4,895                 |
| Plano ZX          | 5,062                 |





## *SEMIFLEX*

La composición un poco más rígida que la tradicional NinjaFlex permite una mayor resistencia a la tracción

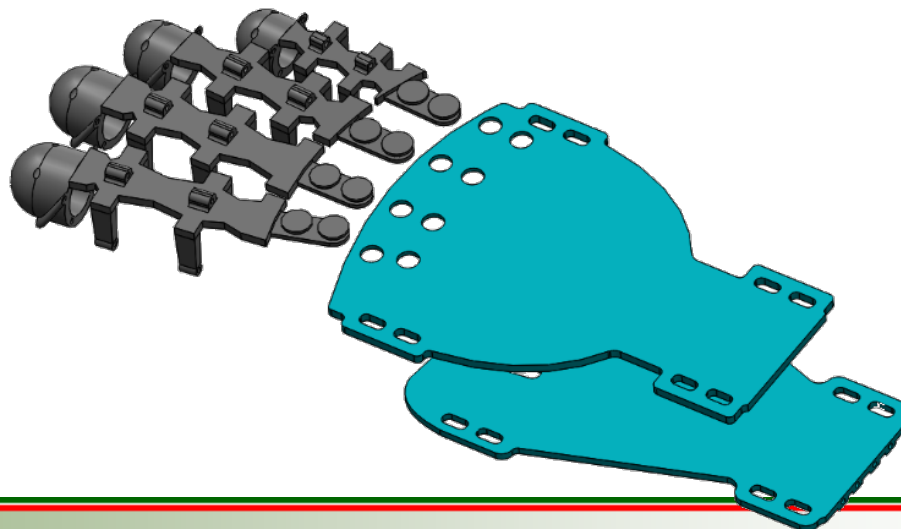
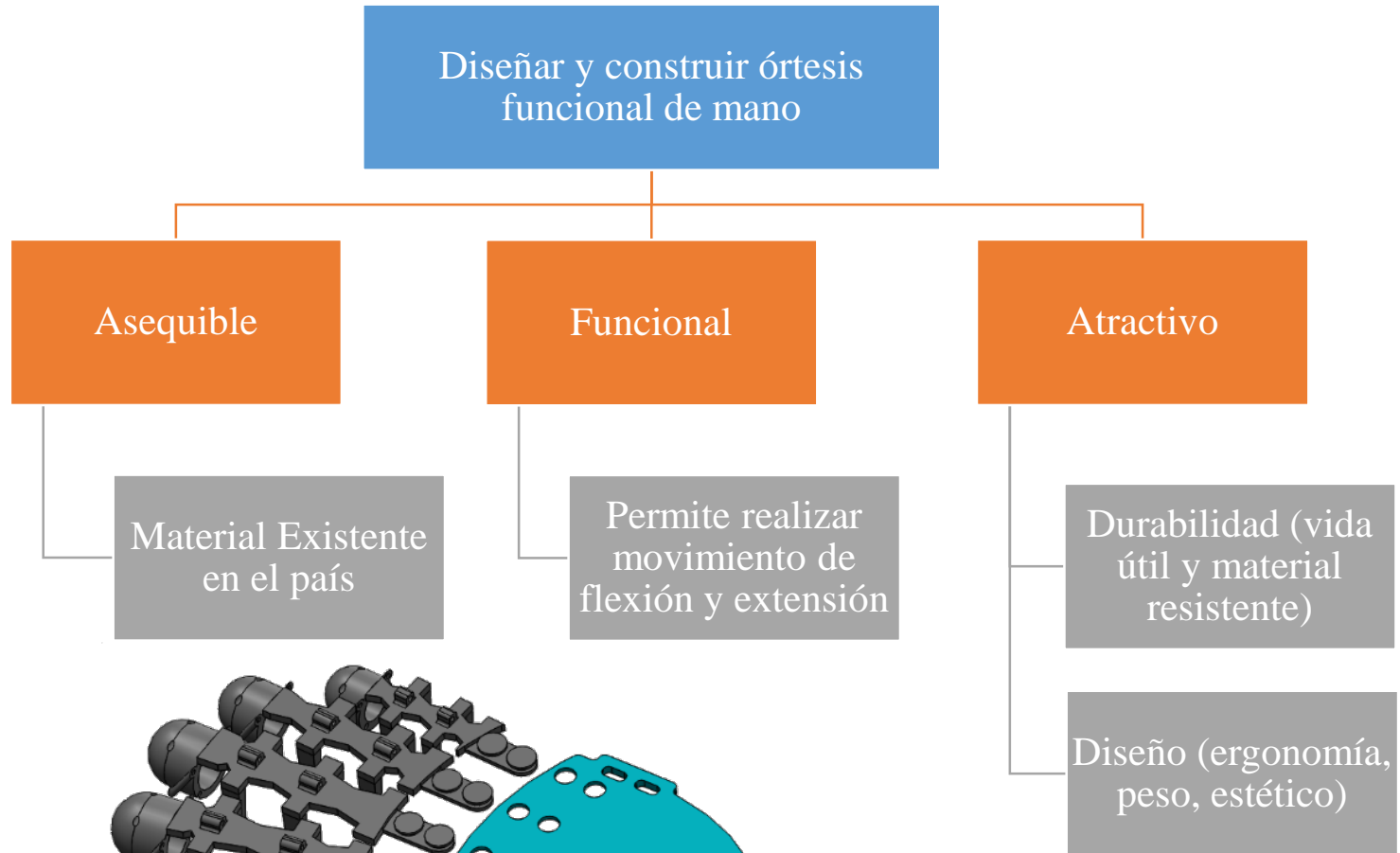
Esfuerzo máximo 43 [MPa] → Hoja de datos

| PROBLEM (XY) | FMax(N) | CMax(MPa) | CYield(MPa) | E(MPa) |
|--------------|---------|-----------|-------------|--------|
| ETP-01-1     | 590,10  | 20,88     | 3,01        | 4,931  |
| ETP-01-2     | 577,48  | 20,30     | 3,11        | 4,931  |
| ETP-01-3     | 561,70  | 19,76     | 2,94        | 4,739  |
| ETP-01-4     | 590,10  | 20,64     | 2,81        | 5,44   |
| ETP-01-5     | 575,90  | 20,06     | 2,97        | 4,68   |
|              | 579,06  | 20,33     | 2,969       | 4,944  |





## DISEÑO DE ÓRTESIS DE MANO

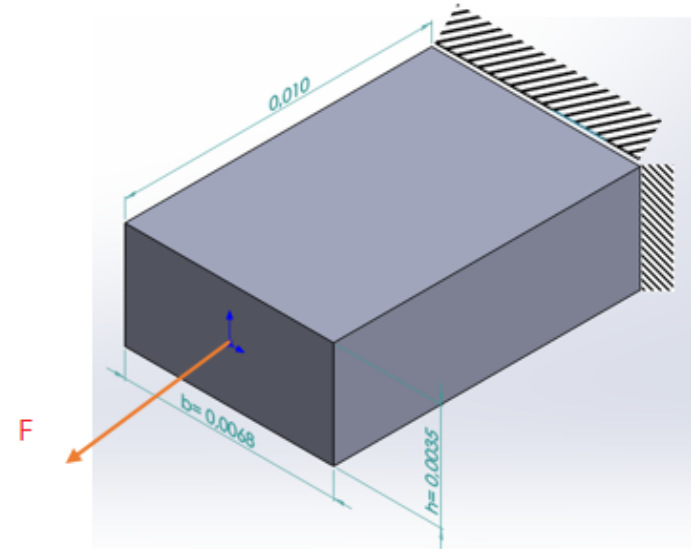




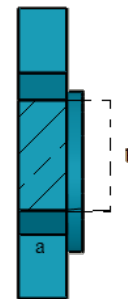
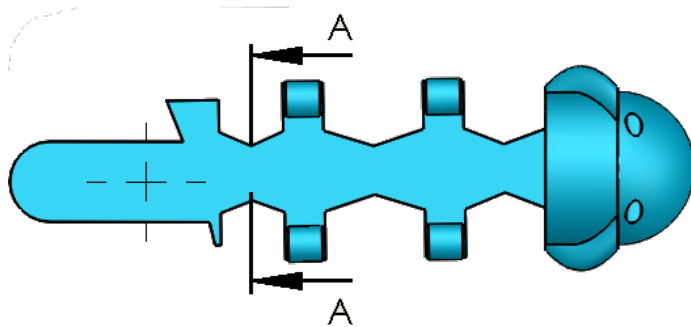
## ESFUERZOS CRÍTICOS DE LA ÓRTESIS DE MANO

$$F_i: \text{Fuerza Agarre individual} = \frac{F_A}{4}$$

$$F_i = \frac{417,57}{4} [N] = 104,4 [N]$$



$$\sigma_T: \text{Esfuerzo a tensión} = \frac{F}{A}$$



SECCIÓN A-A  
ESCALA 2 : 1

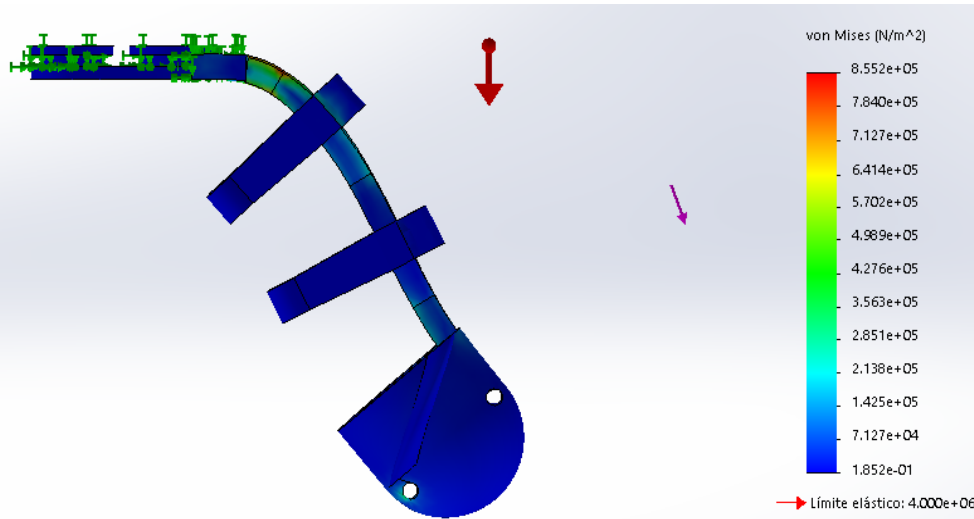
$$\sigma_T = \frac{104,4 [N]}{(6,8 \times 10^{-3} \cdot 3,5 \times 10^{-3}) [m^2]}$$

$$= 4,4 [MPa]$$

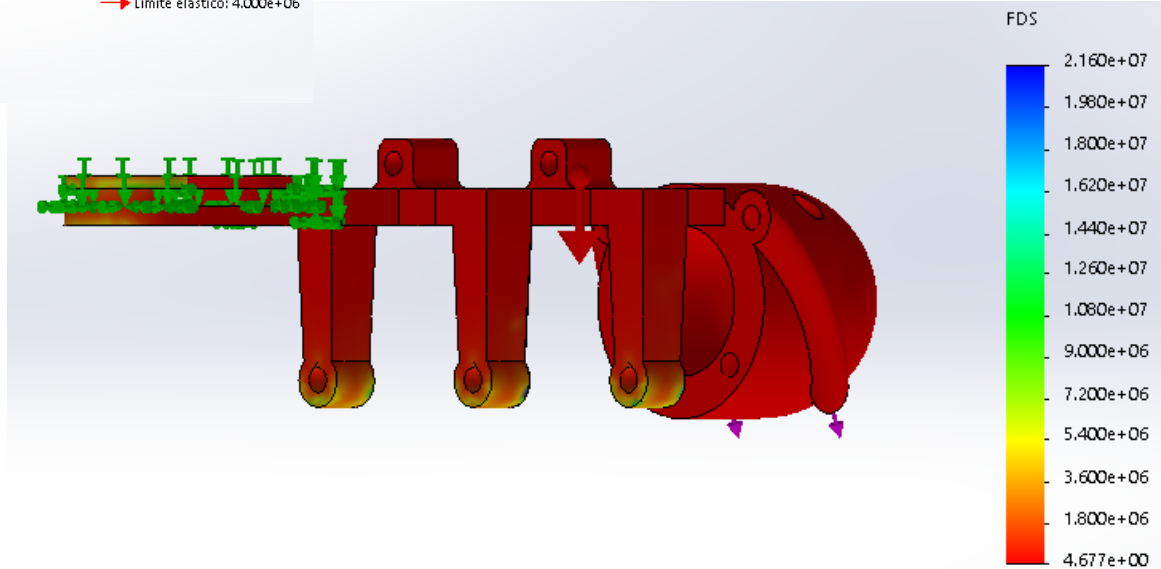
$$F_s = \frac{20,33 [MPa]}{4,4 [MPa]} = 4,6$$



## ESFUERZOS CRÍTICOS DE LA ÓRTESIS DE MANO

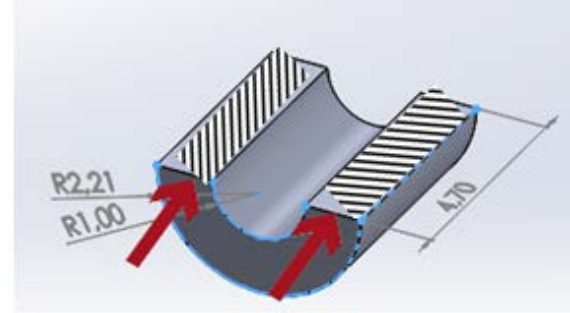
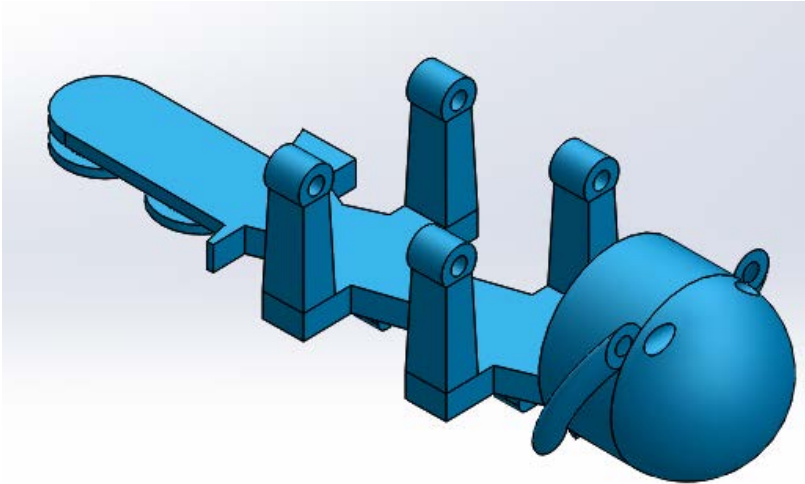


$$F_S = 4,7$$





## Esfuerzo por corte



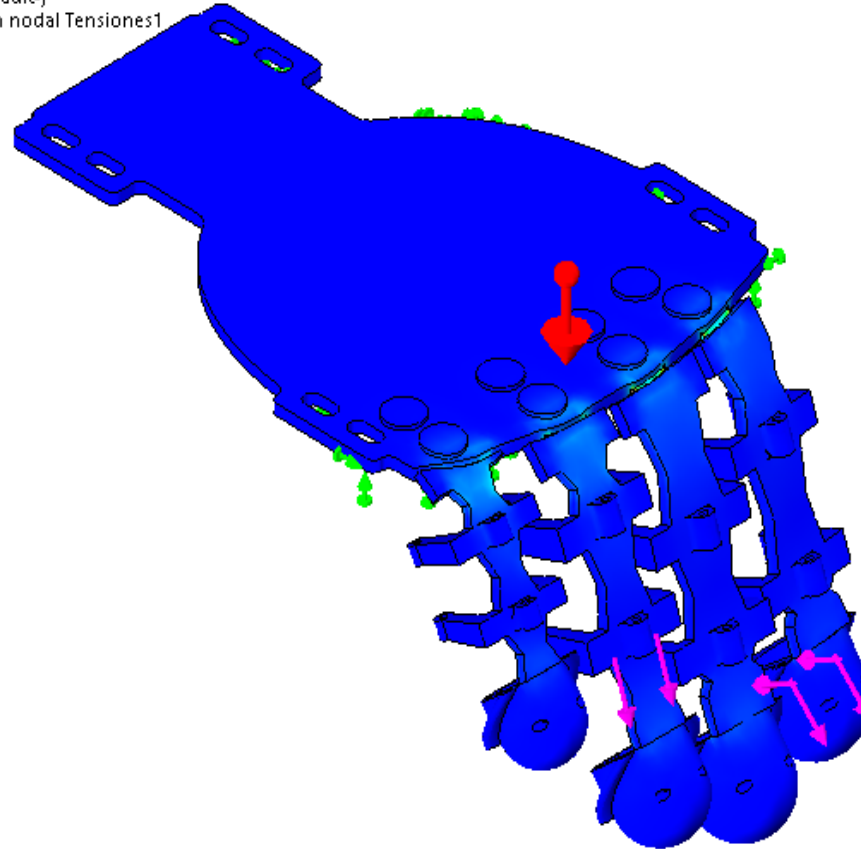
$$\tau = \frac{F_i}{A}$$

$$F_s = \frac{S_{ut}}{\tau} = \frac{20,33 \times 10^6 \text{ [Pa]}}{5,6 \times 10^3 \text{ [Pa]}} = 3630$$

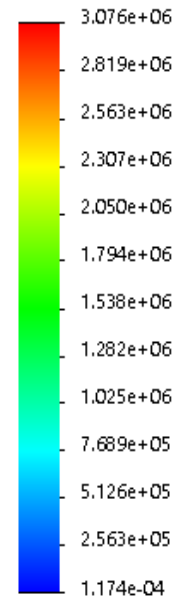
$$\tau = \frac{104,4 \text{ [N]}}{18,52 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}} = 5,6 \text{ [KPa]}$$



Nombre del modelo: EnsambleFinal  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Default-)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 1



von Mises (N/m<sup>2</sup>)





## Tensor



$$F_R: \text{Resistencia del tensor} = 15,3 \text{ [Kgf]} = 150,04 \text{ [N]}$$

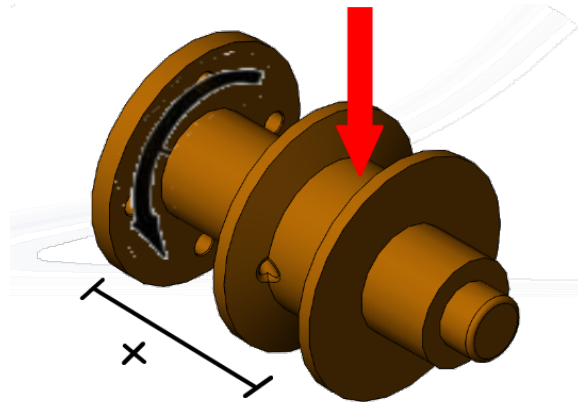
$$F_i = 104,4 \text{ [N]}$$

$$F_S = \frac{F_R}{F_i}$$

$$F_S = \frac{150,04 \text{ [N]}}{104,4 \text{ [N]}} = 1,44$$



## Análisis de esfuerzos en el eje



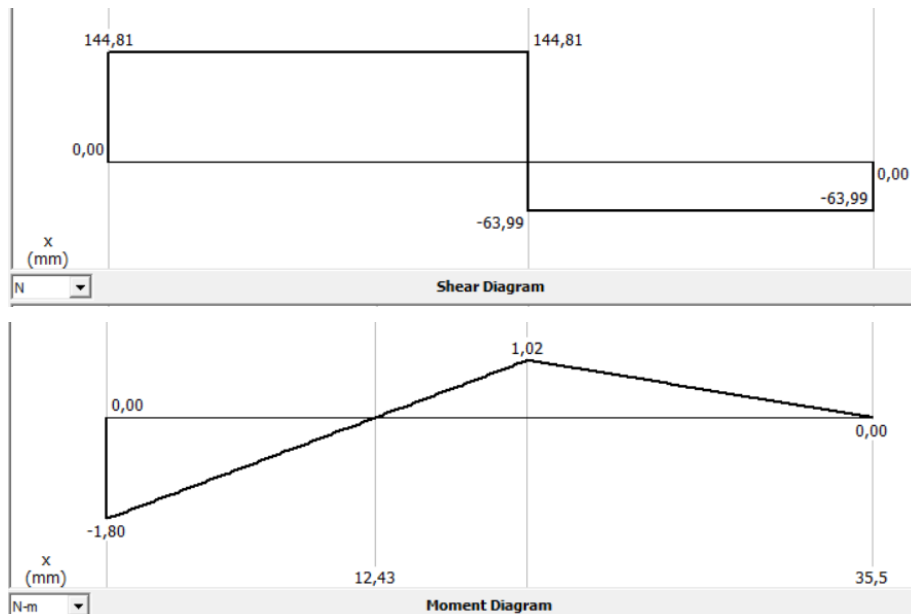
$$\sigma = \frac{32 M}{\pi \phi^3} = 18,33 \text{ [MPa]}$$

$$T = 2(104,4 \text{ [N]}) \cdot 19,5 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi \phi^3} =$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma}{2}\right)^2 + \tau^2} = 22,67 \text{ [MPa]}$$

$$F_s = \frac{50 \text{ [MPa]}}{22,67 \text{ [MPa]}} = 2,2$$





# Selección de componentes eléctricos y control



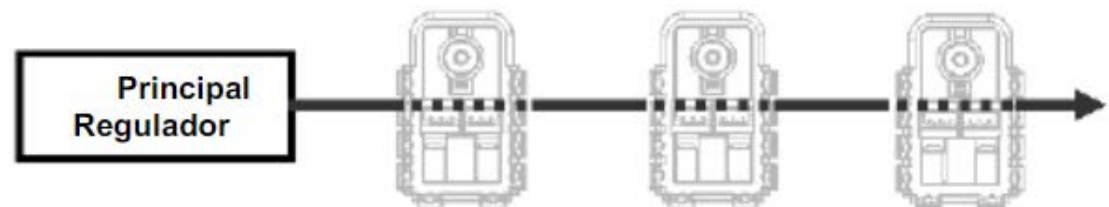
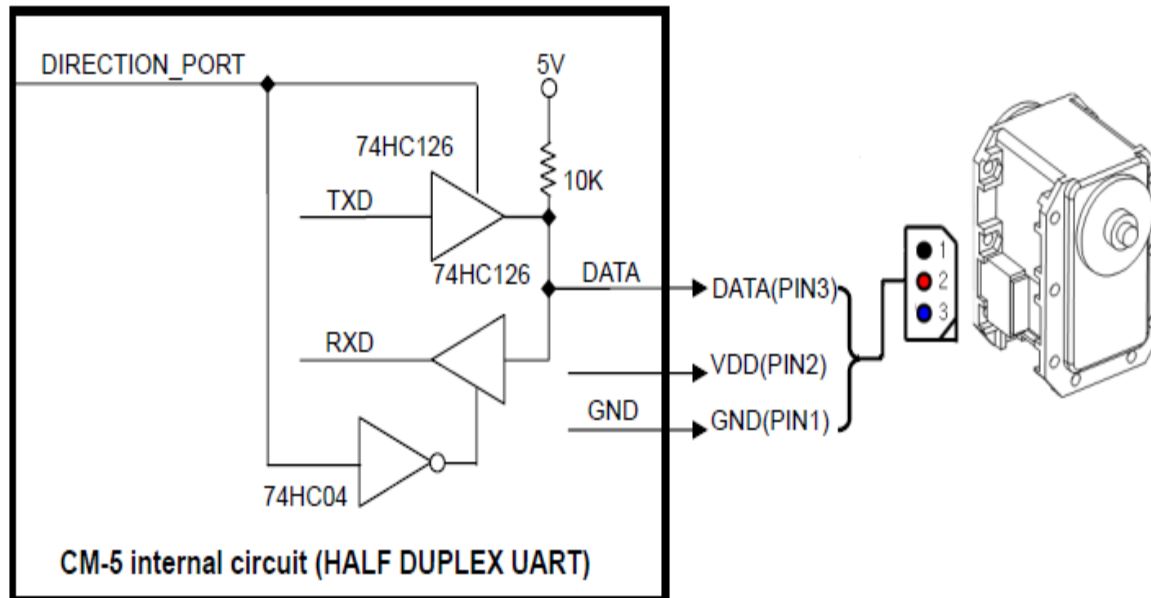


## Actuadores

| Alternativas |        | Parámetros |      |        |         |         |          | Resultado |
|--------------|--------|------------|------|--------|---------|---------|----------|-----------|
| Fabricante   | Modelo | Tamaño     | Peso | Torque | Voltaje | Control | Sensores |           |
| Tower Pro    | MG996R | 4          | 2    | 1      | 3       | 1       | 1        | 12        |
| Power HD     | 3001HB | 4          | 2    | 1      | 3       | 1       | 1        | 12        |
| XYZ Robot    | A1-16  | 3          | 2    | 3      | 3       | 2       | 3        | 16        |
| Dynamixel    | AX-18A | 3          | 2    | 4      | 3       | 4       | 4        | 20        |
| Feetech      | SM80   | 3          | 2    | 2      | 2       | 4       | 3        | 16        |



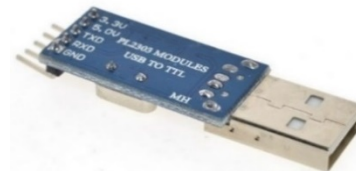
## Comunicación





## Comunicación

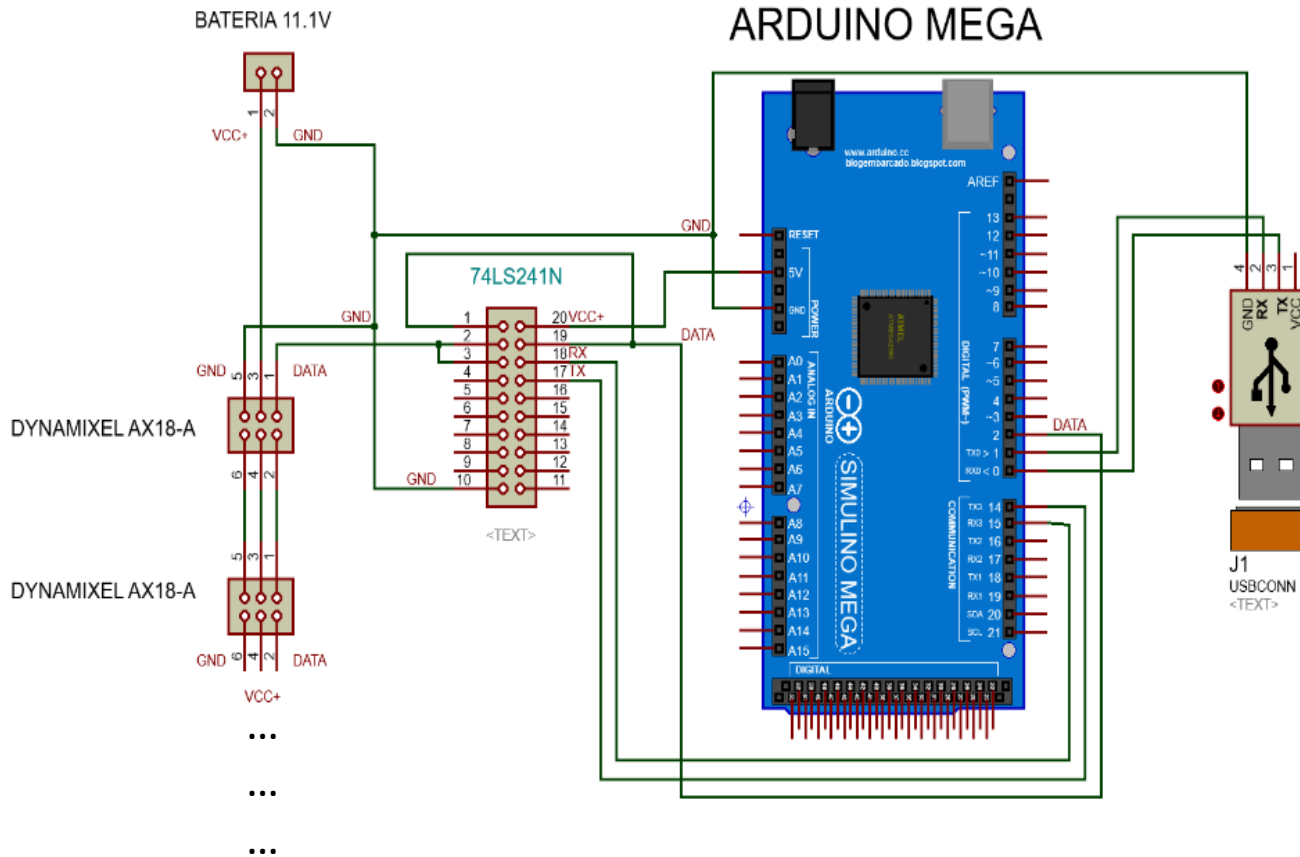
| Alternativas |           | Parámetros |           |            |        | Resultado |
|--------------|-----------|------------|-----------|------------|--------|-----------|
| Fabricante   | Modelo    | Tamaño     | Velocidad | Protección | Precio |           |
| Dynamixel    | USB2D     | 4          | 4         | 3          | 1      | 12        |
| Arduino      | Mega 2560 | 2          | 4         | 3          | 4      | 13        |
| Open CM      | 9.04-C    | 4          | 3         | 2          | 3      | 12        |
| ArbotiX      | M         | 2          | 3         | 2          | 2      | 9         |







# Circuito de Control





## Alimentación

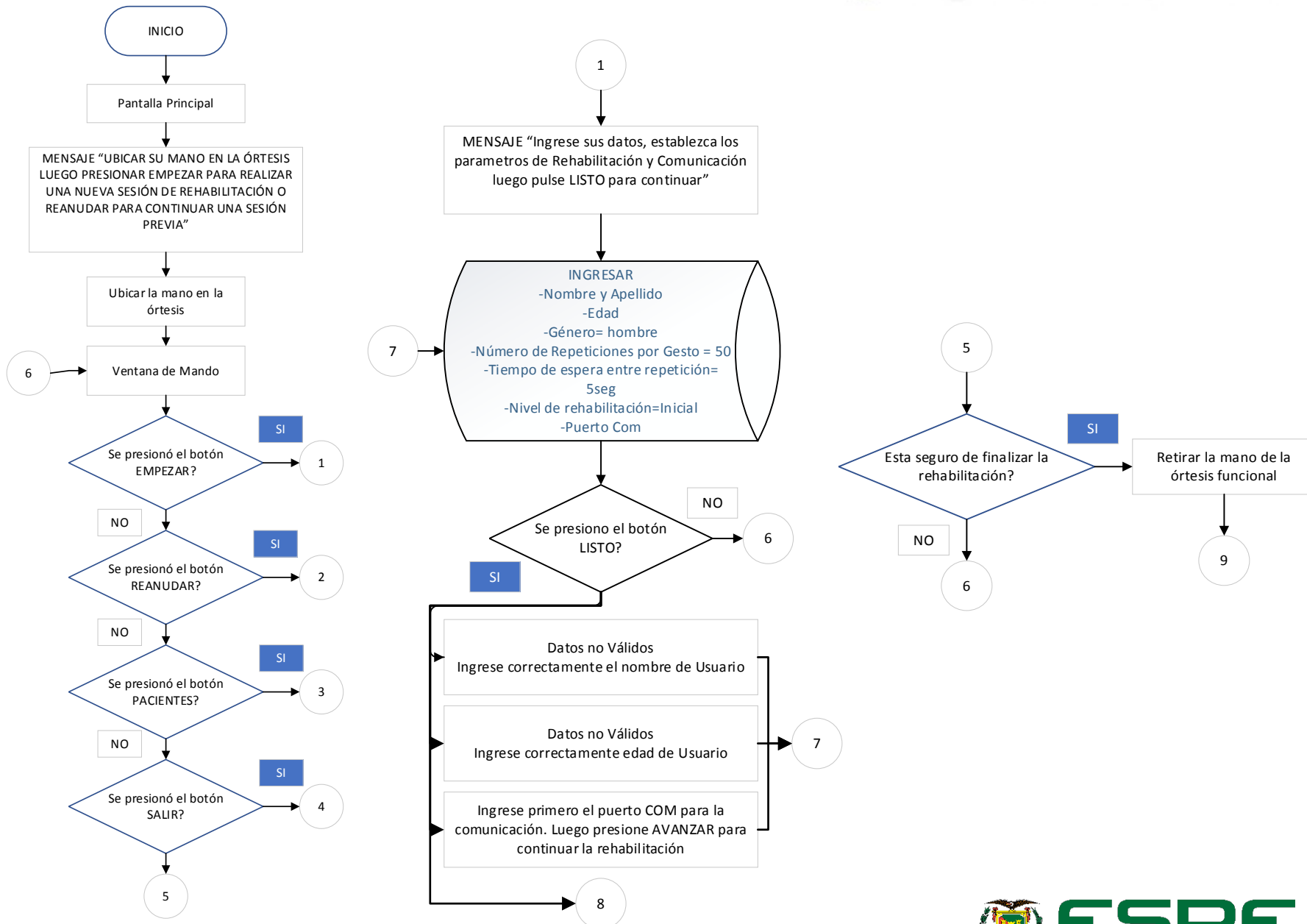
| Alternativas  |               | Parámetros de Selección |           |         |          | Calificación |
|---------------|---------------|-------------------------|-----------|---------|----------|--------------|
| Fabricante    | Modelo        | Tamaño                  | Capacidad | Voltaje | Descarga |              |
| MultiStar     | 5200mA 3s     | 3                       | 3         | 4       | 2        | 12           |
| ZIPPY Compact | 2200mAh 3S    | 2                       | 3         | 4       | 1        | 10           |
| Turnigy       | 2200mAh 3S    | 4                       | 3         | 4       | 4        | 15           |
| Traxxas       | 2200mAh<br>2S | 3                       | 2         | 1       | 3        | 9            |

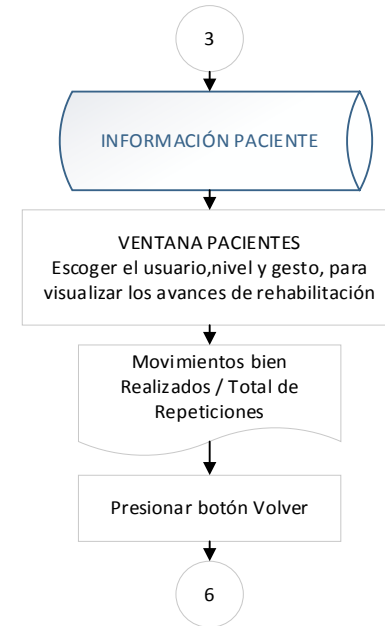
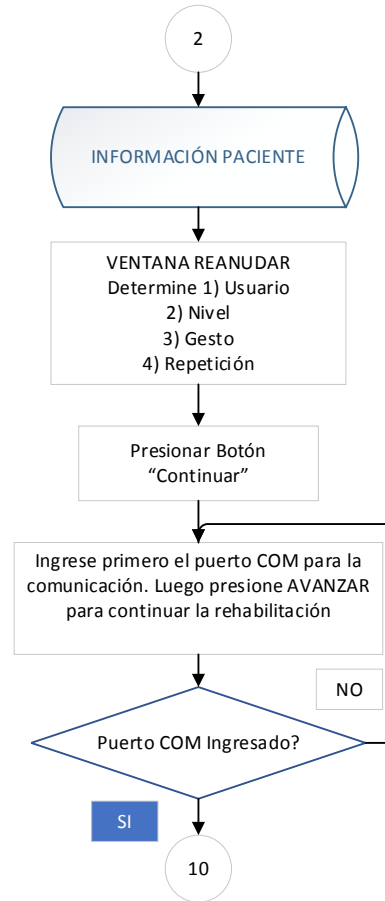
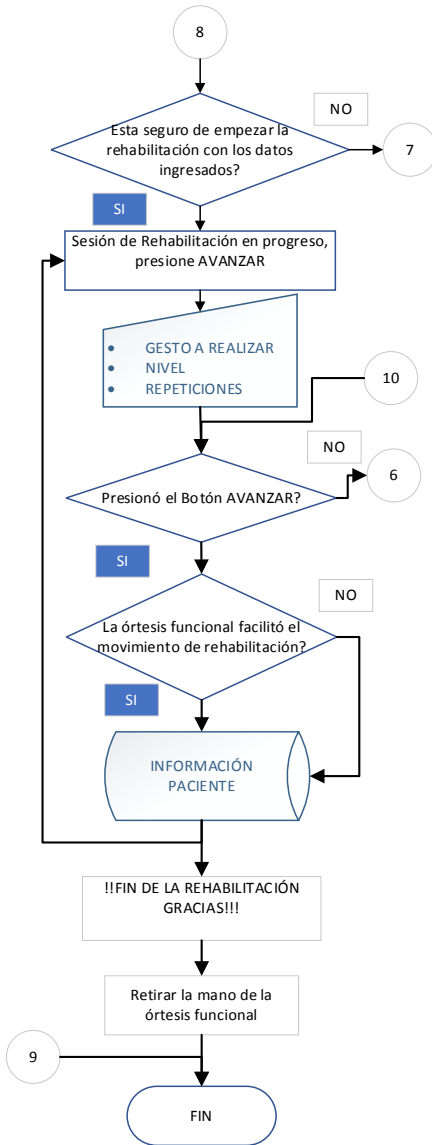




# Sistema de Control Asistido por Computador









## Interfaz gráfica del sistema de control

Tesis Leon Romero



### UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-EL

#### INGENIERIA MECATRONICA

INVESTIGACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE MATERIALES FLEXIBLES IMPRESOS EN 3D PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ÓRTESIS FUNCIONAL DE MANO, CONTROLADA AUTOMÁTICAMENTE PARA FACILITAR HABILIDADES MOTRICES.

UBICAR SU MANO EN LA ÓRTESIS LUEGO PRESIONAR EMPEZAR PARA REALIZAR UNA NUEVA SESIÓN DE REHABILITACIÓN O REANUDAR PARA CONTINUAR UNA SESIÓN PREVIA

#### MANDO

EMPEZAR

REANUDAR

PACIENTES

SALIR

Estado

Empezar Sesión

LISTO

#### DATOS

Nombre y Apellido

Edad

Género

hombre

mujer

#### Parámetros Rehabilitación

Número de repeticiones por gesto

50

Tiempo de espera entre repetición (segundos)

5

#### Nivel y Comunicación

Nivel Rehabilitación

Inicial

Medio

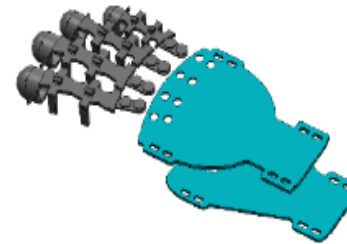
Final

PUERTO COM

#### SESIÓN DE REHABILITACIÓN

Bienvenido

AVANZAR



GESTO

NIVEL

REPETICIONES

#### GESTOS

IMC

RPC

FIST

Añadir Gesto

Editar Gesto

Eliminar Gesto

INFORMACIÓN

Reset





## Movimientos de rehabilitación programados



| GESTO | NIVEL   | REPETICIONES |
|-------|---------|--------------|
| IMC   | Inicial | 1/10         |



| GESTO | NIVEL   | REPETICIONES |
|-------|---------|--------------|
| RPC   | Inicial | 4/4          |



| GESTO | NIVEL   | REPETICIONES |
|-------|---------|--------------|
| FIST  | Inicial | 1/4          |

Confirmar

?

La órtesis funcional facilitó el movimiento de rehabilitación

SI, facilitó el movimiento

No, no facilitó el movimiento





## Ventanas Auxiliares

restaurar

### Repetir o reanudar rehabilitación

*Determine 1) el usuario, 2) el nivel, 3) el gesto y 4) la repetición desde la cuál reanudar la rehabilitación*

ESCOJA USUARIO

- Nuevo
- Nuevo1
- OlgaBenavides
- OscarProaño
- PRomero
- PamelaOrtiz
- Paul
- Paul1Romero
- PaulQuezada
- PaulR

ESCOJA EL NIVEL DE REHABILITACIÓN

- Inicial
- Medio
- Final

ESCOJA ENTRE LOS GESTOS REALIZADOS

- IMC
- RPC
- FIST

ESCOJA ENTRE LAS REPETICIONES REALIZADAS

- 1

CONTINUAR

pacientes

### Historial de Rehabilitación

*Escoger el usuario, nivel y gesto, para visualizar los avances de rehabilitación*

ESCOJA USUARIO

- AdrianaRomero
- ALLeon1
- Alej
- AlejLeo
- AlejandroLeon
- Alejo1
- AlejoLC
- AndrésSalguero
- AntonioSalazar
- BismarVillenas

ESCOJA EL NIVEL DE REHABILITACIÓN

- Inicial
- Medio
- Final

ESCOJA ENTRE LOS GESTOS REALIZADOS

- IMC
- RPC
- FIST

Movimientos bien realizadas / Total de Repeticiones

2/4

VOLVER





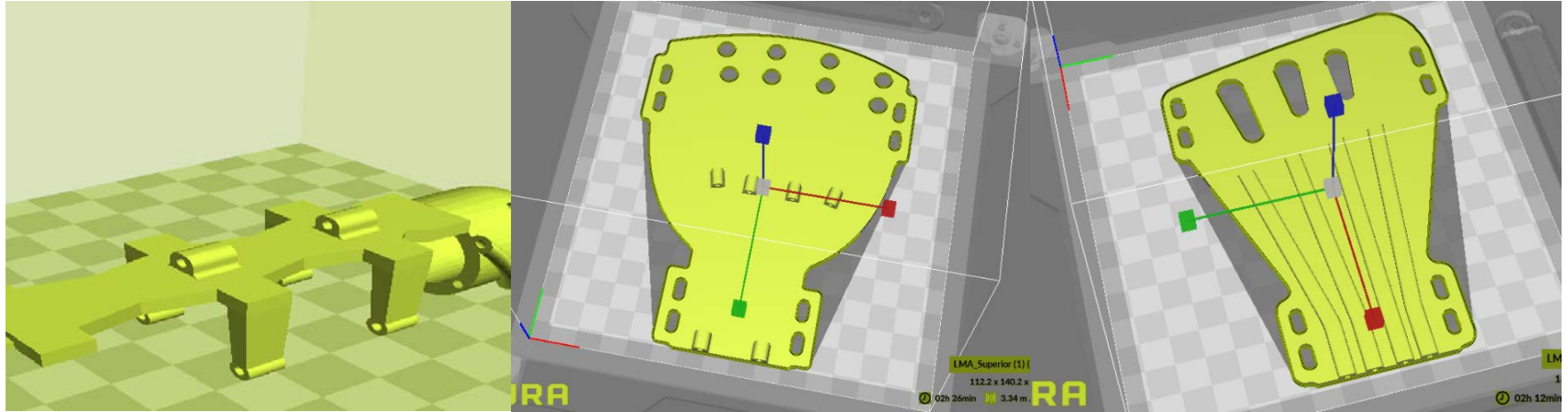


# IMPLEMENTACIÓN



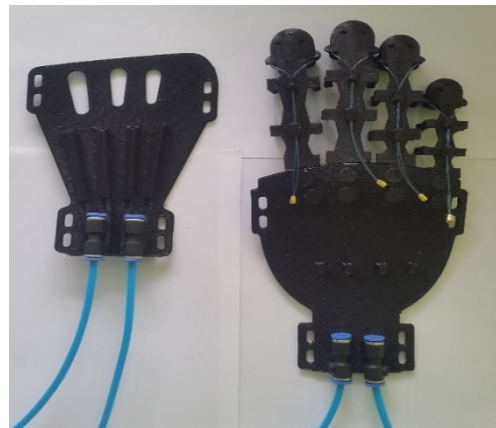


# Impresión del Prototipo de Órtesis Funcional



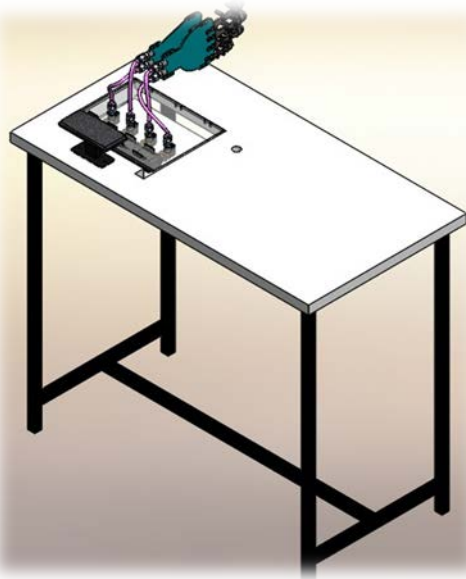


## Ensamble de la Órtesis



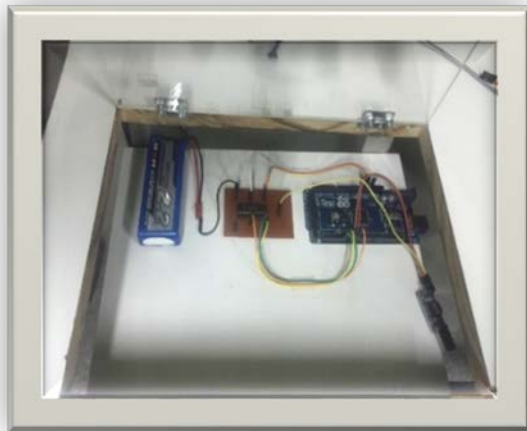


## Construcción de la Estación





## Ensamble Total de la Estación



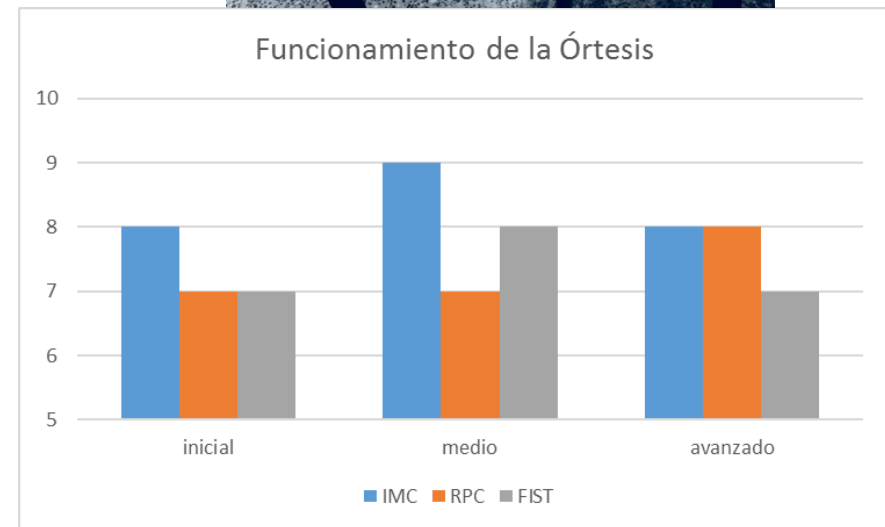


# PRUEBAS Y RESULTADOS



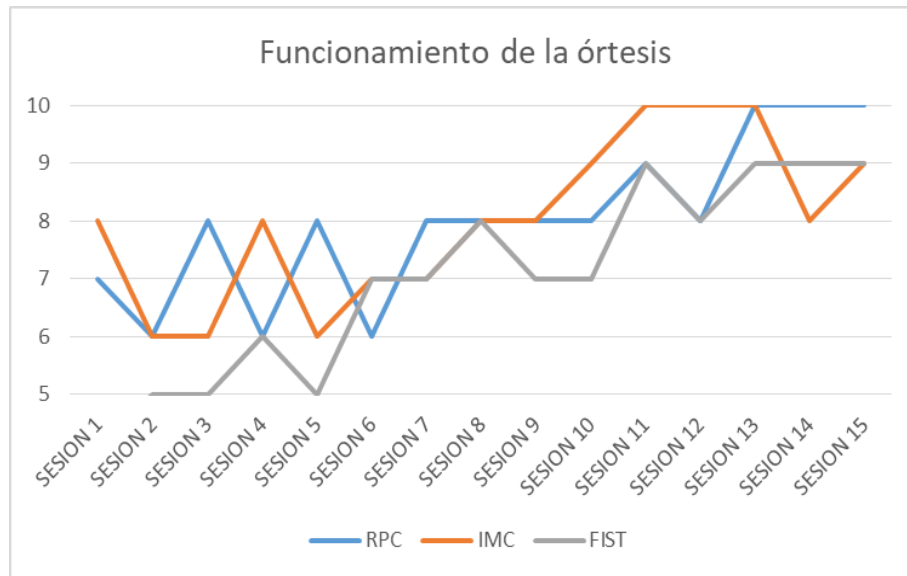
## Funcionamiento de órtesis sin sujeto de prueba

| Nivel           | Gesto | Correcto<br>Funcionamiento |
|-----------------|-------|----------------------------|
| <b>Inicial</b>  | IMC   | 8/10                       |
|                 | RPC   | 7/10                       |
|                 | FIST  | 7/10                       |
| <b>Medio</b>    | IMC   | 9/10                       |
|                 | RPC   | 7/10                       |
|                 | FIST  | 8/10                       |
| <b>Avanzado</b> | IMC   | 8/10                       |
|                 | RPC   | 8/10                       |
|                 | FIST  | 7/10                       |



## Funcionamiento de órtesis con sujeto de prueba

|      | SESION 1           | SESION 2 | SESION 3 | SESION 4 | SESION 5 | SESION 6         | SESION 7 | SESION 8 | SESION 9 | SESION 10 | SESION 11           | SESION 12 | SESION 13 | SESION 14 | SESION 15 |
|------|--------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      | 1 Semana (Inicial) |          |          |          |          | 2 Semana (Medio) |          |          |          |           | 3 Semana (Avanzado) |           |           |           |           |
| RPC  | 7                  | 6        | 8        | 6        | 8        | 6                | 8        | 8        | 8        | 8         | 9                   | 8         | 10        | 10        | 10        |
| IMC  | 8                  | 6        | 6        | 8        | 6        | 7                | 7        | 8        | 8        | 9         | 10                  | 10        | 10        | 8         | 9         |
| FIST | 4                  | 5        | 5        | 6        | 5        | 7                | 7        | 8        | 7        | 7         | 9                   | 8         | 9         | 9         | 9         |

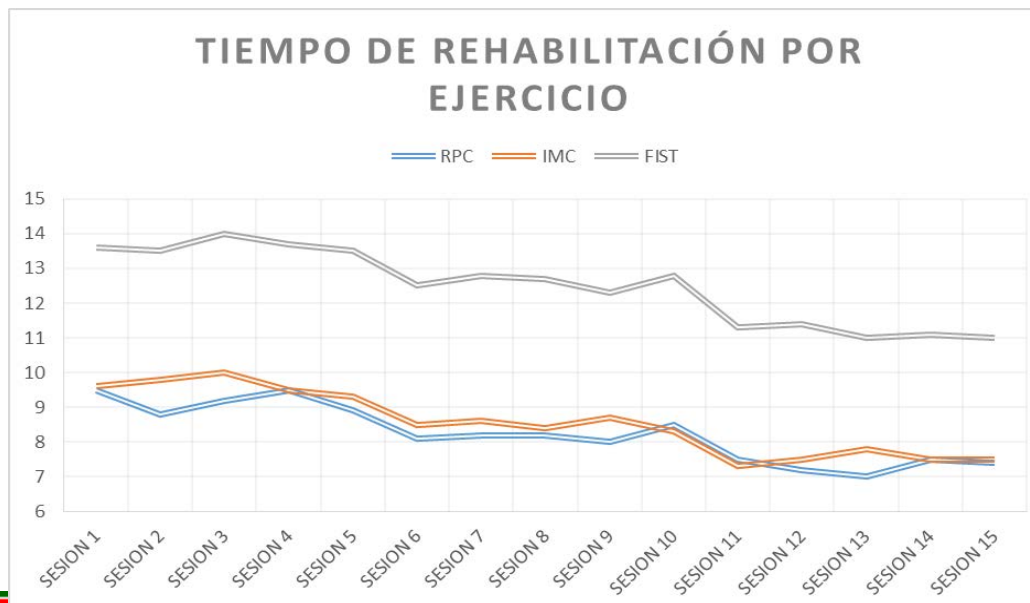






## Tiempo de rehabilitación por ejercicio

|      | SESION 1           | SESION 2 | SESION 3 | SESION 4 | SESION 5 | SESION 6         | SESION 7 | SESION 8 | SESION 9 | SESION 10 | SESION 11           | SESION 12 | SESION 13 | SESION 14 | SESION 15 |
|------|--------------------|----------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|----------|-----------|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|      | 1 Semana (Inicial) |          |          |          |          | 2 Semana (Medio) |          |          |          |           | 3 Semana (Avanzado) |           |           |           |           |
| RPC  | 9,5                | 8,8      | 9,2      | 9,5      | 8,9      | 8,1              | 8,2      | 8,2      | 8        | 8,5       | 7,5                 | 7,2       | 7,0       | 7,5       | 7,4       |
| IMC  | 9,6                | 9,8      | 10       | 9,5      | 9,3      | 8,5              | 8,6      | 8,4      | 8,7      | 8,3       | 7,3                 | 7,5       | 7,8       | 7,5       | 7,5       |
| FIST | 13,6               | 13,5     | 14,0     | 13,7     | 13,5     | 12,5             | 12,8     | 12,7     | 12,3     | 12,8      | 11,3                | 11,4      | 11,0      | 11,1      | 11,0      |





## Validación de la hipótesis

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

| N° | Nivel    | Gesto | Cumple | No cumple | # de pruebas |
|----|----------|-------|--------|-----------|--------------|
| 1  | Inicial  | IMC   | 6      | 4         | 10           |
| 2  |          | RPC   | 8      | 2         | 10           |
| 3  |          | FIST  | 5      | 5         | 10           |
| 4  | Medio    | IMC   | 9      | 1         | 10           |
| 5  |          | RPC   | 8      | 2         | 10           |
| 6  |          | FIST  | 7      | 3         | 10           |
| 7  | Avanzado | IMC   | 9      | 1         | 10           |
| 8  |          | RPC   | 10     | 0         | 10           |
| 9  |          | FIST  | 9      | 1         | 10           |
|    |          | Total | 71     | 19        | 90           |

Donde  $\lambda^2$  es el Chi cuadrado,  $O_i$  es la Frecuencia absoluta observada y  $E_i$  es la Frecuencia esperada.

$$\lambda^2 = 12,546$$





# CONCLUSIONES

- Al día de hoy en el país existen tres tipos de materiales que se pueden imprimir en 3D y brindan flexibilidad, los mismos que se caracterizaron a través de ensayos de tracción. Los resultados permitieron determinar que el material SemiFlex es el que presta mejores características, con una resistencia a la tracción de 20,33 [MPa], y un módulo de elasticidad de 4,94 [MPa].
- La caracterización de materiales flexibles impresos en 3D, fue necesaria en virtud de que al compararlas con las características que ofrece el filamento antes de ser impreso existen variaciones representativas, debidas a la dirección de deposición del material al momento de imprimir y al porcentaje de relleno que se utilice para la impresión, el tiempo y costo de la impresión estarán sujetos a estos dos factores.
- Para el diseño se utilizó medidas antropométricas de la mano para proporcionar la comodidad requerida por el usuario, pero a causa de la diferencia de dimensiones de la mano entre las personas, se implementó en el diseño, el intercambio de uno o todos los dedos a fin de que el uso de la órtesis pueda ser apta para varias personas. De la misma manera en el diseño de los dedos se toma en cuenta que el tensor debe permitir realizar movimientos de flexión y extensión para los ejercicios de rehabilitación.





# CONCLUSIONES

- En cuando a la implementación del diseño electrónico, se generó un sistema en lazo cerrado a fin de proporcionar asistencia al paciente, para ejecutar diferentes tipos de movimientos asociados a ejercicios de rehabilitación motriz.
- Para facilitar la usabilidad de la órtesis de mano, se creó una interfaz de usuario que permite al paciente visualizar los movimientos a ejecutar y sus avances de rehabilitación, logrando además interacción y confianza entre paciente y terapeuta.
- Los ejercicios de recuperación muscular fueron elegidos en función de una sesión de rehabilitación del fisioterapeuta Carlos López Cuba (Carlos López Cubas, 2015), además se tomó en cuenta el artículo de MAPS Therapy en el que se hablaba de 15 sesiones y 3 niveles diferentes para mejorar la motricidad, dichas sesiones fueron utilizadas para comprobar la funcionalidad de la órtesis. Se debe tomar en cuenta que el número de sesiones y repeticiones dependerá de la gravedad de la lesión que posea el paciente y sólo el fisioterapeuta decidirá ese valor.



## RECOMENDACIONES

- Durante el diseño de piezas que sean impresas, es necesario tomar en cuenta que las impresiones se pueden realizar en diferentes direcciones, pero cada una ofrece distintas características y mayor o menor facilidad de impresión, siendo necesario o no, el uso de material de apoyo o a su vez soportes que permitan imprimir correctamente el sólido que se requiere.
- Adquirir más experiencia en la impresión de materiales flexibles, en cuanto a los parámetros de cada material como temperatura de fusión y velocidad de deposición del filamento.
- Es preciso el uso de medidas antropométricas en el diseño de prototipo de órtesis funcional para brindar la comodidad y ergonomía necesaria.
- Para trabajos futuros, implementar otros mecanismos que permitan ejecutar movimientos de diferentes terapias de rehabilitación.





Gracias

