



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



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

**TRABAJO DE UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EXOESQUELETO PARA TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DE LA
MANO AFECTADA CON SÍNDROME DEL RATÓN, USANDO SISTEMAS ELECTRO-MECÁNICOS Y/O
ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA: CASO PRÁCTICO SÍNDROME DEL TÚNEL CARPIANO”**

AUTORES

**CHUQUITARCO ABATA, OMAR SANTIAGO
YAUTIBUG CALDERÓN, DANIEL ALEXANDER**

DIRECTOR

**ING. GUERRA CRUZ, LUIS ALBERTO., MSC
LATACUNGA 2024**

FECHA ÚLTIMA REVISIÓN: 09/10/13

CÓDIGO: SGC.DI.260

VERSIÓN: 1.1



“De vez en cuando, una nueva tecnología, un antiguo problema y una gran idea se convierten en una innovación”

Dean Kamen



CONTENIDO

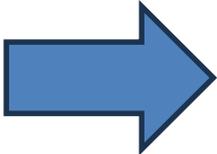
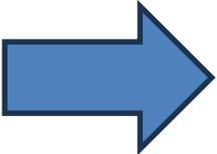


CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



ANTECEDENTES



FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿QUÉ SE BUSCA?

Recuperación a través de terapias asistida a pacientes con problemas de movilidad.



ENFOQUE

A lo largo del tiempo la medicina ha avanzado en las formas de dar rehabilitación, incluyendo dispositivos electrónicos, electromecánico, que ayuden a realizar tareas de recuperación que permitan tener mejores resultados.



PROBLEMA - CAUSA

Actualmente el síndrome del Túnel Carpiano se ve presente por factores relacionados con el estilo de vida moderno, enfermedades y las condiciones laborales, lo cual hace más común que las personas sufran de esta patología.



PROBLEMA - EFECTO

El síndrome provoca dolor, entumecimiento, hormigueo debilidad muscular y en casos graves alteraciones en la sensibilidad táctil en la mano y dedos, lo que afectara las tareas cotidianas de una persona.



PROPUESTA SOLUCIÓN

Se plantea el diseño y construcción de un exoesqueleto para mano, aplicando sistemas mecatrónicos que actúen en conjunto con la fisioterapia.



PROYECTO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EXOESQUELETO PARA TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DE LA MANO AFECTADA CON EL TÚNEL CARPIANO



JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El tratamiento de la zona afectada (síndrome del túnel carpiano) mediante el conjunto de sistemas como: electroestimuladores, accionamiento de calor y rehabilitación motriz, innovara en el área de la mecatrónica con la fisioterapia

Generará un mejor estilo de vida del paciente, al reducir el dolor y lograr un fortalecimiento de la zona afectada, haciendo que el paciente mejore su función motriz, lo cual podremos visualizar mediante electromiogramas generados por un sensor muscular



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un exoesqueleto para terapias de rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón, usando sistemas electro-mecánicos y/o estimulación eléctrica: Caso Práctico Síndrome del Túnel Carpiano

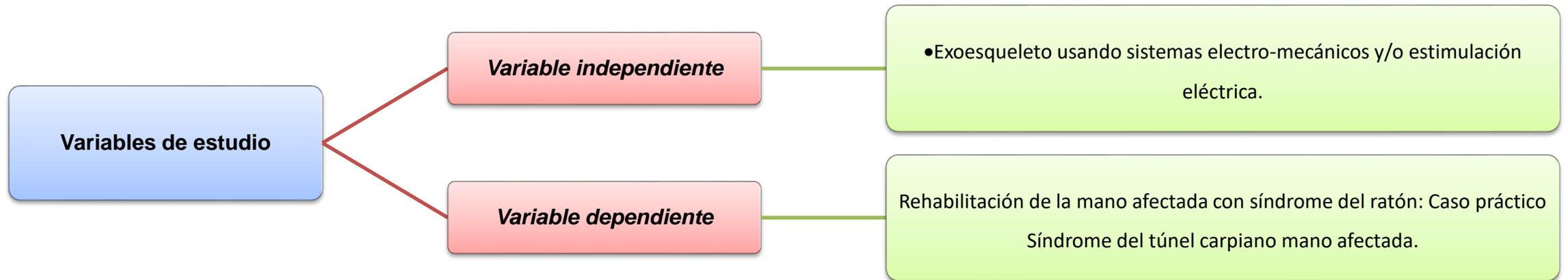
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar el estado del arte
- Diseñar el modelo del exoesqueleto de la mano; uso de software especializado
- Construir y configurar el sistema de control del exoesqueleto de la mano
- Verificar y validar el funcionamiento del exoesqueleto

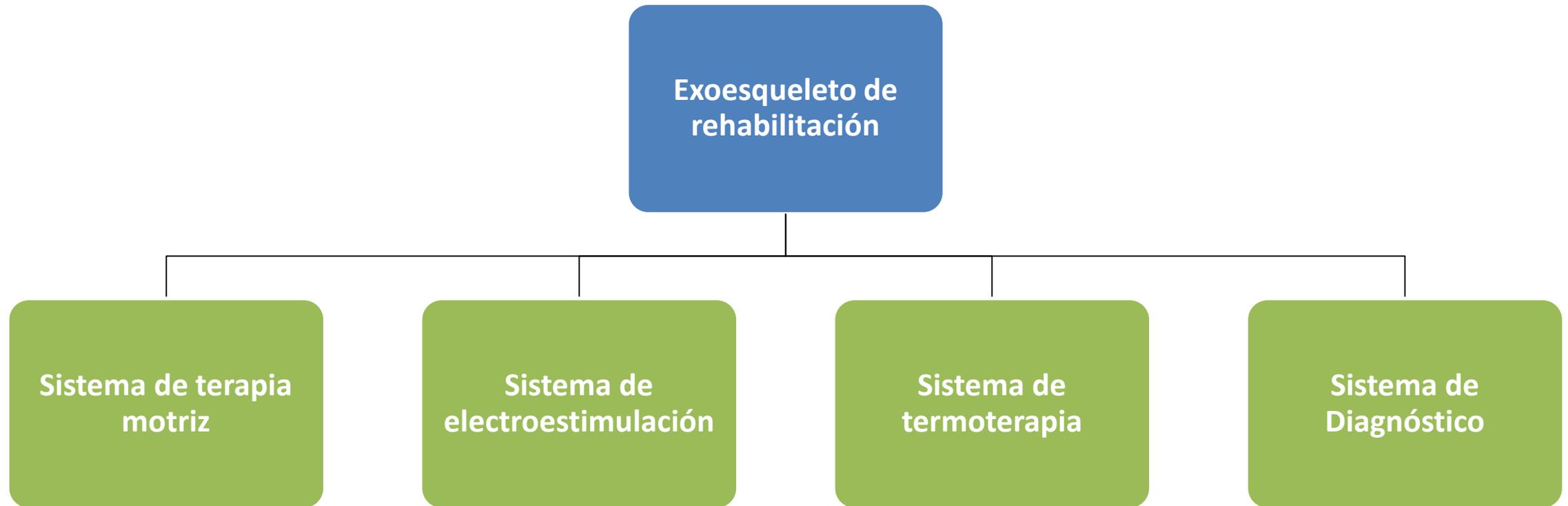


HIPÓTESIS

¿El diseño y construcción de un exoesqueleto usando sistemas electro-mecánicos y/o estimulación eléctrica, permitirá la rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón: Caso práctico Síndrome del túnel carpiano mano afectada?



DELIMITACIÓN O ALCANCE



CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA



Síndrome Túnel carpiano

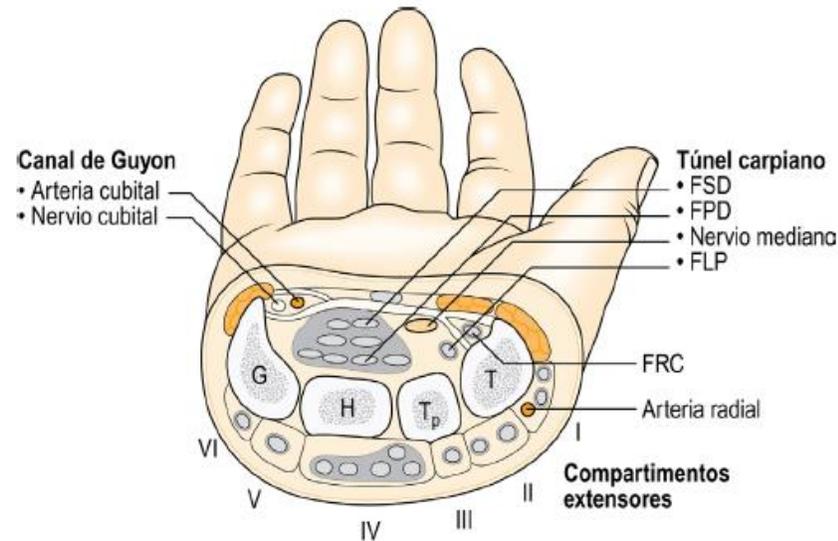
Se define como el conjunto de síntomas y signos causados por la compresión del nervio mediano en la muñeca

Uso excesivo de la mano o la muñeca

Lesiones o traumatismos

Condiciones médicas subyacentes

Factores genéticos



Dolor y sensación de hormigueo

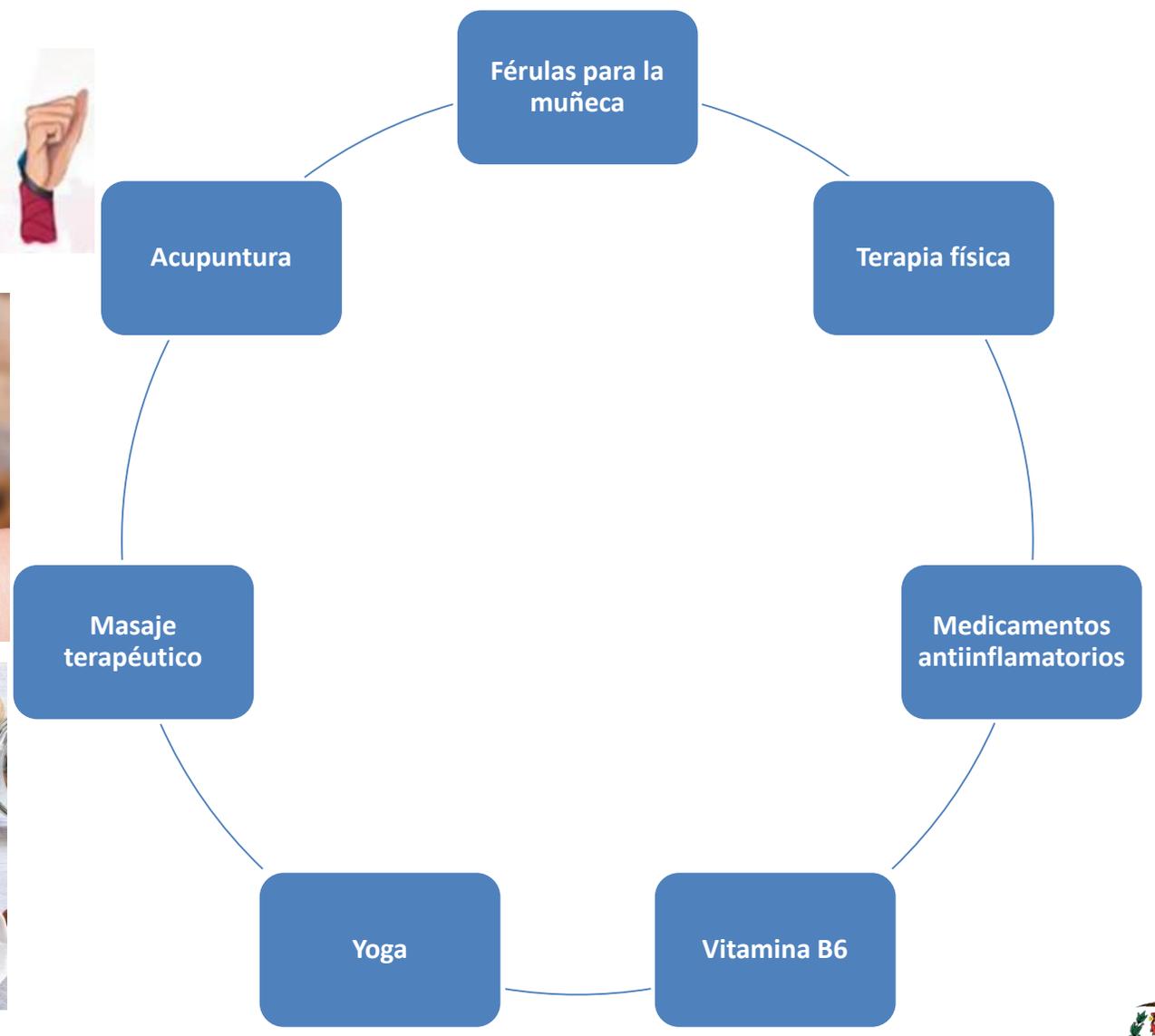
Entumecimiento

Debilidad muscular

Dolor que irradia hacia el brazo o el hombro



Tratamiento no quirúrgico del síndrome del túnel carpiano



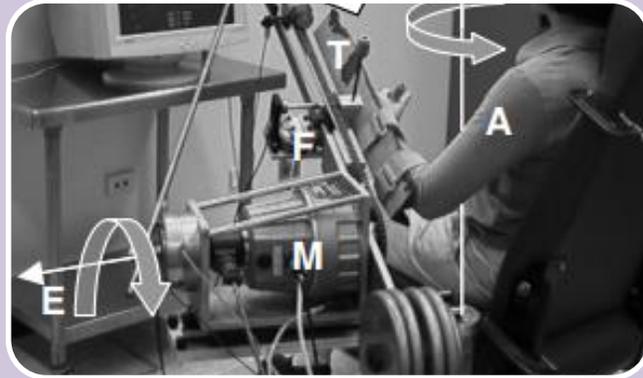
Electroestimulación

La estimulación eléctrica crea artificialmente un estímulo para activar los músculos, imitando las condiciones fisiológicas de la contracción voluntaria, lo que ayuda a que el músculo se contraiga con mayor intensidad y fuerza

Frecuencia	Efectos
1Hz-10Hz	Relajación muscular/anestésico y favorece la circulación Mejora resistencia aeróbica
10Hz-20Hz	Mejora resistencia aeróbica muscular y la capacidad oxidativa muscular
20 Hz-50 Hz	Mejora tono, la definición y de firmeza muscular
40 Hz-70Hz	Mejora capacidad láctica del músculo e incrementa el volumen muscular, fuerza y resistencia
70 Hz-120Hz	Mejora fuerza máxima
90 Hz-150Hz	Mejora fuerza explosiva, elástica y reactiva



Exoesqueletos para manos



ARM Guide (Assisted Rehabilitation and Measurement Guide)

- Medición de la rigidez de la extremidad
- Alcance
- Velocidad de apoyo
- Diferentes ángulos de inclinación y rotación



Sistema MIME

- 6 grados de libertad
- 4 modos de movimiento asistido
- Torsión articular
- Flexión y extensión del codo
- Flexión y extensión del hombro
- Rotación interna y externa del hombro



Wrist Gimbal

- 3 grados de libertad
- rehabilitación del antebrazo y muñeca
- Pronación y supinación
- Flexión y extensión
- Aducción y abducción



Electroterapia

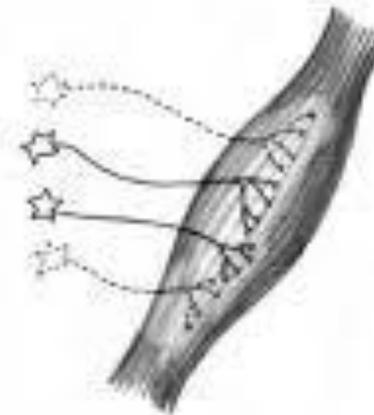
- Aunque las contracciones musculares estimuladas eléctricamente no son exactamente lo mismo que las contracciones fisiológicas, ambas pueden fortalecer los músculos, mejorar la resistencia muscular y la salud cardiovascular, retrasar o prevenir la atrofia muscular

Músculo inervado

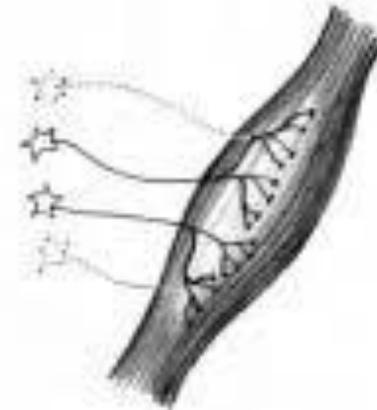
- Cuando los potenciales de acción (PA) se propagan a lo largo de los nervios motores, las fibras musculares inervadas por estos nervios se despolarizan y contraen

Músculo denervado

- Cuando un músculo es denervado por una lesión o una enfermedad, ya no se contrae fisiológicamente, y no se puede producir una contracción con el estímulo eléctrico habitual



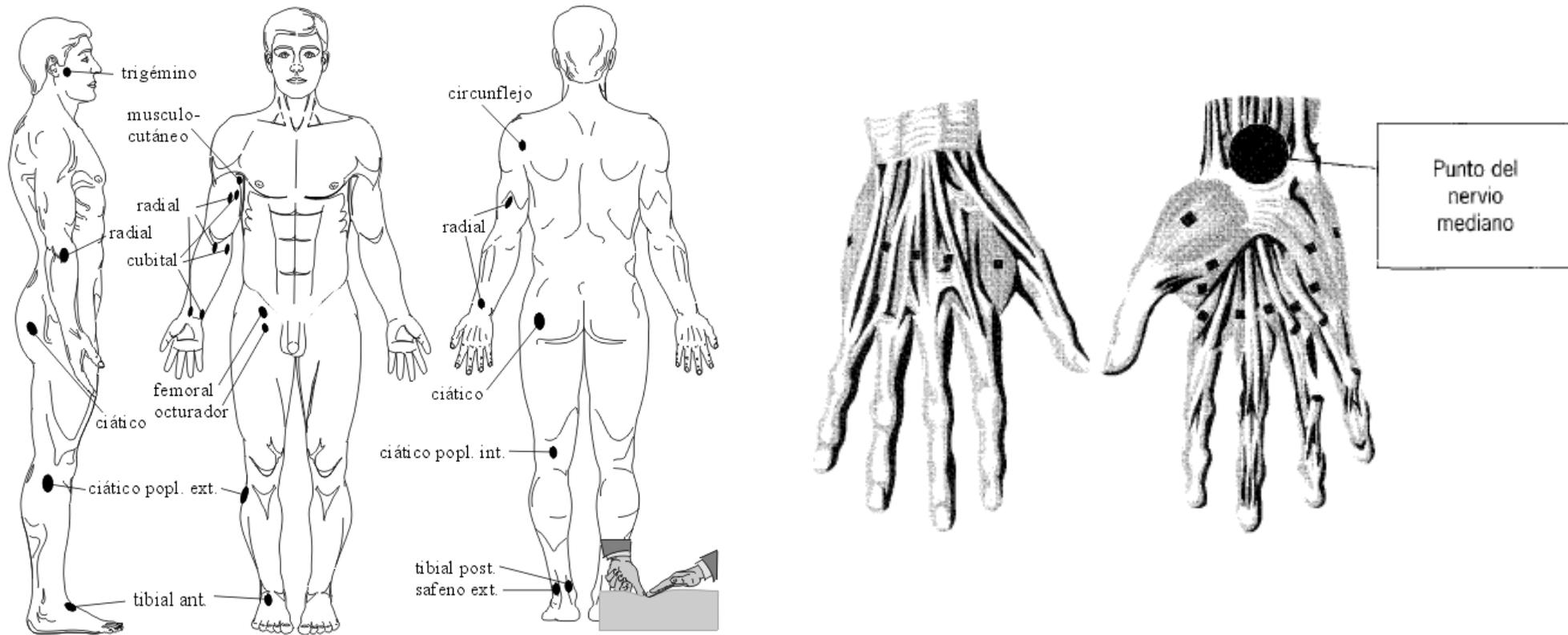
Músculo inervado



Músculo denervado

Puntos motores

Se trata de zonas específicas del cuerpo humano donde los nervios motores que controlan los músculos conectan con los músculos. Estos puntos son esenciales para el correcto movimiento y funcionamiento de los músculos.



Fortalecimiento y coordinación muscular

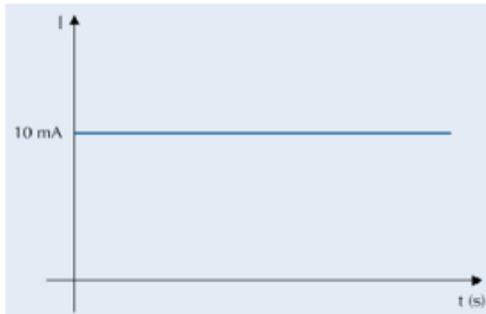
Los parámetros de estimulación eléctrica se caracterizan por las frecuencias del pulso, tiempo de tratamiento, estos varían por el tipo de tratamiento debido a que utiliza corrientes eléctricas para estimular músculos y producir efectos terapéuticos

Tratamiento	Frecuencia del pulso	Duración del pulso	Tiempos de encendido y apagado	Tiempo de tratamiento	Veces al día
Fortalecimiento	35-80 pps	125-200 us	Tiempo encendido 6-10s Tiempo apagado 50-120s	10-20 min	Cada 2-3 h
Reeducación	35-50 pps	125-200 us	Depende actividad funcional	Depende actividad funcional	NA
Disminución del espasmo	35-50 pps	125-200 us	Tiempo encendido y apagado 2-5s	10-30 min	Cada 2-3 h
Disminución del edema	35-50 pps	125-200 us	Tiempo encendido y apagado 2-5s	30 min	Dos veces al día

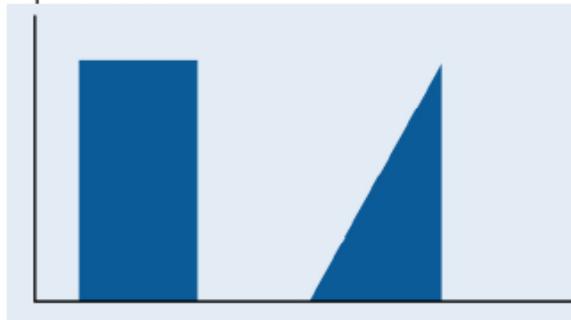


Corrientes y frecuencias usadas para electroterapia

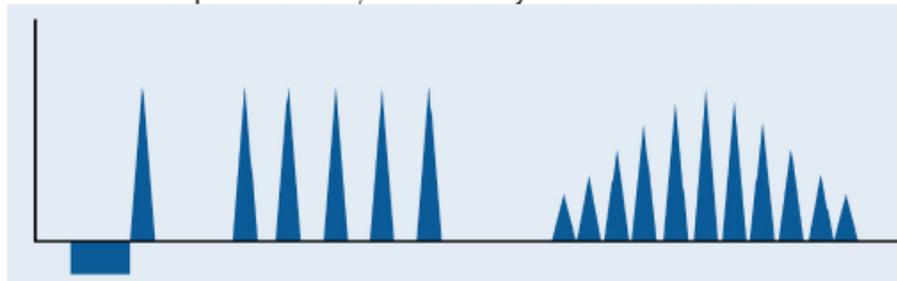
Corriente continua directa



Impulsos rectangulares, triangulares o exponenciales



Impulso farádico, neofarádico y trenes neofarádico



Baja frecuencia	Media frecuencia	Alta frecuencia
Comprendidas entre 1 y 500 Hz.	Comprendidas entre 1.000 y 10.000 Hz.	Comprendidas entre 100.000 Hz y 3.000 MHz.
-Corriente pulsátil rectangular monofásica.	Corrientes interferenciales moduladas con una frecuencia de onda portadora de 2.000 a 10.000 Hz,	Terapéutica por medio de ondas cortas.
-Corriente pulsátil triangular monofásica.	Corrientes alternas interrumpidas no moduladas, de frecuencia media de 2.500 Hz, denominadas estimulación rusa o corrientes de Kots..	Terapéutica por ondas ultracortas o decimétricas
-Corriente pulsátil rectangular o neofaradica simple.		Terapéutica por microondas o radar
-Corrientes neofaradicas en forma de trenes.		
-Corrientes ultraexcitantes		
-Corrientes diadinámicas.		



Precauciones, riesgos en electroterapia

Contradicciones o precauciones de los agentes electrofísicos en electroterapia	
Embarazo	Se dice que la contraindicación es aplicada si la electroestimulación es sobre el abdomen de la madre embarazada. Es un error, la mayoría de los procedimientos de electroterapia se producen de forma sistémica y no local.
Cáncer	Es necesario hacer un buen análisis de la enfermedad y del sujeto, así como del agente electrofísico que se va a aplicar, para determinar su idoneidad
Implantes metálicos y dispositivos electrónicos	En general, los dispositivos electrónicos, como los marcapasos, etc., se ven muy influenciados ante algunos agentes electrofísicos, como las corrientes de alta frecuencia.
Alteración de la sensibilidad	La no colaboración del sujeto o la alteración de la sensibilidad de este puede contraindicar el empleo de determinados agentes físicos. Una circunstancia especial en cuanto a la alteración de la sensibilidad de los pacientes la establece la medicación que se le administra a los mismos
Disfunción mental	En estados de falta de control mental o enfermedades neurológicas, puede estar contraindicado el uso de agentes electrofísicos. Un ejemplo clásico es la epilepsia en el empleo de corrientes eléctricas.



Termoterapia efectos fisiológicos

Desde un punto de vista fisiológico, se considera temperatura neutra aquella que es aceptable para el organismo. Suele oscilar entre 33-35°C en el agua y 22°C en el aire. Por otro lado, para que se considere que un agente físico proporciona calor, su temperatura debe ser superior a la del organismo humano, que puede aumentar hasta el límite de tolerancia de la piel, que es de unos 45,5°C.



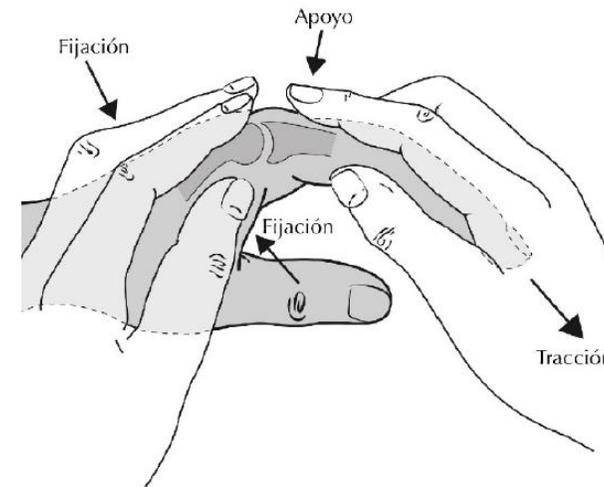
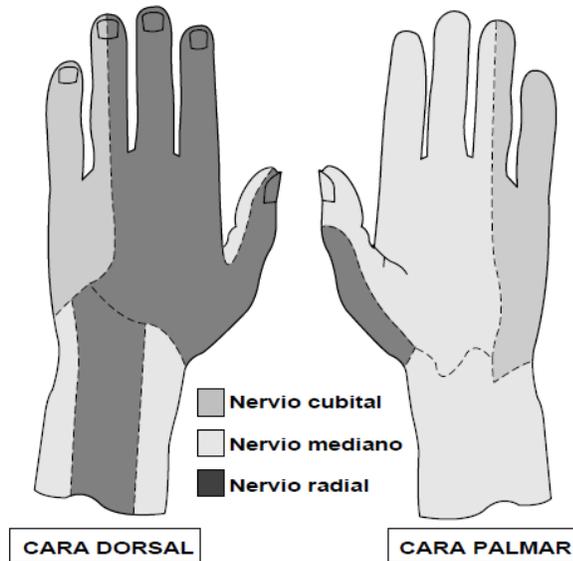
Rehabilitación motriz

La mano

La mano es la parte del cuerpo que se lesiona con más frecuencia. Más del 10% de todos los pacientes examinados en los servicios de urgencias son tratados por lesiones agudas de la mano. El 40% de las lesiones de la mano se producen en accidentes laborales dependiendo del nervio.

Tracción muscular

La tracción es realizada manualmente por un fisioterapeuta, consiste en decoaptar la articulación mediante tracción. Suele ir acompañada de una movilización suave de corta duración aplicada a la articulación. Estos efectos pueden ser temporales o transitorios en función de la naturaleza de la patología del paciente.



Contraindicaciones de las tracciones articulares

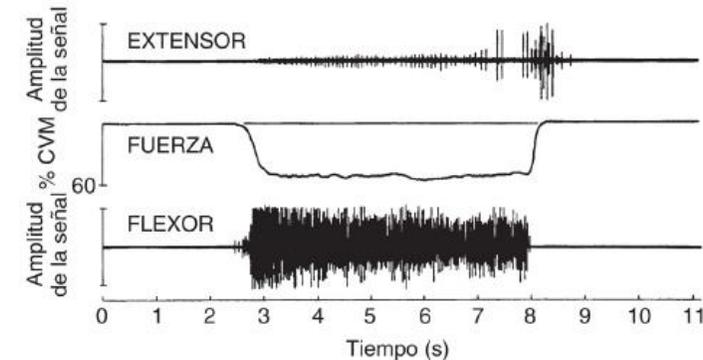
- Procesos inflamatorios agudos articulares.
- Procesos infecciosos.
- Reacciones inflamatorias de la sinovia con o sin derrame articular.
- Anquilosis.
- Hiperlaxitud articular.
- Lesiones agudas de partes blandas.
- Fracturas sin consolidar.
- Luxaciones y subluxaciones salvo que se realice como indicación terapéutica para su reducción.
- Sospecha de procesos tumorales cercanos a la zona que se quiere tratar.



Electromiografía (EMG)

Electromiografía (EMG), permite reflejar y detectar la actividad eléctrica de los músculos mediante electrodos de superficie o de aguja fina. Durante la activación muscular neurogénica, el resultado del registro mostrará desviaciones de la línea recta isoelectrica. El número y el tamaño de las desviaciones (picos y valles) indican la cantidad de tejido eléctricamente activo durante la contracción

Electromiograma normal	Anomalías electromiográficas
Un músculo normal en reposo es eléctricamente silencioso. Cuando se contrae voluntariamente, surgen crecimientos de acción muscular que a medida que aumenta la fuerza de la contracción	Actividad espontánea durante la relajación completa. Las unidades motoras emiten descargas espontáneas, lo que se manifiesta por fibrilaciones. Este fenómeno se produce en los músculos denervados y en algunas polimiositis



Sistema de gradación muscular

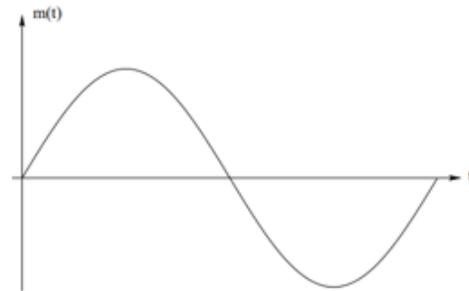
Grado	Descripción	Escala de Daniels
5	Normal	Capacidad para conseguir toda la amplitud de movimiento o de mantener la posición final de amplitud de movimiento contra una resistencia máxima.
4	Bueno	Capacidad de efectuar toda la amplitud de movimiento contra la gravedad, pero es incapaz de mantener la posición de prueba contra resistencia máxima.
3	Regular	Capacidad de realizar toda la amplitud de movimiento solo contra la resistencia de la gravedad.
2	Deficiente	Capacidad de realizar toda la amplitud de movimiento en una posición que disminuye al mínimo la fuerza de la gravedad.
1	Vestigios de actividad	Desplazamiento o tensado del tendón cuando el paciente intenta realizar el movimiento.
0	Nulo (Sin actividad)	El músculo es completamente inerte a la palpación o a la inspección visual.



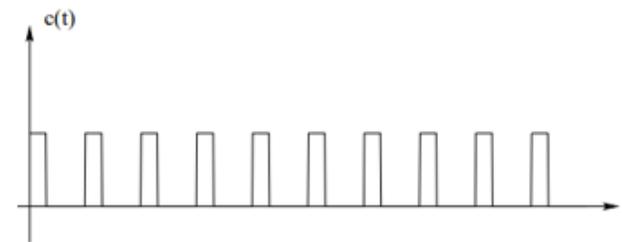
Modulación de pulsos en amplitud (PAM)

La modulación de amplitud de pulsos (PAM) es un término utilizado para describir la conversión de señales analógicas en señales de pulsos donde la amplitud del pulso denota la información analógica, la amplitud de pulsos rectangulares uniformemente distribuidos es proporcional al valor instantáneo de las muestras de una señal continua

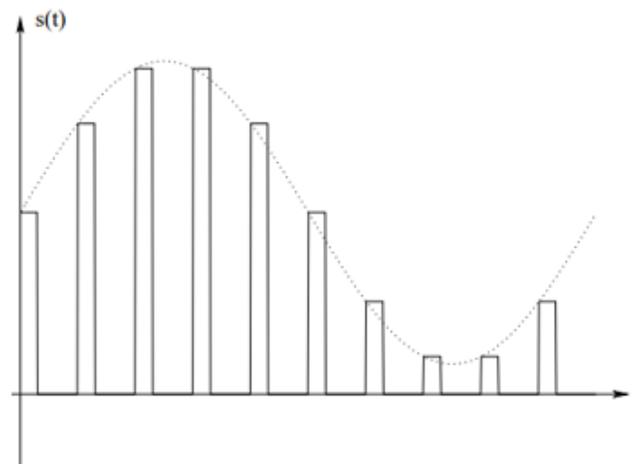
Señal Moduladora



Señal portadora utilizada en PAM



Señal PAM

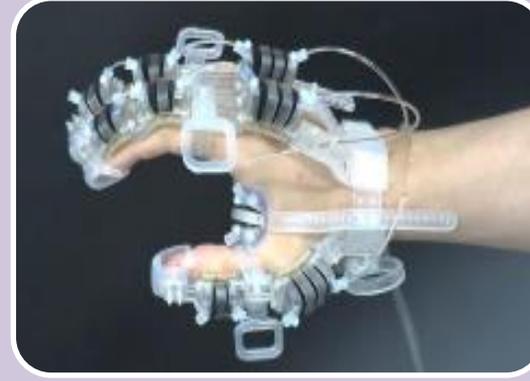


Mecanismos de rehabilitación de manos



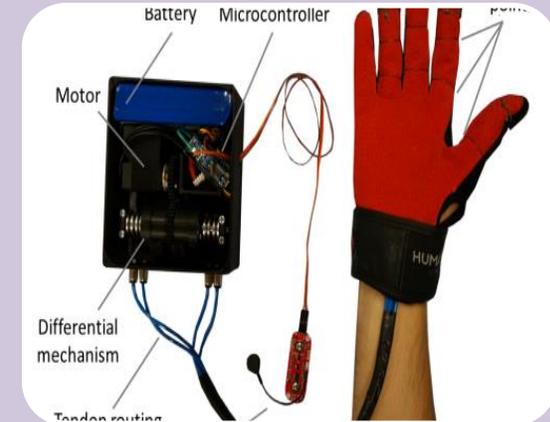
Guante robótico blando controlado por EMG

Integra una caja de control donde están todos los componentes electrohidráulicos, electrohidráulicos necesarios, como la bomba de fluidos, las válvulas microcontrolador y dos sensores de electromiografía de superficie (sEMG) (Myomo Inc., Boston, MA) para reconocer la intención del usuario



Exo-Glove PM

Se compone de pequeños módulos actuadores neumáticos. El uso de módulos pequeños tiene dos objetivos principales: la personalización a bajo coste y la facilidad de reparación, utiliza un diseño extensible y material elástico que le permite ajustarse a varios tamaños de mano



Exo-Guante accionado por tendón.

Las manos robóticas que emplean diferenciales basados en el mecanismo whiffletree para operar múltiples dedos usando un único motor como es el Exo-Guante accionado por tendón

Reconocimiento de señales mediante el procesamiento sEMG

El principal inconveniente del reconocimiento de patrones EMG son los malos resultados del reconocimiento en condiciones de ruidos existentes, especialmente cuando la característica de frecuencia del ruido es aleatoria. Los principales tipos de ruido, artefactos e interferencias en la señal EMG registrada son ruido de electrodos, artefactos de movimiento de electrodos y cables, interferencias de líneas eléctricas de corriente alterna y otras fuentes de ruido, como el ruido de banda ancha de instrumentos electrónicos

Adquisición de datos electromiografía Integrada (IMG)

EMG integrada (IEMG) se calcula como la suma de los valores absolutos de la amplitud de la señal sEMG. Generalmente, IEMG se utiliza como índice de inicio para detectar la actividad muscular que solía oponerse al comando de control del dispositivo de control de asistencia. Está relacionado con el punto de activación de la secuencia de señales sEMG

$$IEMG = \sum_{n=1}^N |x_n|$$



Interpretación y presentación de señales EMG de factores humanos y ergonomía HMI de dispositivos médicos

Parámetros	Descripción
Examinar las condiciones ambientales	La pantalla del dispositivo debe ser legible en el rango de condiciones de iluminación previstas, debe adaptarse a una amplia variedad de condiciones de iluminación, desde habitaciones de pacientes con poca iluminación hasta plena luz solar.
Acomodar el rango de posturas de uso	Es esencial determinar las posiciones probables de los ojos de los usuarios en relación con la pantalla durante el uso. Las variaciones en la posición de los ojos podrían deberse a que un usuario cambia de postura (sentado o de pie).
Realizar pruebas de usabilidad	La opinión del usuario es fundamental para la selección y el diseño de pantallas, debido a que pueden proporcionar información tanto objetiva como subjetiva sobre la idoneidad de las pantallas candidatas
Calidad de imagen	La mayoría de los observadores pueden identificar una pantalla que tiene alta claridad, buena reproducción del color y otros factores que crean una "excelente imagen".
Características de la pantalla táctil	Las pantallas táctiles candidatas deben probarse con usuarios en los entornos de destino en condiciones de uso típicas (usando guantes de látex).



Conjunto de señales

Señales	Descripción
Señales EMG	Señales que detectan la actividad eléctrica del Músculo, evalúa el estado del Músculo, la fuerza muscular, la fatiga, entre otros.
Electroestimulación	Utilizado para el estímulo muscular, simulando la contracción voluntaria, ayudando a tonificar y fortalecer los músculos en las zonas aplicadas. Las señales más utilizadas son los impulsos rectangulares, triangulares o exponenciales.
Rehabilitación motriz	Proceso terapéutico diseñado para ayudar a las personas a mejorar la función motora. Permite al paciente aumentar su fuerza, coordinación, movilidad y funcionalidad física.
Termoterapia	Utilizado terapéuticamente para el alivio del dolor del síndrome del túnel carpiano, disminución del espasmo muscular, mejora la flexibilidad de los tejidos, relajación muscular, aumento del flujo sanguíneo en la zona aplicada



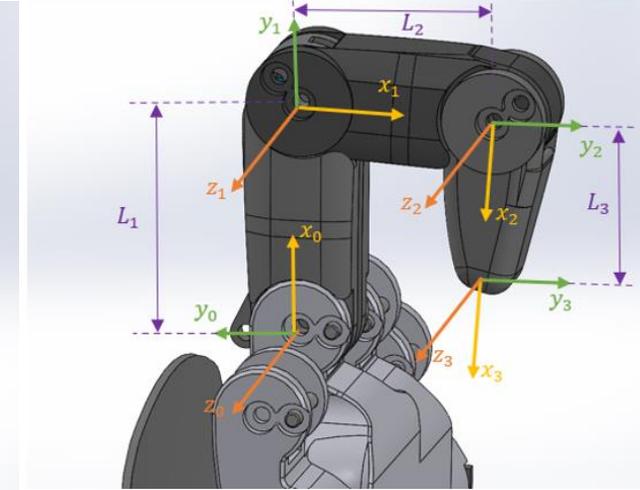
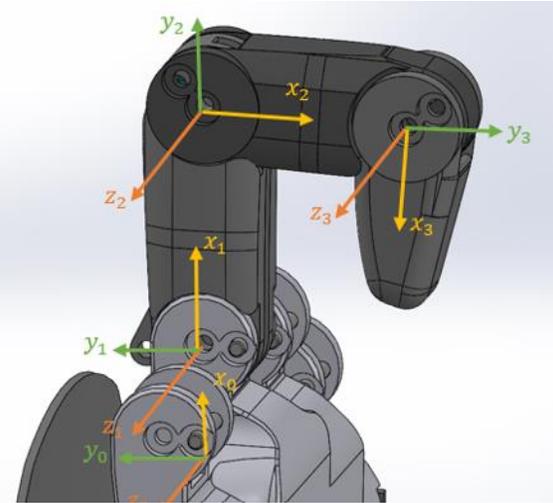
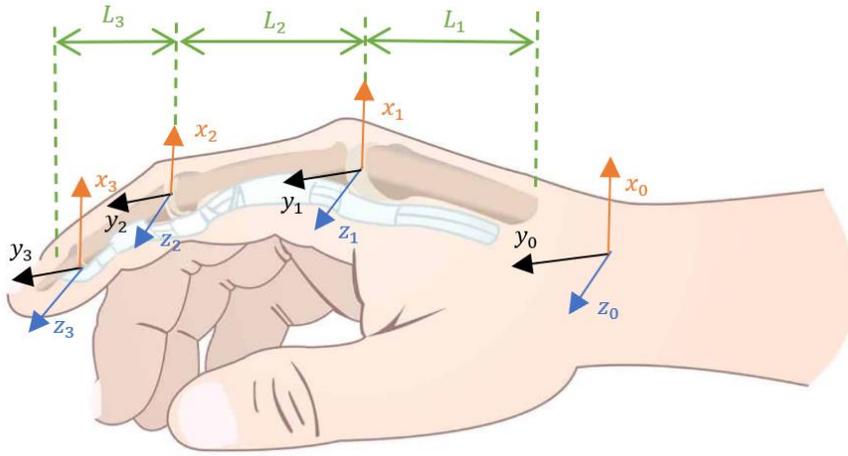
CAPÍTULO III

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN



Cinemática directa

Algoritmo de Denavit y Hartenberg (D-H)



$L_1 =$ Falange proximal

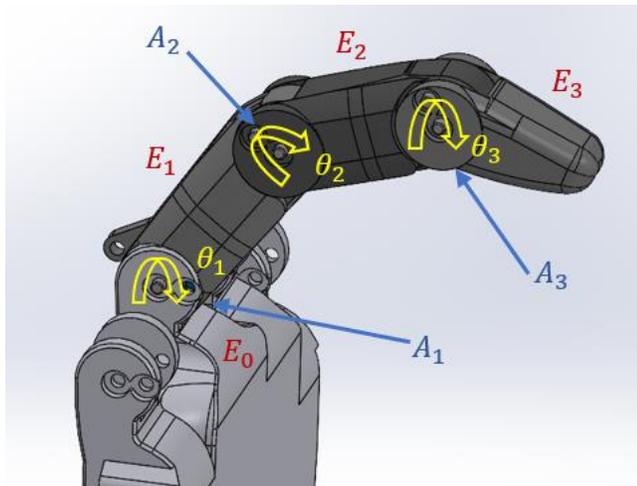
$L_2 =$ Falange media

$L_3 =$ Falange distal

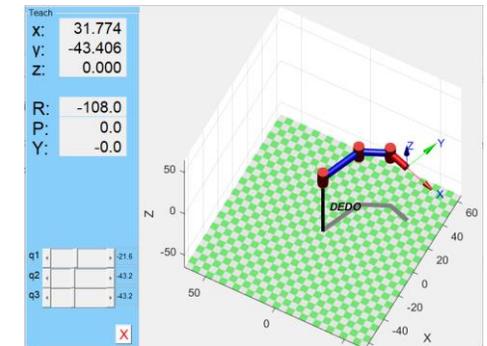
$E_i =$ Eslabones

$A_i =$ Articulaciones

$\theta_i =$ Ejes



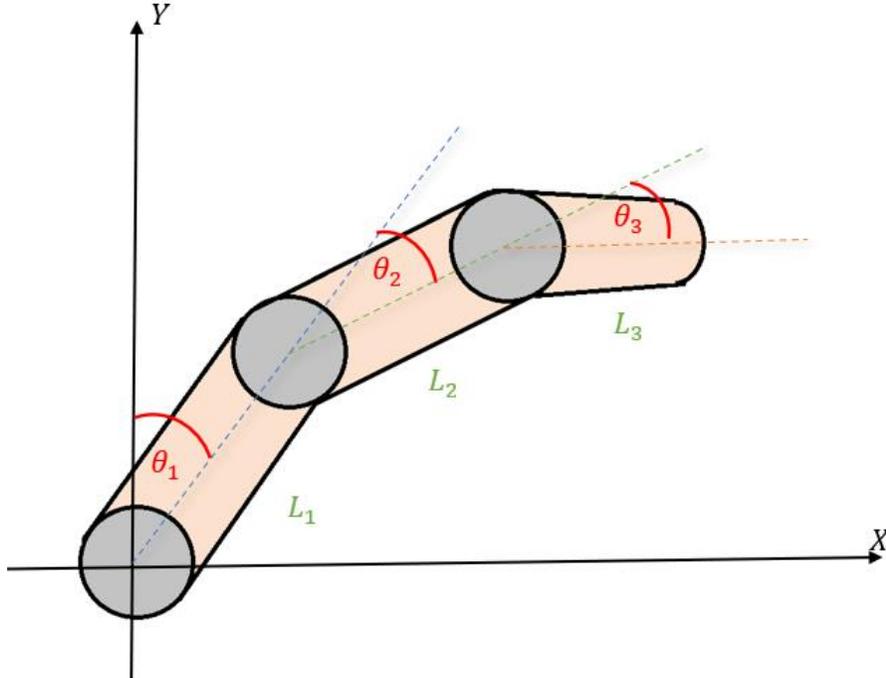
Articulación	θ	d	a	α
1	θ_1	0	L_1	0
2	θ_2	0	L_2	0
3	θ_3	0	L_3	0



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Modelo dinámico en base a la cinemática directa

Ángulos de flexión (θ_i) para los dedos de la mano



$$x = L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$$y = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + L_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$$

$\omega_i =$ Velocidad angular en $i = \dot{\theta}_i$

$$\omega_i = \frac{d\theta_i}{dt}$$

$v_i =$ Velocidad lineal en i

$$v_i = \dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2$$

$(K) =$ Energía Cinética

$$(K) = K_i = \frac{1}{2} \sum m_i v + L_i \omega_i^2$$

$$K = \frac{1}{2} (\dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3) \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \\ \dot{\theta}_3 \end{bmatrix}$$



$(p) = \text{Energia Potencial}$

$$(p) = p_i = \frac{1}{2} \sum_1^3 (m_i \cdot g \cdot y_i)$$

El Lagrangiano se obtiene de la ecuación donde L representa

$$L = K - P$$

Utilizando el método de Euler-Lagrange para los tres grados de libertad obtenemos que:

$$\frac{d}{dy} \left(\frac{\partial}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial}{\partial \theta_i} = \tau_i ; \quad i = 1 - 3$$

Una vez realizando las derivadas parciales obtenemos la ecuación para el torque final

$$\tau_i = (F_{iy}D_{cx} - F_{ix}D_{cy}) + \sum_{j=i}^3 [-L_i \text{sen} \theta_i \quad L_i \text{cos} \theta_i \quad 0] \begin{bmatrix} F_{jx} \text{cos} \varphi_i - F_{jy} \text{sen} \varphi_i \\ F_{jx} \text{sen} \varphi_i + F_{jy} \text{cos} \varphi_i \\ 0 \end{bmatrix}$$



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO



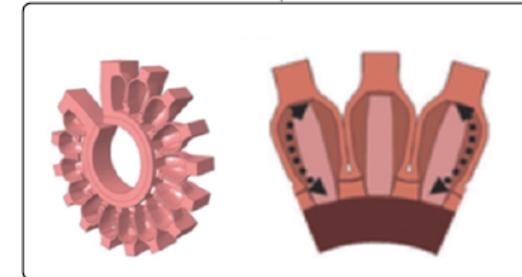
Robótica suave

Robótica suave: Su principal característica es la suavidad en la composición de su estructura, lo idóneo es que estos robots deben contar con materiales cuyo material tengan un módulo de elasticidad de un orden 10^2 a 10^6 Pa, es decir de 3 a 10 órdenes de magnitud menos rígidos que los robots convencionales



El mecanismo de un robot suave tiene la capacidad de interacción más fácil y se adecua mejor al entorno de trabajo, la mayoría de las aplicaciones con robótica suave están orientadas a la interacción directa y segura con los seres humanos

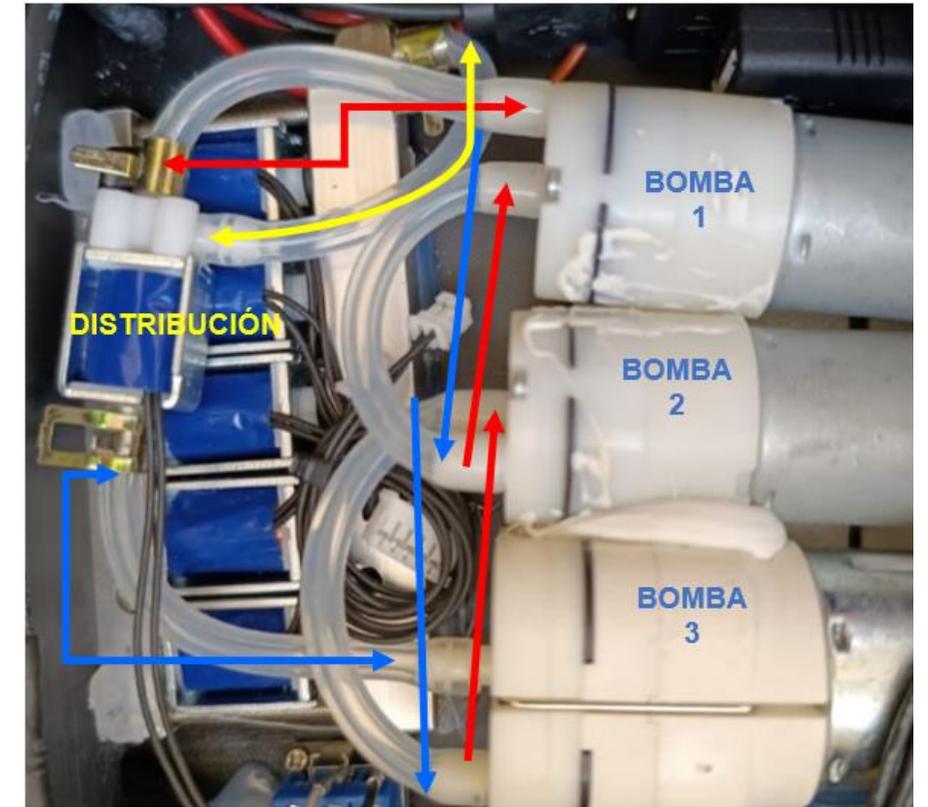
Actuadores de flexión PneuNets: Son formados por una serie de canales y cámaras dentro de un elastómero, cuando se presuriza un actuador se produce una expansión en las regiones más flexibles o las menos rígidas generando movimiento y de igual manera cuando se despresuriza el actuador se contrae



FACTOR	PESO	FÉRULA CONVENCIONAL		EXOESQUELETO CON ROBÓTICA SUAVE		EXOESQUELETO CON ESTRUCTURA RÍGIDA	
		CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.
REHABILITACIÓN	0,15	5,00	0,75	9,00	1,35	9,00	1,35
ELASTICIDAD	0,10	9,00	0,90	9,00	0,90	3,00	0,30
DISEÑO	0,20	5,00	1,00	8,00	1,60	7,00	1,40
ERGONOMIA	0,20	8,00	1,60	8,00	1,60	4,00	0,80
ADAPTABILIDAD	0,10	3,00	0,30	7,00	0,70	6,00	0,60
SEGURIDAD	0,15	4,00	0,60	6,00	0,90	5,00	0,75
COSTO	0,10	9,00	0,90	4,00	0,40	5,00	0,50
TOTAL	1,00		6,05		7,45		5,70



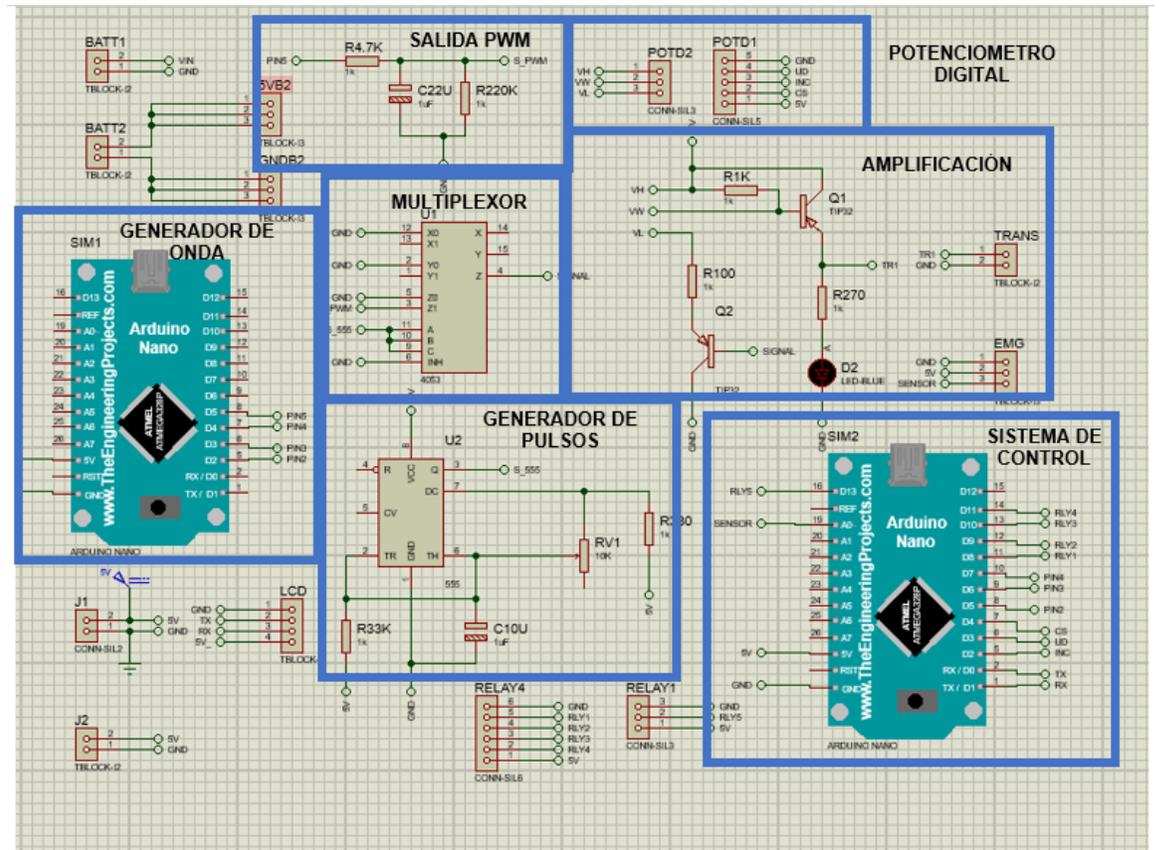
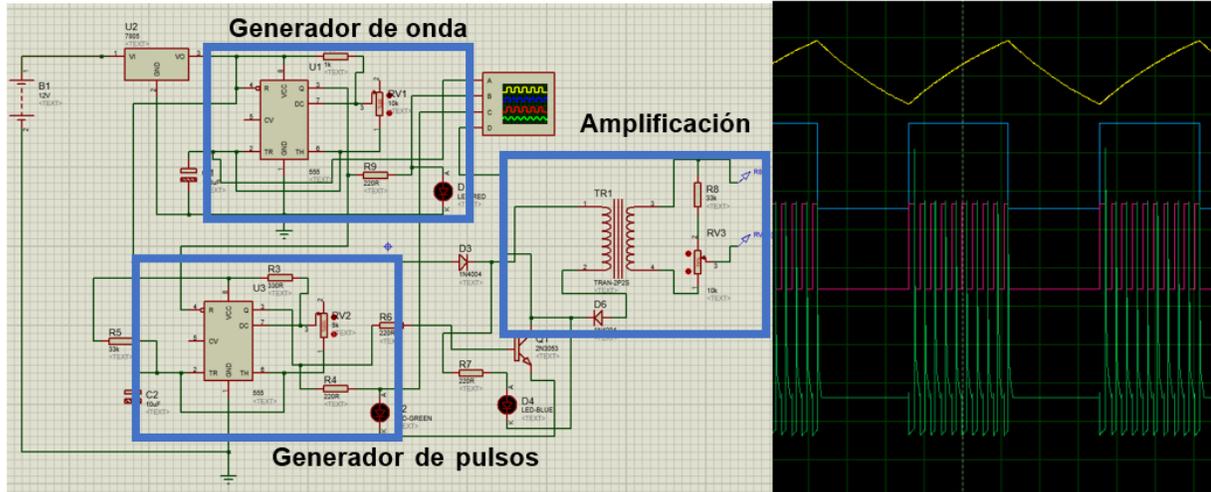
Exoesqueleto de mano con presión de aire



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO



Diseño del electro estimulador

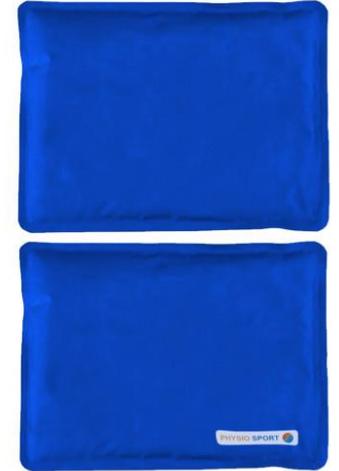
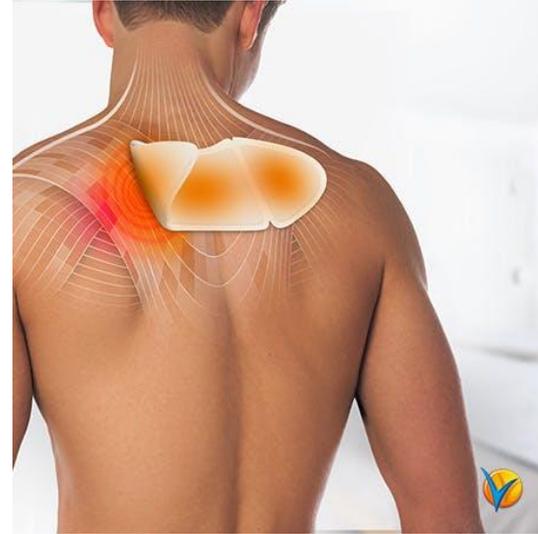


FACTOR	PESO	GENERADOR DE ONDAS		ARDUINO NANO		RASPBERY PI	
		CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.
FUNCIONALIDAD	0,25	6,00	1,50	8,00	2,00	8,00	2,00
ONDAS EMITIDAS	0,20	5,00	1,00	8,00	1,60	8,00	1,60
PROGRAMABILIDAD	0,30	3,00	0,90	8,00	2,40	7,00	2,10
FACILIDAD DE USO	0,10	6,00	0,60	9,00	0,90	7,00	0,70
COSTO	0,15	7,00	1,05	6,00	0,90	5,00	0,75
TOTAL	1,00		5,05		7,80		7,15



Integración de la termoterapia en el sistema

FACTOR	PESO	PARCHES		COMPRESAS		ALMOHADILLAS ELÉCTRICAS	
		CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.
DISTRIBUCIÓN UNIFORME DEL CALOR	0,10	8,00	0,80	8,00	0,80	8,00	0,80
TAMAÑO Y FORMA	0,30	5,00	1,50	4,00	1,20	5,00	1,50
FACILIDAD DE USO	0,25	7,00	1,75	7,00	1,75	8,00	2,00
MATERIAL REUTILIZABLE	0,20	5,00	1,00	6,00	1,20	7,00	1,40
COSTO	0,15	6,00	0,90	5,00	0,75	6,00	0,90
TOTAL	1,00		5,95		5,70		6,60



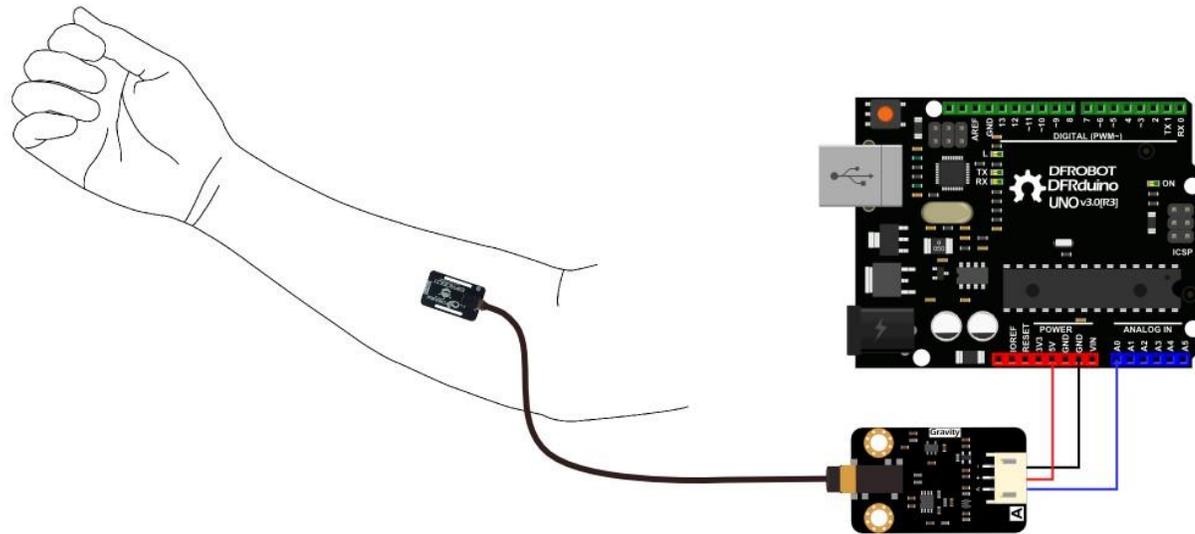
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL



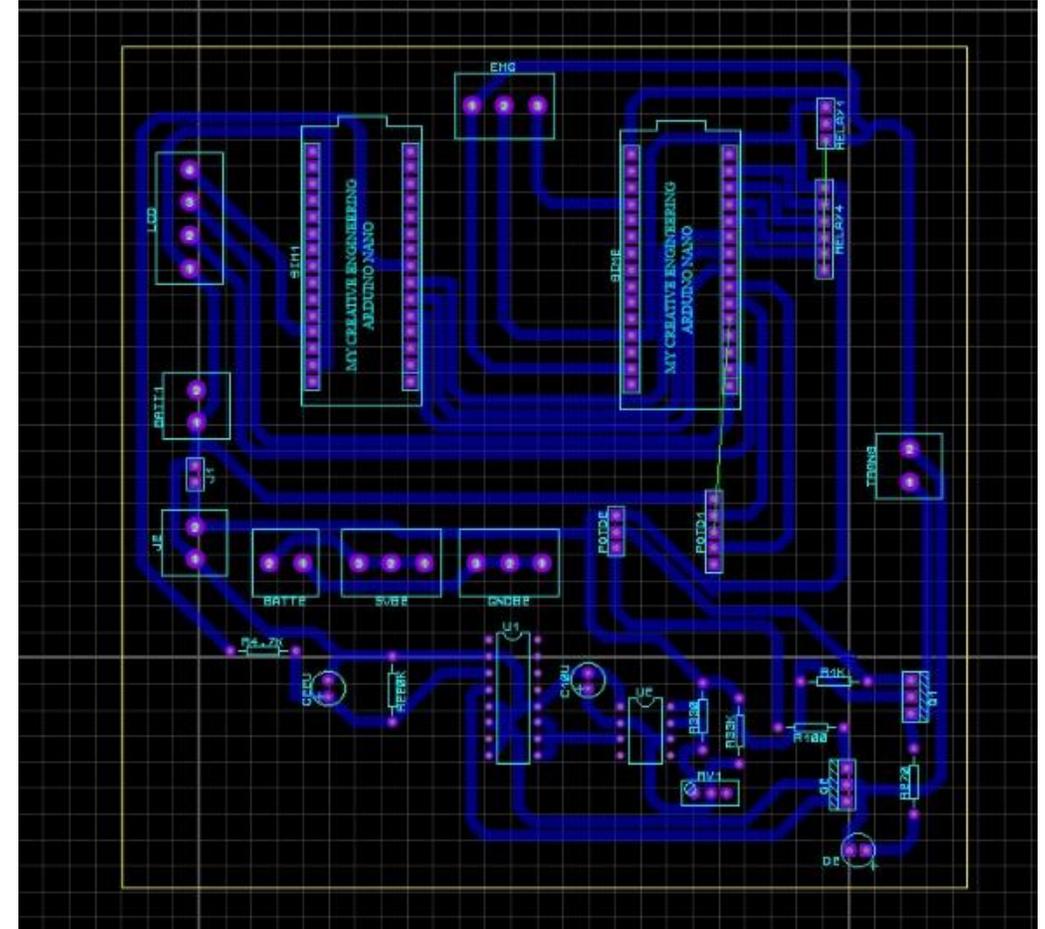
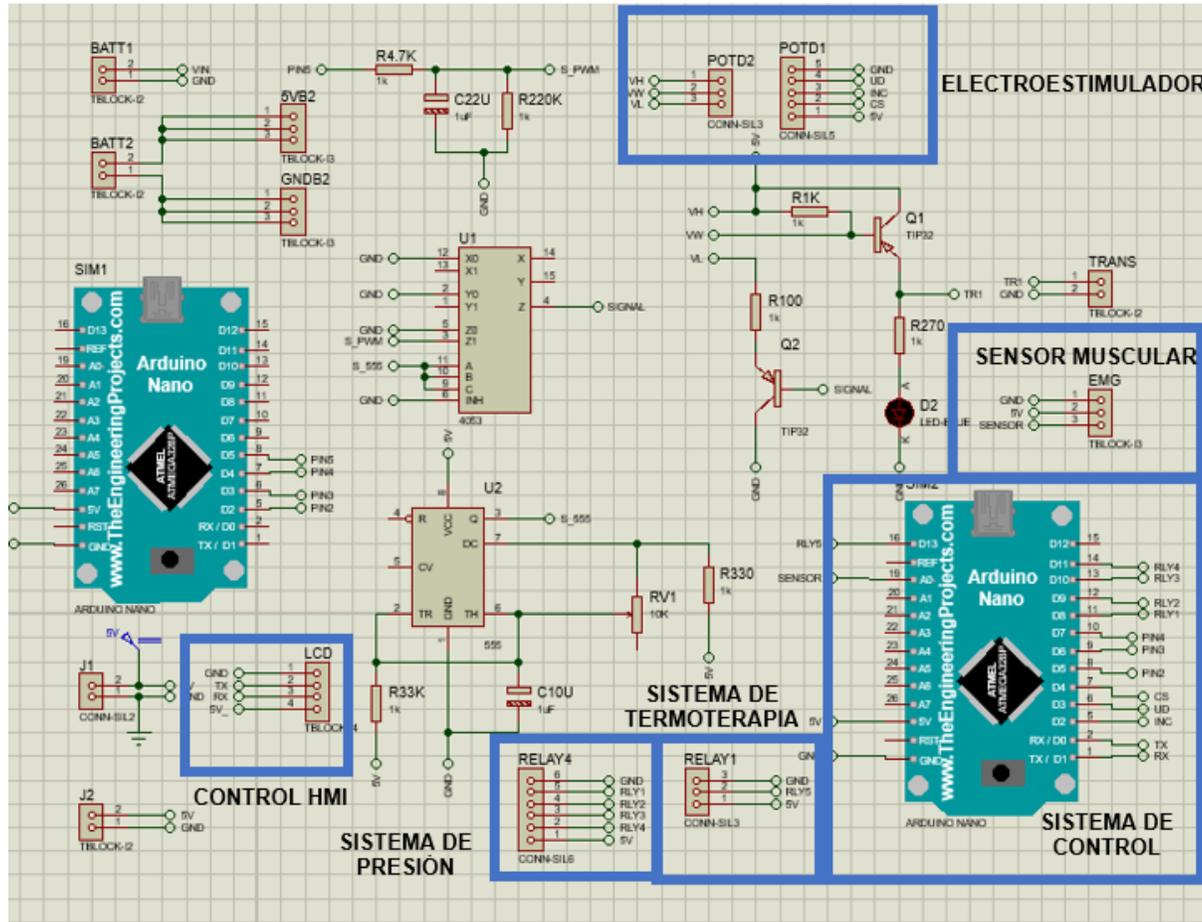
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Sensor muscular

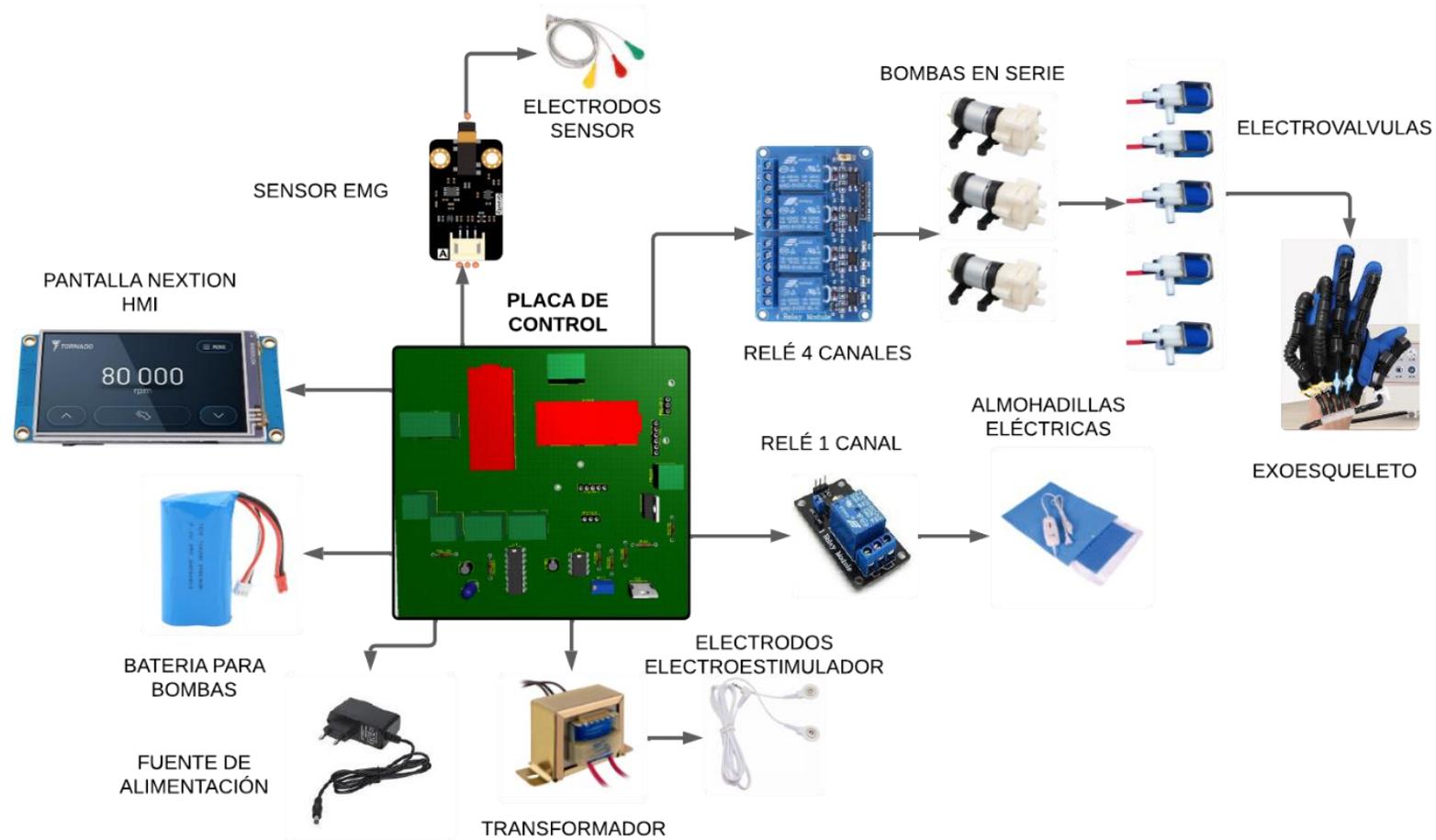
FACTOR	PESO	SENSOR ANÁLOGO EMG SEN0240		SENSOR MUSCULAR V3		SENSOR MYOWARE (AT-04-001)	
		CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.	CALIFI.	POND.
TIPO DE SEÑAL	0,25	8,00	2,00	8,00	2,00	8,00	2,00
RANGO DE MEDICION	0,20	8,00	1,60	5,00	1,00	8,00	1,60
PRECISIÓN	0,20	7,00	1,40	8,00	1,60	8,00	1,60
COMPATIBILIDAD ARDUINO	0,10	8,00	0,80	8,00	0,80	8,00	0,80
ADAPTABILIDAD	0,15	8,00	1,20	7,00	1,05	7,00	1,05
COSTO	0,10	8,00	0,80	6,00	0,60	6,00	0,60
TOTAL	1,00		7,80		7,05		7,65



Circuito de accionamiento del sistema



Esquema de conexión del sistema electrónico



Diseño de interfaz hombre-maquina

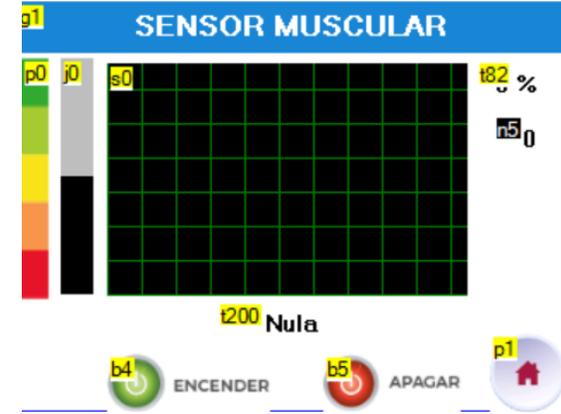
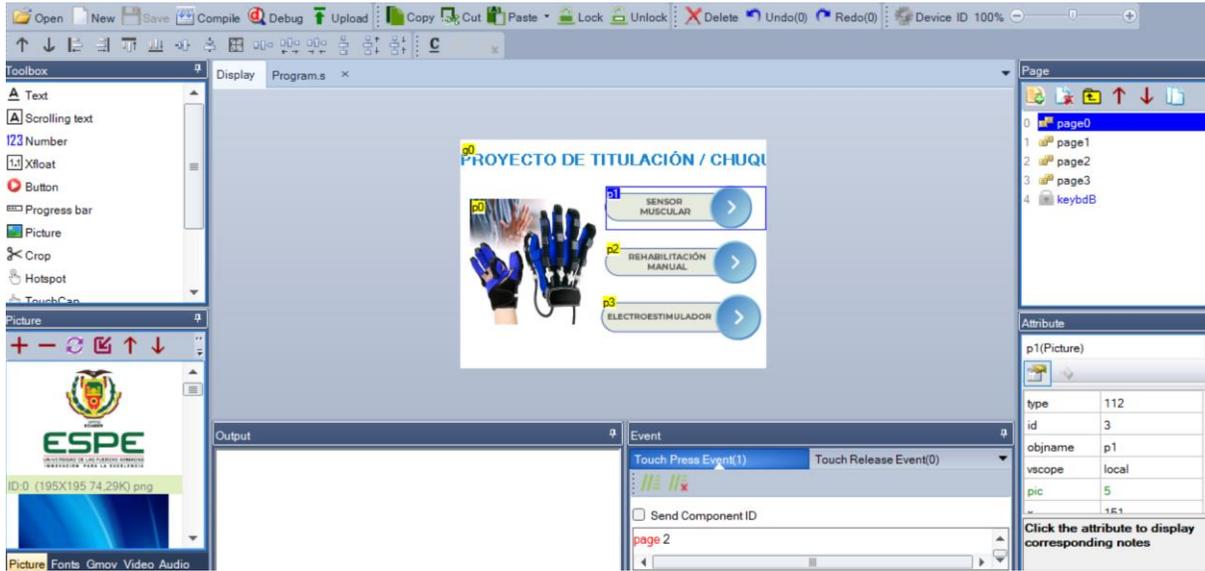
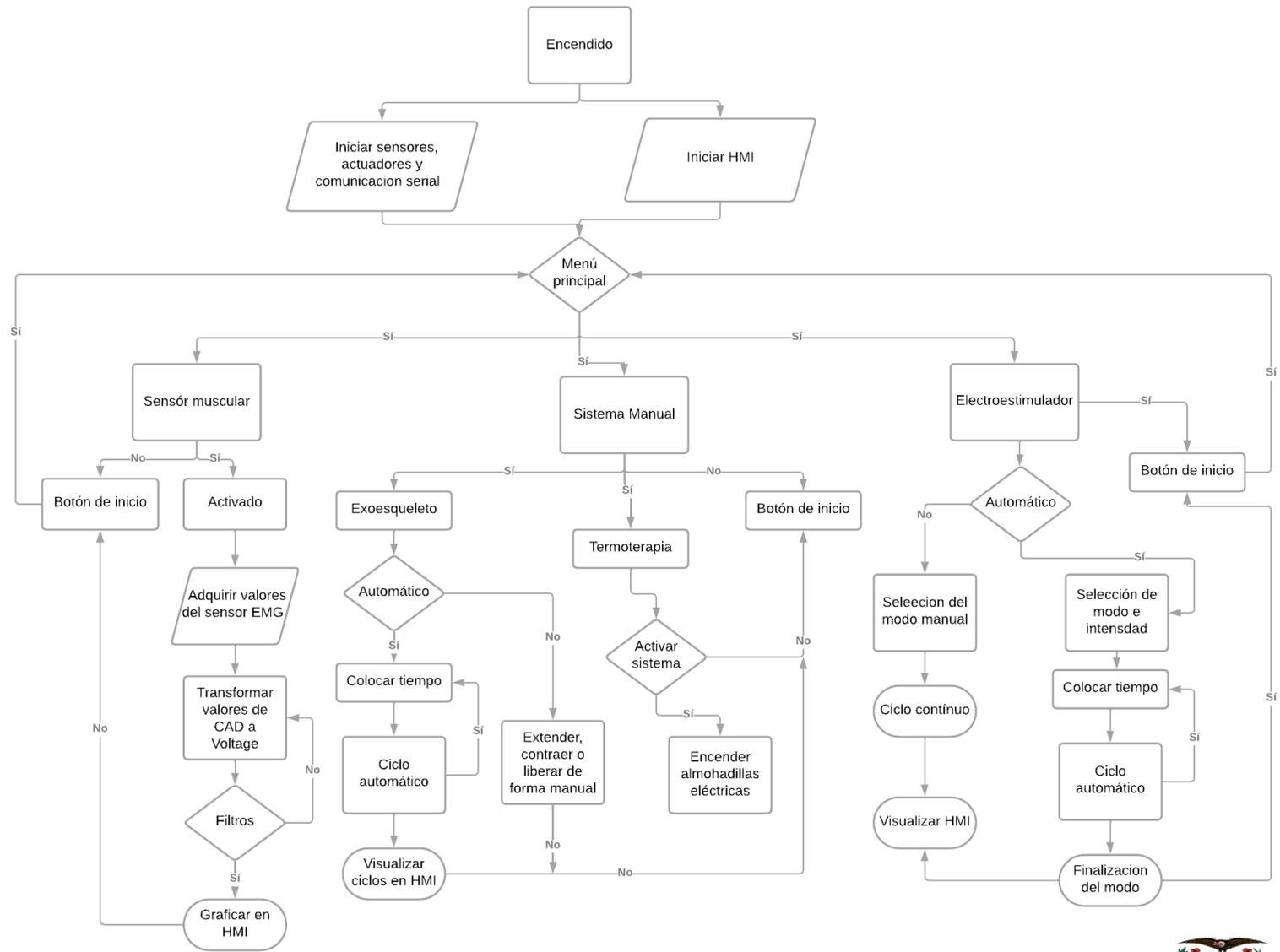


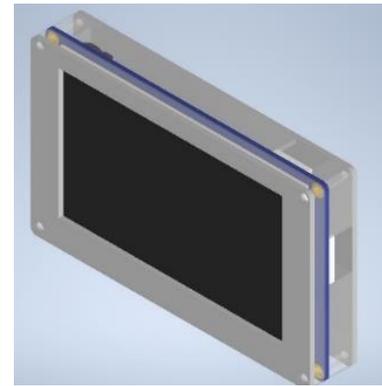
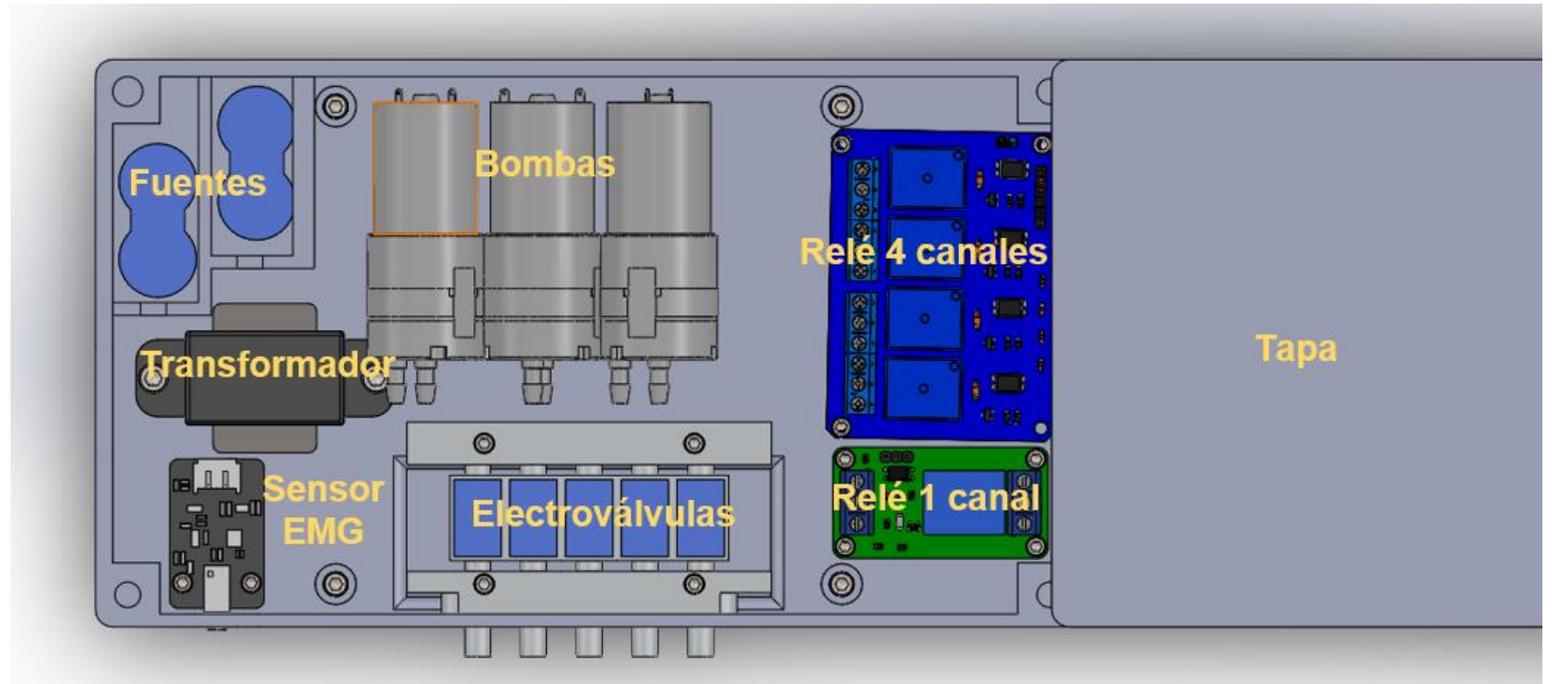
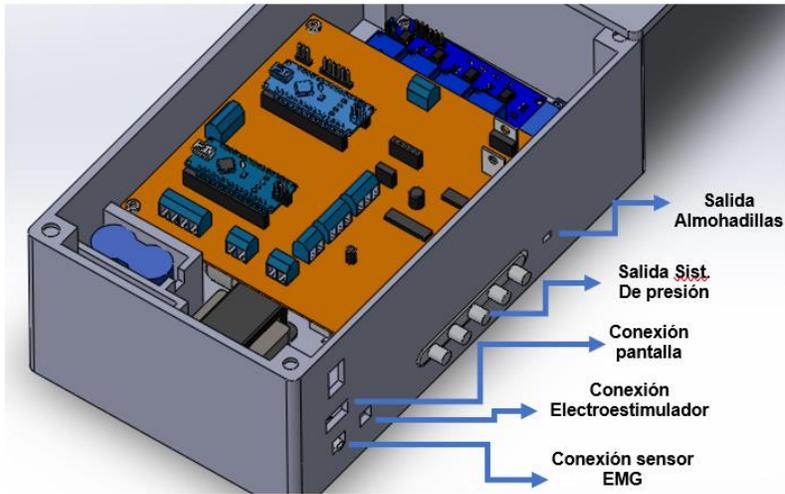
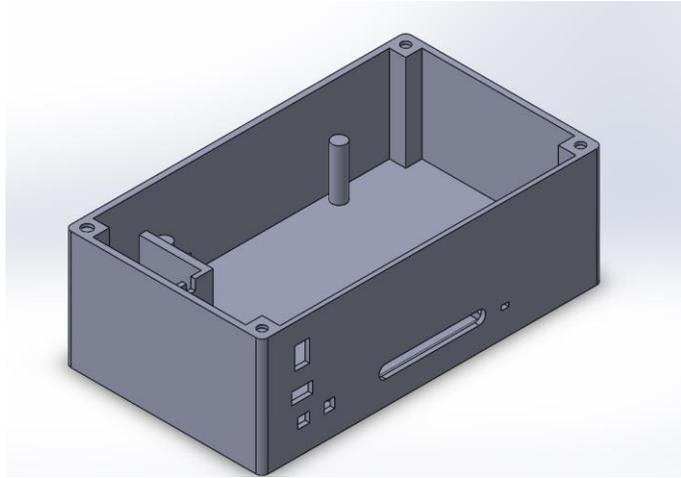
Diagrama del flujo del proceso del sistema



CONSTRUCCIÓN DEL EXOESQUELETO



Diseño CAD



Exoesqueleto final



Nro	Piezas	Cantidad
1	Exoesqueleto con presión de aire	1
2	Almohadillas eléctricas	2
3	Pantalla Nextion	1
4	Electrodos sensor EMG	1
5	Electrodos electroestimulador	1
6	Mangueras de aire	1
7	Cables de conexión de pantalla	1





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CAPÍTULO III

PRUEBAS Y RESULTADOS



PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

EN VACÍO

CON PACIENTES



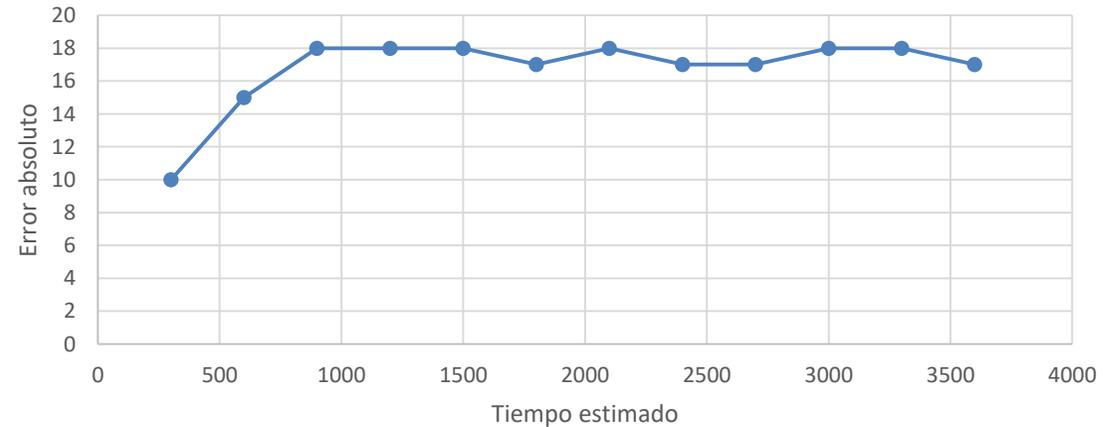
Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico en vacío

Ciclos (extender y contraer)



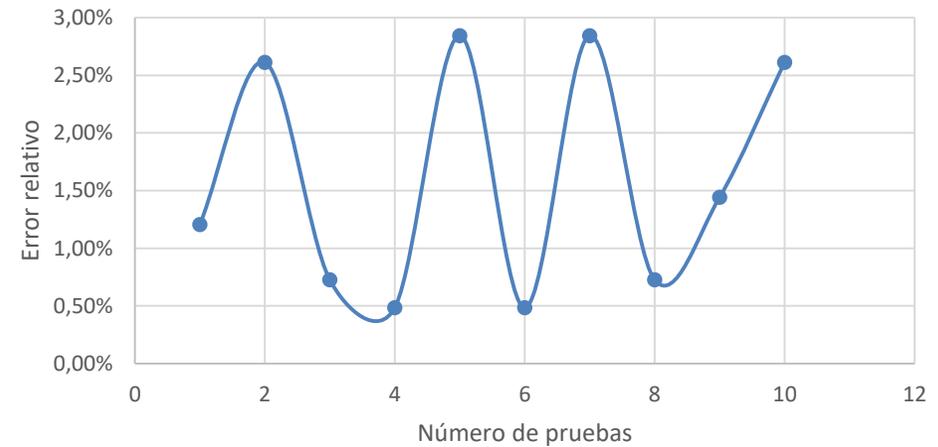
Ciclos estimados	Ciclos reales sin carga	Error absoluto	Error relativo
30	30	0	0%
60	60	0	0%
90	90	0	0%
120	120	0	0%
150	150	0	0%
180	180	0	0%
210	210	0	0%
240	240	0	0%
270	270	0	0%
300	300	0	0%
330	330	0	0%
360	360	0	0%

Tiempos estimados (seg)	Tiempo real sin carga (seg)	Error absoluto	Error relativo
300	303	3	0,99%
600	610	10	1,64%
900	918	18	1,96%
1200	1218	18	1,48%
1500	1518	18	1,19%
1800	1817	17	0,94%
2100	2118	18	0,85%
2400	2417	17	0,70%
2700	2717	17	0,63%
3000	3018	18	0,60%
3300	3318	18	0,54%
3600	3617	17	0,47%



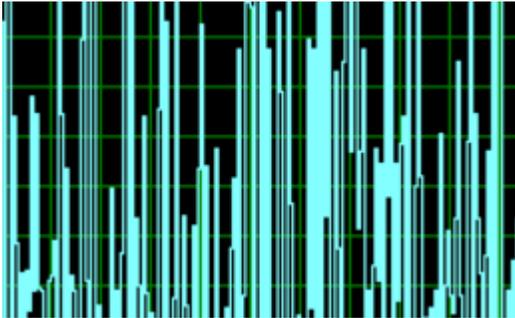
Pruebas de funcionamiento de la termoterapia en vacío

Número de pruebas	Temperatura alcanzar (°C)	Temperatura real sin carga (°C)	Error absoluto	Error relativo
1	41	41,5	0,5	1,20%
2	41	42,1	1,1	2,61%
3	41	41,3	0,3	0,73%
4	41	41,2	0,2	0,49%
5	41	42,2	1,2	2,84%
6	41	41,2	0,2	0,49%
7	41	42,2	1,2	2,84%
8	41	41,3	0,3	0,73%
9	41	41,6	0,6	1,44%
10	41	42,1	1,1	2,61%

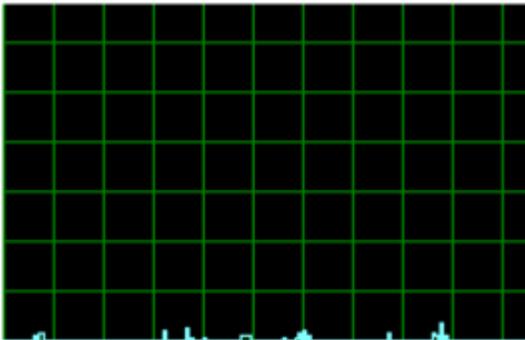


Pruebas de funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico en vacío

Funcionamiento sensor EMG SEN0240

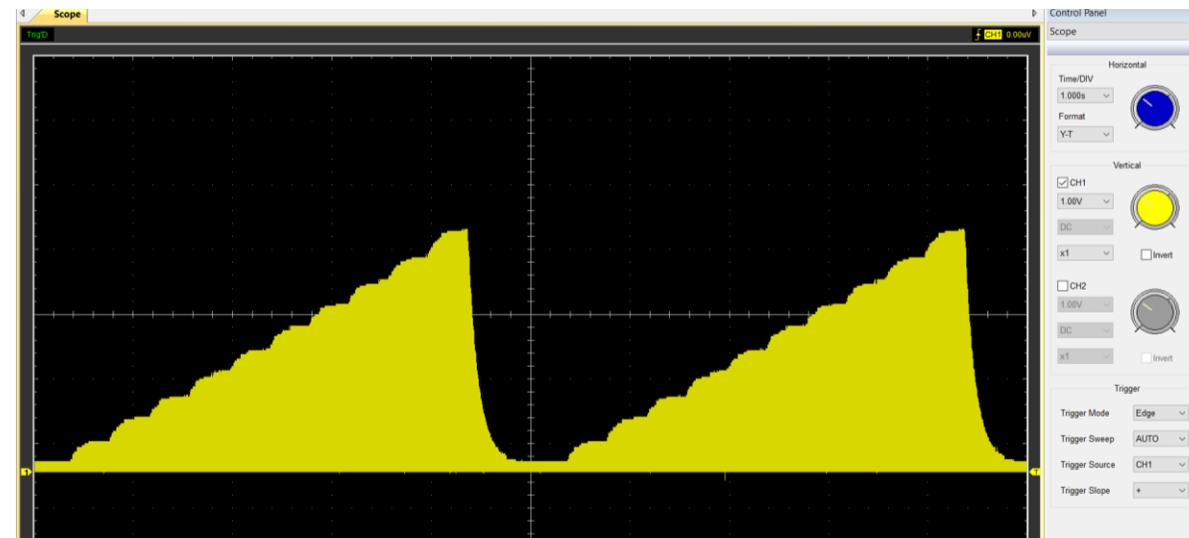
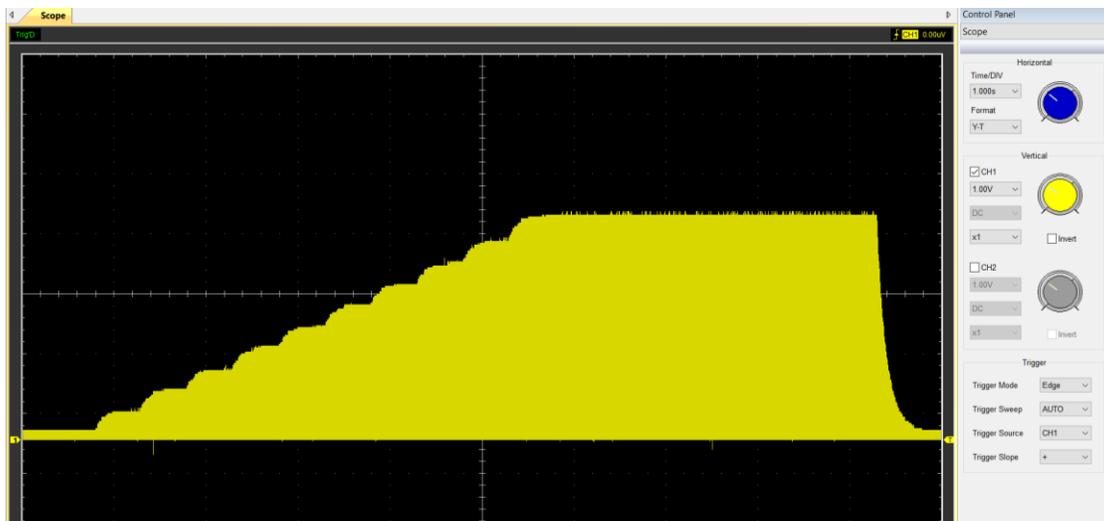
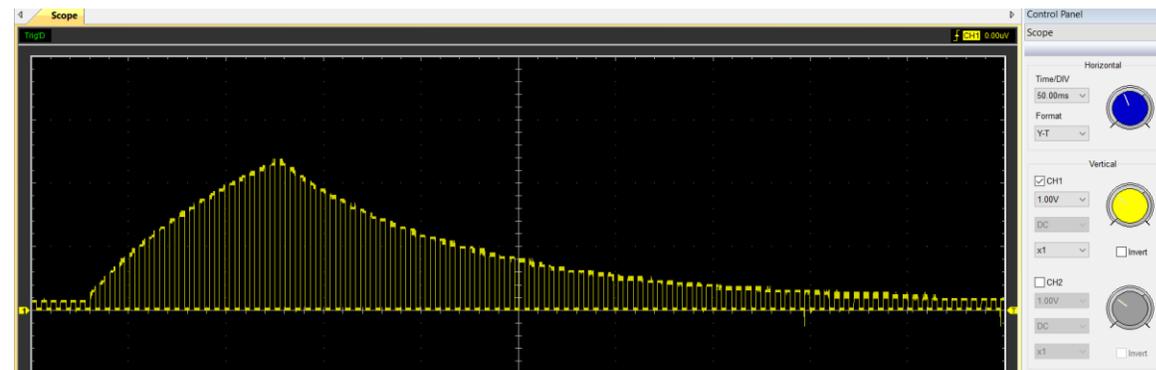
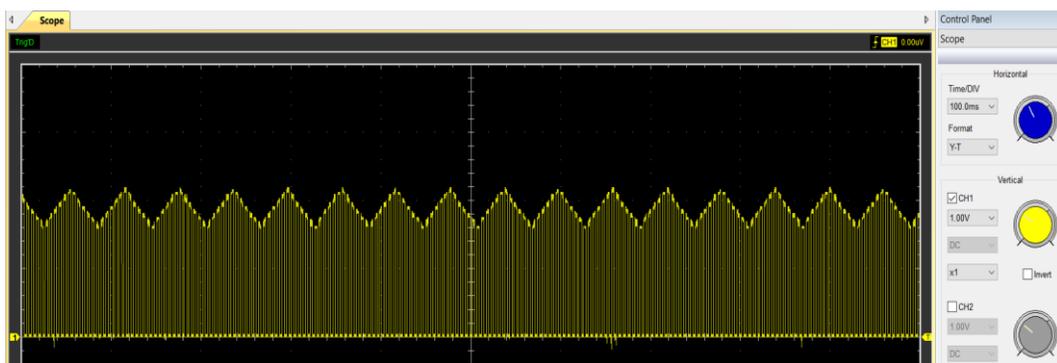


```
int data = analogRead(SensorInputPin);  
int dataAfterFilter = myFilter.update(data); // filter processing  
int envelope = sq(dataAfterFilter); //Get envelope by squaring  
the input  
envelope = (envelope > threshold) ? envelope : 0; // The data  
set below the base value is set to 0, indicating that it is in a  
relaxed state  
int send = map(envelope, 250, 25000, 0, 100)
```



Pruebas de funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico en vacío

Funcionamiento electroestimulador



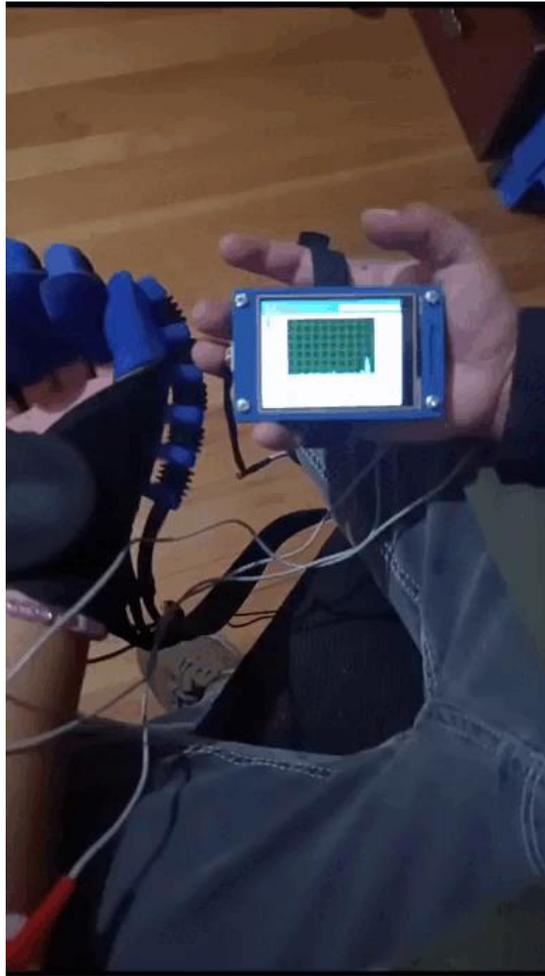
Pruebas de funcionamiento del sistema mecánico en vacío

Ciclos (extender y contraer)



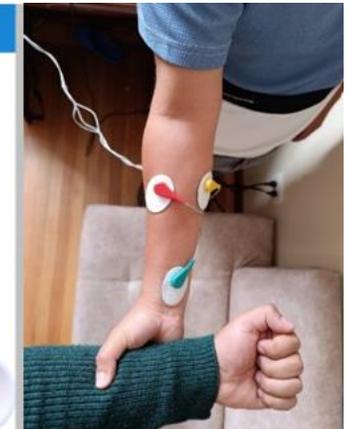
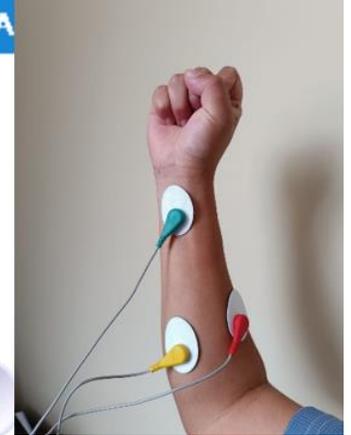
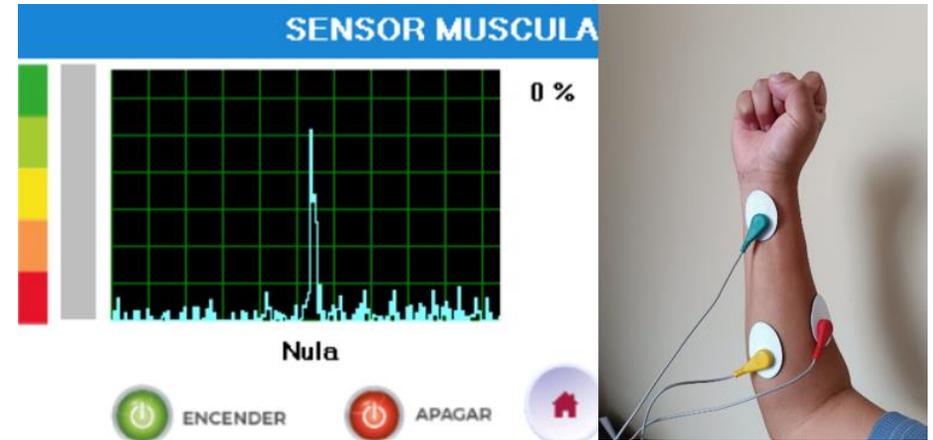
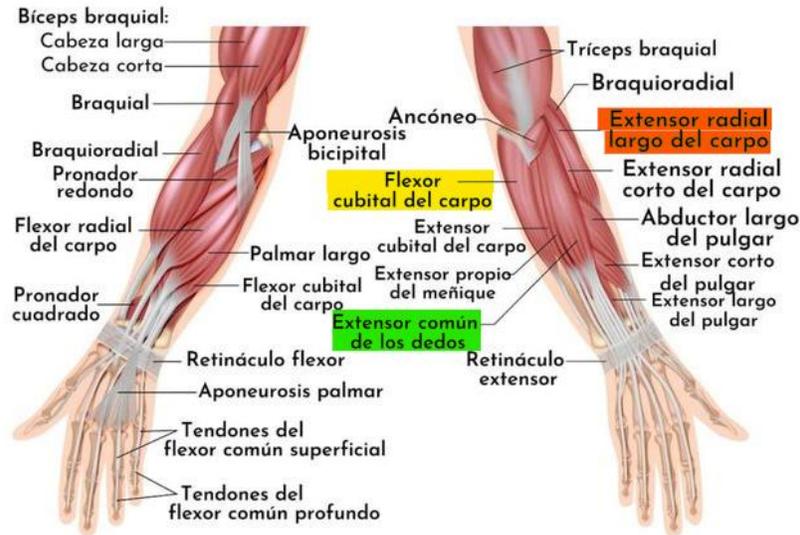
Pruebas de funcionamiento del sistema eléctrico y electrónico con pacientes

Funcionamiento sensor EMG SEN0240



Músculos del antebrazo (brazo derecho)

Cara anterior Cara posterior



Pruebas de funcionamiento total

FUNCIONALIDAD-SISTEMA	SENSOR EMG		ELECTROESTIMULADOR		TERMOTERAPIA		EXOESQUELETO	
	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO	ENCENDIDO	APAGADO
SENSOR EMG	X			X		X		X
ELECTROESTIMULADOR		X			X	X	X	X
TERMOTERAPIA		X	X	X			X	X
EXOESQUELETO		X	X	X	X	X		



PRUEBAS DE SATISFACCIÓN APLICADO A PACIENTES CON PATOLOGÍAS DIVERSAS



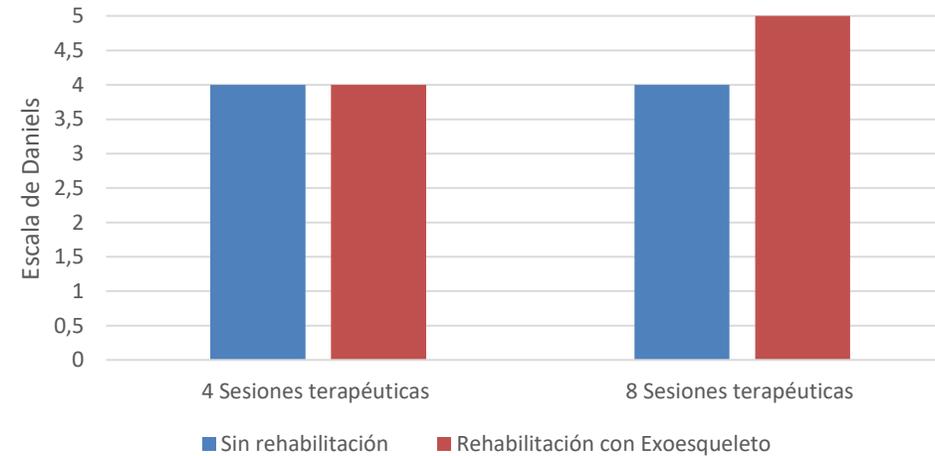
Paciente Javier Quimbita

Registro Paciente	
Nombre	Javier Quimbita
Cedula	0502211253
Fisioterapeuta	Diego Condo
Patología	Síndrome del Túnel Carpiano leve
Edad	47
Fecha	26/01/2024
Tono muscular	4



Dosificación terapéutica Paciente Javier Quimbita		Repeticiones
Nivel electroterapia	Normal	
Electroterapia activa (min)	10	3
Pausa Electroterapia (min)	6	
Termoterapia activa (min)	1	6
Pausa Termoterapia (min)	1	
Terapia motriz (min)	15	3
Pausa Terapia motriz (min)	5	
Tono muscular	4	

Sesiones Terapéuticas	1	2	3	4	5	6	7	8
Electroterapia (min)	33	33	48	48	40	40	48	48
Termoterapia (min)	12	12	12	12	12	12	12	12
Terapia motriz (min)	45	45	60	60	40	40	60	60
Diagnóstico (min)	5	5	5	5	5	5	5	5
Total (min)	95	95	125	125	97	97	125	125



Paciente Luis Misael Quimbita

Registro Paciente

Nombre	Misael Quimbita
Cedula	0503822892
Fisioterapeuta	Diego Condo
Patología	Hemiplejia
Edad	29
Fecha	26/01/2024
Tono muscular	0

Dosificación terapéutica Paciente Misael Quimbita

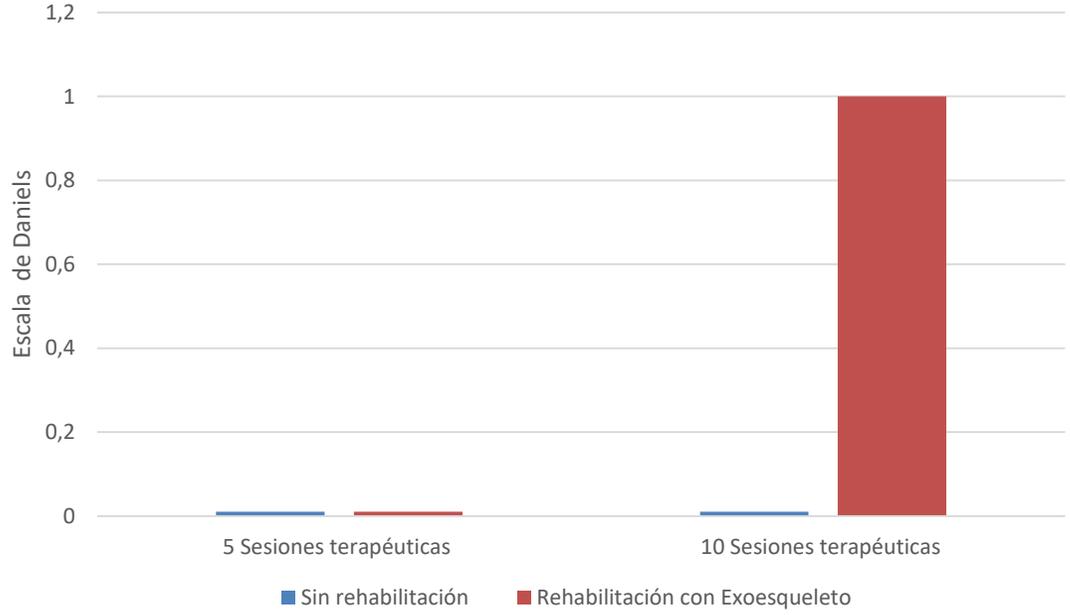
	Nivel electroterapia	Repeticiones
	Normal	
Electroterapia activa (min)	5	3
Pausa Electroterapia (min)	5	
Termoterapia activa (min)	1	5
Pausa Termoterapia (min)	1	
Terapia motriz (min)	10	3
Pausa Terapia motriz (min)	5	
Tono muscular	0	



Sesiones terapéuticas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Electroterapia (min)	30	30	30	30	30	40	30	30	30	30
Termoterapia (min)	10	10	10	10	10	12	10	10	10	10
Terapia motriz (min)	45	45	60	60	75	40	90	90	60	60
Diagnóstico (min)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Total (min)	90	90	105	105	120	97	135	135	105	105



Paciente Luis Misael Quimbita



Validación hipótesis

Hipótesis planteada para el desarrollo:

¿El diseño y construcción de un exoesqueleto usando sistemas electro-mecánicos y/o estimulación eléctrica, permitirá la rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón: Caso práctico Síndrome del túnel carpiano mano afectada?

- Variable Independiente: Exoesqueleto usando sistemas electro-mecánicos y/o estimulación eléctrica.
- Variable Dependiente: Rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón: Caso práctico Síndrome del túnel carpiano mano afectada.
- Hipótesis nula (H_0): No permitirá la rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón: Caso práctico Síndrome del túnel carpiano mano afectada
- Hipótesis válida (H_1): Permitirá la rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón: Caso práctico Síndrome del túnel carpiano mano afectada

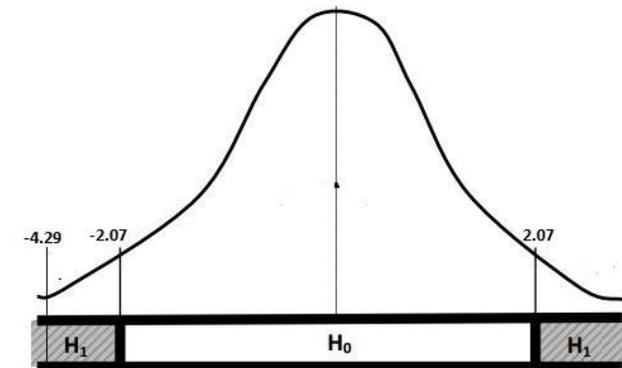


Validación hipótesis – T-student



N° Sesiones	Tratamiento tradicional + electro estimulador	Tratamiento con Exoesqueleto
1	90	85
2	85	85
3	85	100
4	90	100
5	90	115
6	85	115
7	85	130
8	90	130
9	90	100
10	90	100
11	85	
12	85	
13	90	
14	90	
15	90	

Parámetros	Tratamiento tradicional + electro estimulador	Tratamiento con Exoesqueleto
Media	88	106
Varianza	6,42857143	260
Observaciones	15	10
Varianza agrupada	105,652174	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	23	
Estadístico t	-4,28952212	
P(T<=t) una cola	0,00013682	
Valor crítico de t (una cola)	1,71387153	
P(T<=t) dos colas	0,00027363	
Valor crítico de t (dos colas)	2,06865761	



Se rechaza la hipótesis nula si $t > t(1-0.052)$, (n_1+n_2-2) , mediante los datos obtenidos $4.29 > 2.07$. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula H_0 y se valida la hipótesis alternativa H_1 .

El exoesqueleto usando sistemas electro-mecánicos y/o estimulación eléctrica, permitirá la rehabilitación de la mano afectada con síndrome del ratón: Caso práctico Síndrome del túnel carpiano mano afectada.



Conclusiones

- Las pruebas sin la interacción del paciente y evaluadas con el fisioterapeuta nos llevan a un enfoque de ergonomía, funcionalidad del diseño, de esta manera se evalúa si el exoesqueleto de rehabilitación proporciona seguridad para su uso en la rehabilitación, las pruebas son satisfactorias, de acuerdo a los parámetros del fisioterapeuta, debido a que el sistema de terapia motriz aplica robótica suave, para cuidar la extensión y contracción de la mano, además la termoterapia aplicada no excede de los 45.5 °C, esto es favorable debido a que es tolerable con la piel, el sistema de electroestimulación cumple con los factores de rehabilitación, el cual está diseñado para mejorar el fortalecimiento muscular, la circulación sanguínea cumpliendo con los parámetros de frecuencia.
- El análisis de las pruebas de satisfacción nos indica que el proceso terapéutico aplicando el exoesqueleto de rehabilitación cumple con los objetivos de terapia, debido a que el dispositivo está enfocado a pacientes con síndrome del túnel carpiano, no obstante, su funcionalidad permite que tenga diversas aplicaciones a pacientes con distintas patologías orientadas a la extremidad superior derecha, obteniendo resultados satisfactorios en rehabilitación, reduciendo sesiones de tratamiento con mejores efectos evolutivos.



Conclusiones

- En el mercado actual se tiene una variedad de equipos para realizar terapias de reparación del tono muscular o afecciones en las extremidades superiores como electroestimulación, termoterapia, rehabilitación tradicional, sin embargo los equipos utilizados o el método aplicado se dan por separado, con la implementación del exoesqueleto se permite unificar en un solo equipo los tres tipos de rehabilitación más usados, aplicar de manera efectiva y controlada la combinación entre ellos, obteniendo resultados más eficaces.
- En la fase de construcción y mediante matrices de selección de componentes se ubicaron los elementos que mejor se adaptaron a nuestras necesidades, las tecnologías actuales como la impresión 3D nos facilitó un diseño ergonómico y agradable dando como resultado un exoesqueleto compacto, desmontable y con una variedad de accesorios que nos entregó un producto final que se podría comercializar a futuro.



Recomendaciones

- Una vez obtenido el exoesqueleto es recomendable plantearse los elementos que se deberá dar mayor cuidado o mantenimiento, para este caso el sensor EMGS0240 y el módulo de potenciómetro digital son los más propensos a presentar averías; por lo cual, se debe evitar exponerlos a niveles de sobrevoltaje que se puede suscitarse en los cortes eléctricos o por la manipulación de los componentes sin las medidas de seguridad adecuadas.
- Se recomienda que la placa de control no este alimentada por una fuente de más de 5V, con el fin de cuidar los elementos electrónicos especialmente los circuitos integrados, transistores, y los que componen el dispositivo Arduino, ya que al sobrepasar los valores de voltaje aceptados por estos componentes afectarían su funcionamiento o en un caso extremo quemarse, lo cual dejara fuera de servicio al exoesqueleto.
- Antes de aplicar los diferentes tipos de terapias (sistema de terapia motriz, sistema de termoterapia, sistema de electroestimulación), es recomendable la intervención del diagnóstico por un especialista para evitar el mal uso de los sistemas, debido a que el músculo debe prepararse para ser sometido a rehabilitación. El sistema de diagnóstico debe ser supervisado por el especialista para el criterio de dosificación terapéutica mediante la prueba de Daniels.



**GRACIAS POR SU
ATENCIÓN**



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA