



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO QUE PERMITE LA ASISTENCIA Y EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD EN LA REHABILITACIÓN DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES”

Proyecto de Tesis previa a la obtención del título de:

Ingeniero en Mecatrónica

**Autores:**

**MOLINA AGUIAR, NELSON ANDRÉS  
ALDÁS MAYORGA, ROBERTO CARLOS**

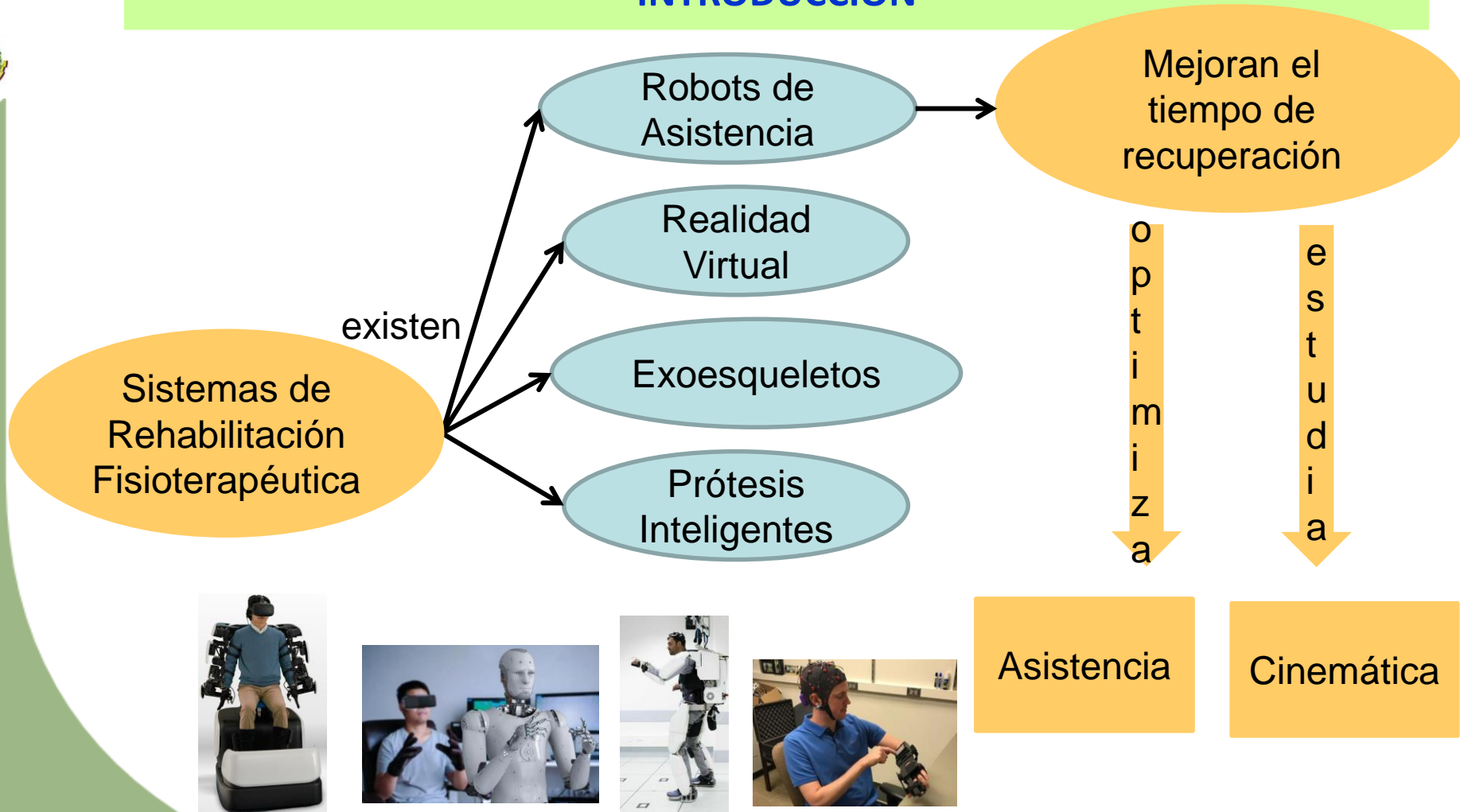


# IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO QUE PERMITE LA ASISTENCIA Y EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD EN LA REHABILITACIÓN DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES

## AGENDA DE TRABAJO:

- Introducción**
- Problemas**
- Solución**
- Objetivos del Proyecto**
  - Objetivo General
  - Objetivos Específicos
- Marco Teórico**
- Diseño del Sistema**
- Presentación del Sistema**
- Pruebas**
- Resultados Finales**
- Conclusiones y Recomendaciones**

## INTRODUCCIÓN



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### PROBLEMAS:

- ✓ Pérdida de documentos en papel durante las revisiones
- ✓ Tiempos excesivos debido a la revisión serial
- ✓ Incumplimiento con el tiempo de revisión establecido
- ✓ No existía control y seguimiento de un documento
- ✓ Uso desmesurado del papel
- ✓ No existía respaldo digital de documentos

## PROPUESTA

### SOLUCIÓN:

**IMPLEMENTAR UN SISTEMA  
MECATRÓNICO PARA PACIENTES  
CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO  
QUE PERMITE LA ASISTENCIA Y  
EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD EN  
LA REHABILITACIÓN DE LAS  
EXTREMIDADES SUPERIORES**

## OBJETIVOS

### OBJETIVO GENERAL:

**Implementar un sistema mecatrónico para pacientes con daño cerebral adquirido que permite la asistencia y evaluación de la movilidad en la rehabilitación de las extremidades superiores.**

## OBJETIVOS

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigar los parámetros biomecánicos de las extremidades superiores mediante estudios bibliográficos para analizar la movilidad.
- Determinar los componentes mecánicos, electrónicos y software usando criterios adecuados para el sistema de evaluación y asistencia en la movilidad de las extremidades superiores.
- Diseñar un sistema mecatrónico mediante el software necesario, que sea capaz de adquirir datos para la asistencia y evaluación en la movilidad.

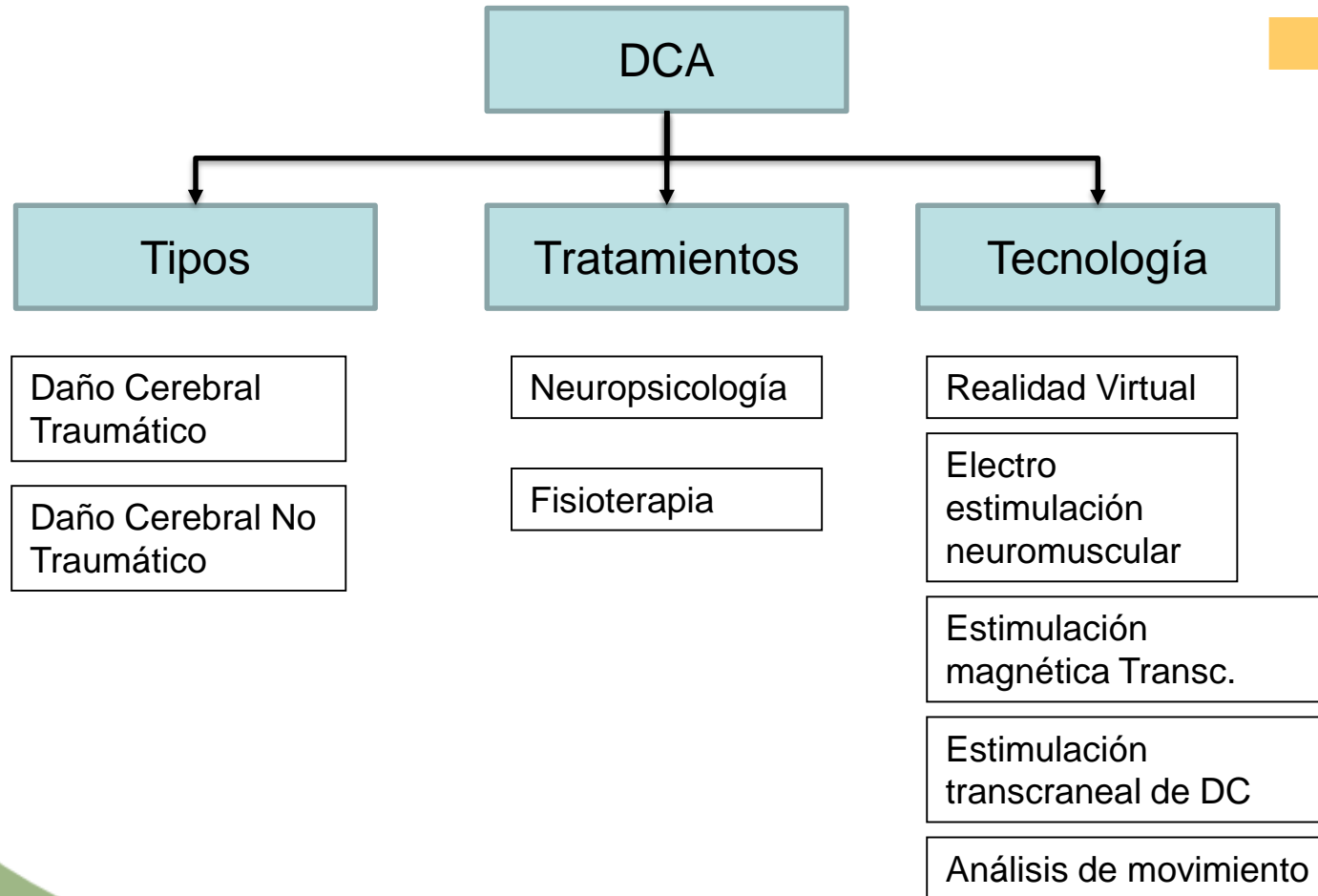
## OBJETIVOS

### OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Obtener curvas biomecánicas de la movilidad de las extremidades superiores que serán validadas al compararlas con datos de las referencias bibliográficas y experimentación.
- Evaluar el sistema mecatrónico en el proceso de rehabilitación fisioterapéutica de las extremidades superiores para contribuir en el proceso de rehabilitación de pacientes con DCA.

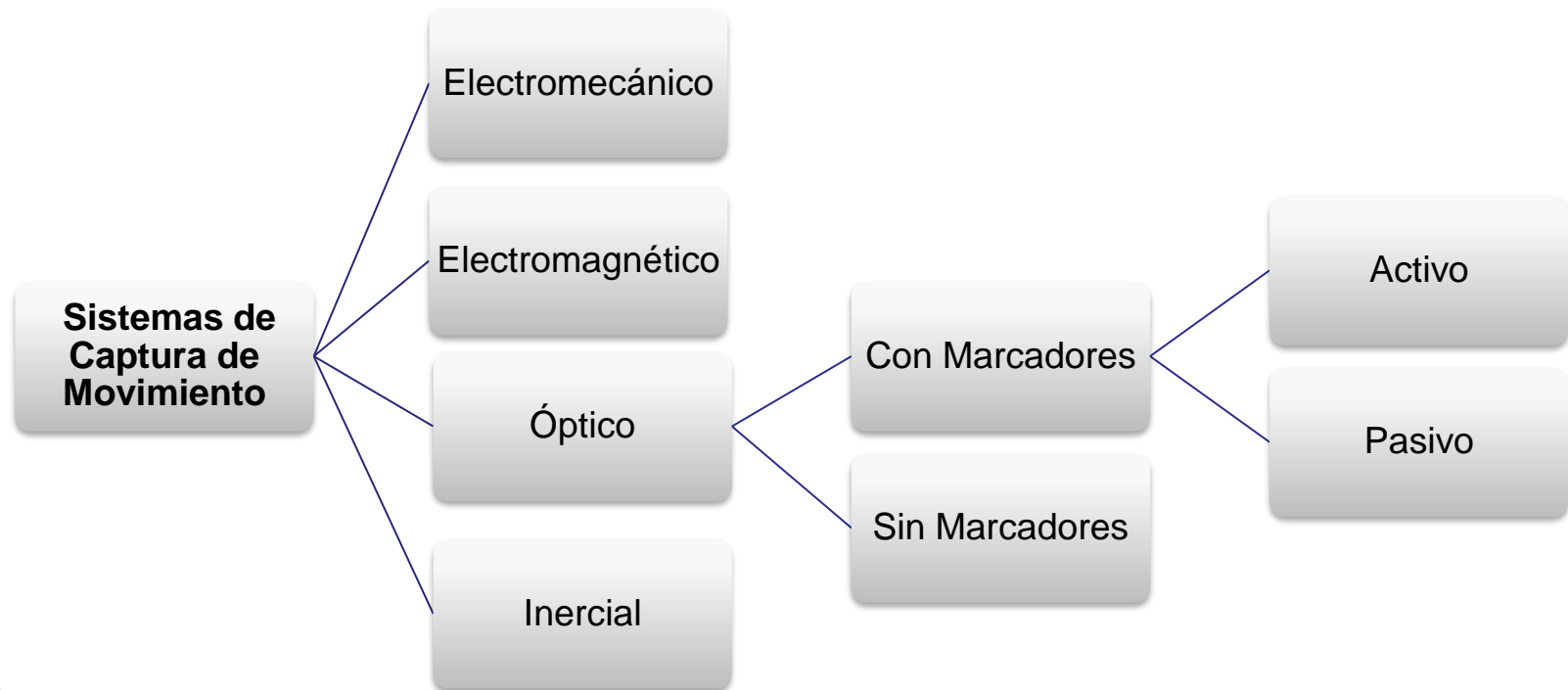


## MARCO TEÓRICO



## MARCO TEÓRICO

### Sistema de Captura de movimiento



## MARCO TEÓRICO

### Biomecánica de las Extremidades superiores

#### Biomecánica

#### Extremidades Superiores

Hombro

Codo

Muñeca

Mano

Articulación esternoclavicular.

Articulación acromioclavicular.

Articulación escapulotorácica

Articulación escapulohumeral.

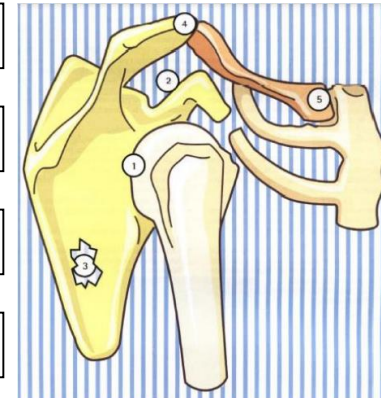
Flexión

Extensión

Abducción

Aducción

Rotación medial



## MARCO TEÓRICO

### Robot H-Man



### RAPAEL Smart Board

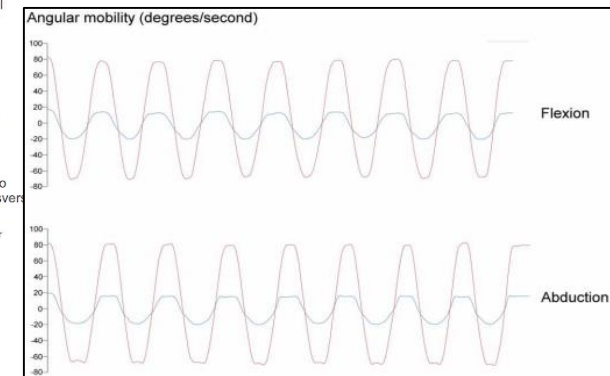
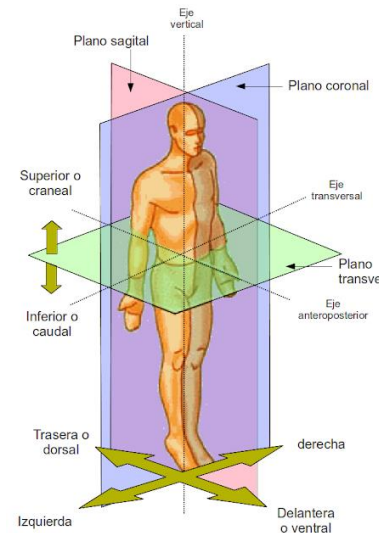


## MARCO TEÓRICO

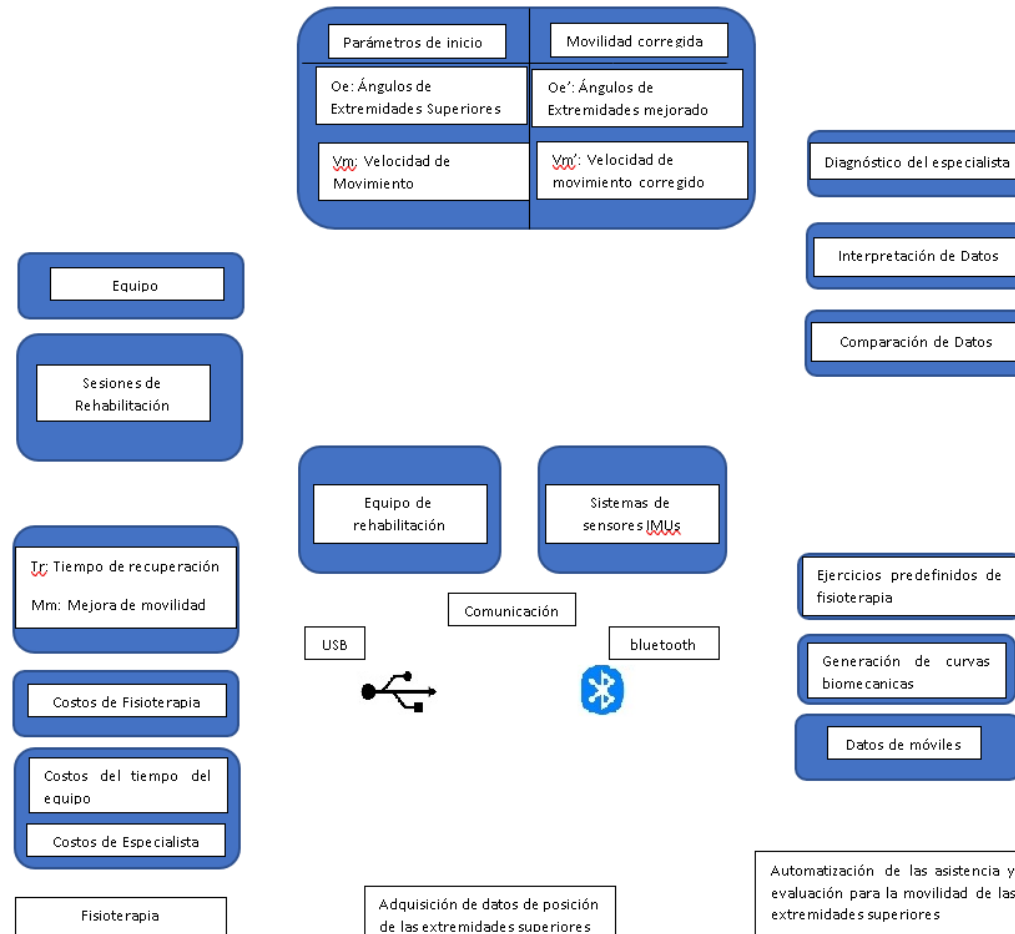
### Proceso de Envío de Documentos de Correspondencia

#### Test de Movilidad Articular para Extremidad Superior

<b>Hombro</b>	Flexión	0° a 180°
	Extensión	0° a 50°-80°
	Abducción	0° a 180°
	Aducción Horizontal	0° a 125°-135°
<b>Codo</b>	Rotación Interna	0° a 80°-90°
	Rotación Externa	0° a 90°
<b>Antebrazo</b>	Flexión	0° a 145°
	Extensión	145° a 0°
<b>Muñeca</b>	Supinación	0° a 90°
	Pronación	0° a 80°-90°
	Desviación Radial	0° a 20°-25°
	Desviación Cubital	0° a 35°-45°
	Flexión	0° a 80°-90°
	Extensión	0° a 70°-80°



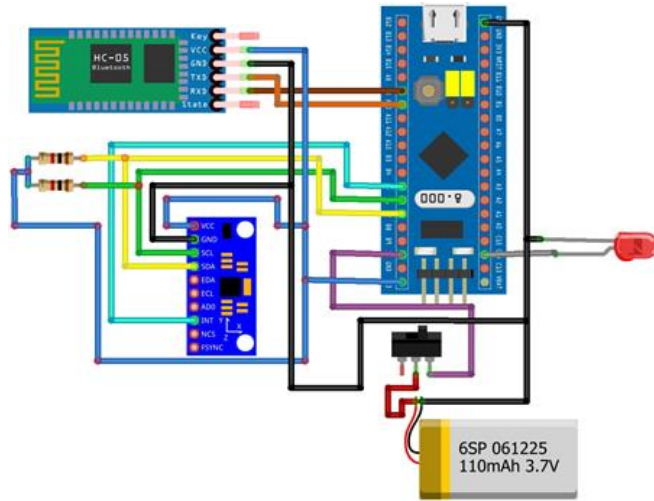
## DISEÑO DEL SISTEMA



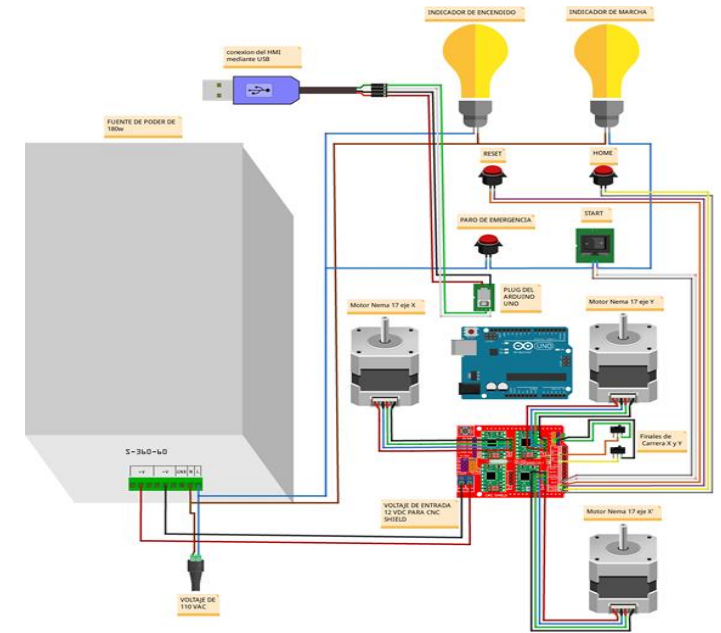
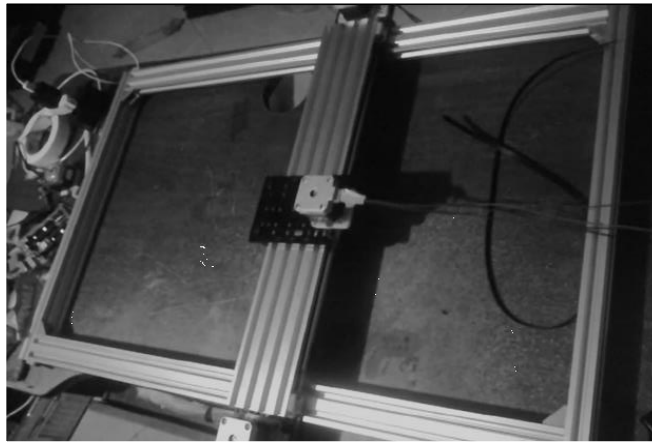
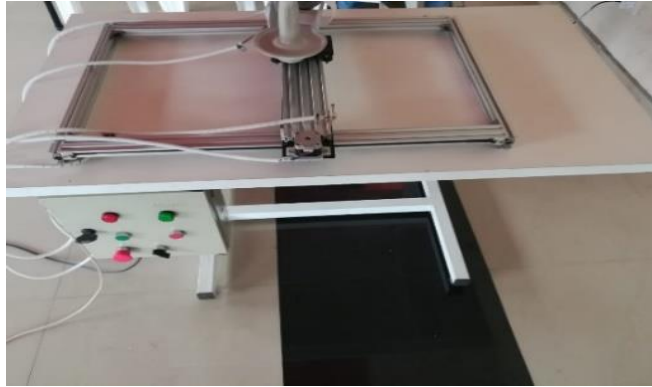
Implementación de un sistema mecatrónico para pacientes con daño cerebral adquirido que permite la asistencia y evaluación de la movilidad en la rehabilitación de las extremidades superiores.

Nelson Andrés Molina  
Roberto Carlos Aldás

## DISEÑO DEL SISTEMA



## DISEÑO DEL SISTEMA



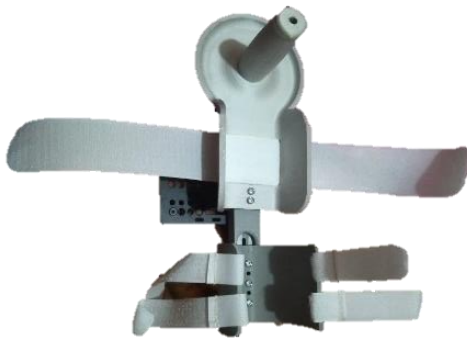
fritting



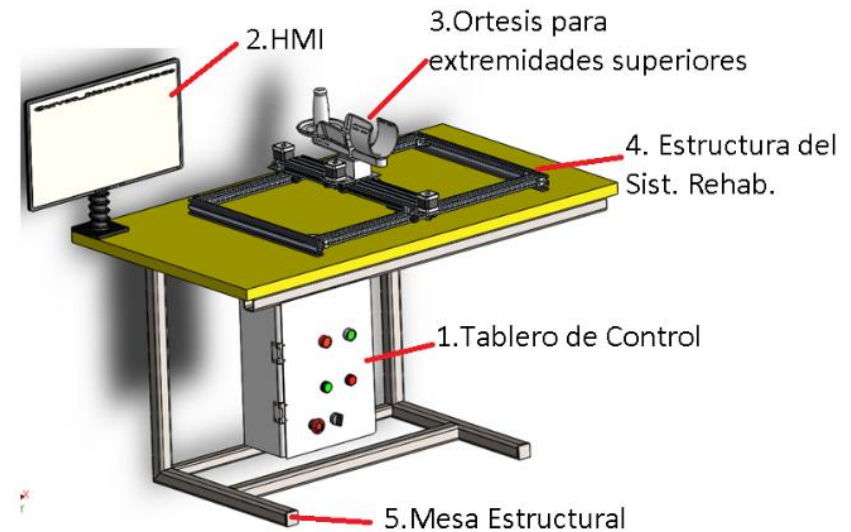
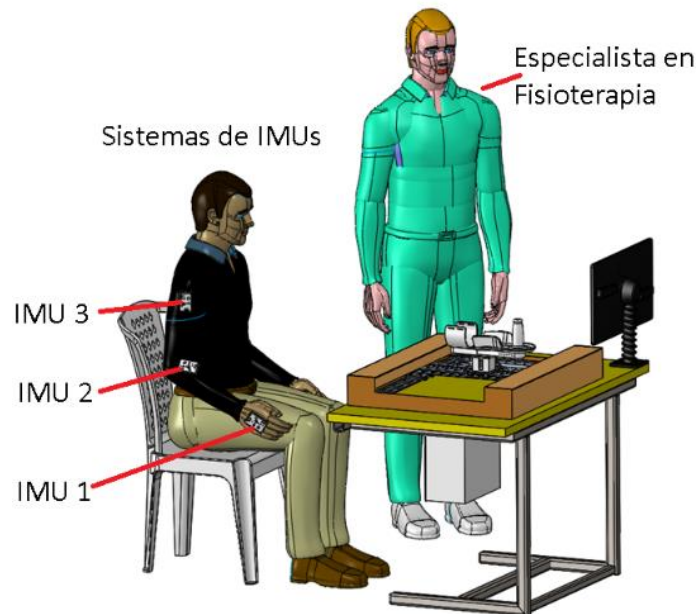
Implementación de un sistema mecatrónico para pacientes con daño cerebral adquirido que permite la asistencia y evaluación de la movilidad en la rehabilitación de las extremidades superiores.

Nelson Andrés Molina  
Roberto Carlos Aldás

## DISEÑO DEL SISTEMA



## DISEÑO DEL SISTEMA

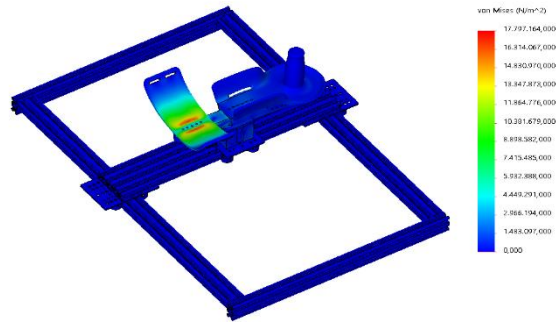


## IMPLEMENTACIÓN

- PRUEBAS DE RESISTENCIA
- PRUEBAS DE ANÁLISIS ESTÁTICO

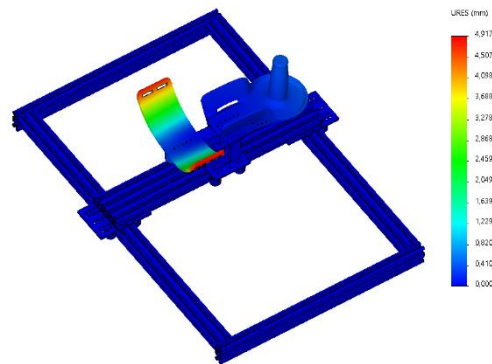
## IMPLEMENTACIÓN

Nombre del modelo:Rehabilitación  
Nombre de estudio:Análisis estático 2( Default)  
Tipo de resultado: Análisis estático teorías nodal: Tensiones 1  
Escala de deformación: 16,025

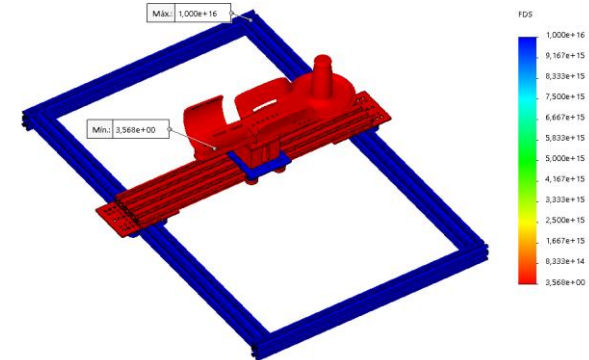


Humano promedio	
Parte del cuerpo	Peso promedio
Mano	0.7 Kg
Antebrazo	1.6Kg
Brazo	2.7Kg
<b>Total extremidad superior</b>	<b>5kg</b>

Nombre del modelo:Rehabilitación  
Nombre de estudio:Análisis estático 2( Default)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 16,025

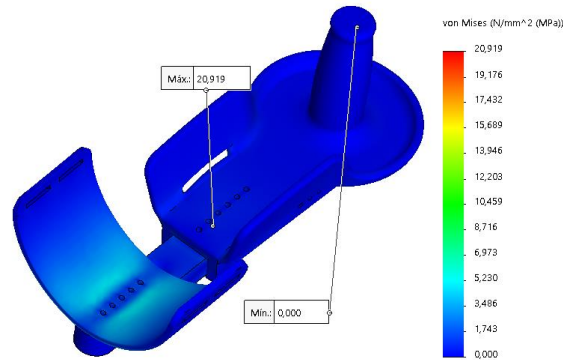


Nombre del modelo:Rehabilitación  
Nombre de estudio:Análisis estático 2( Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 3,6



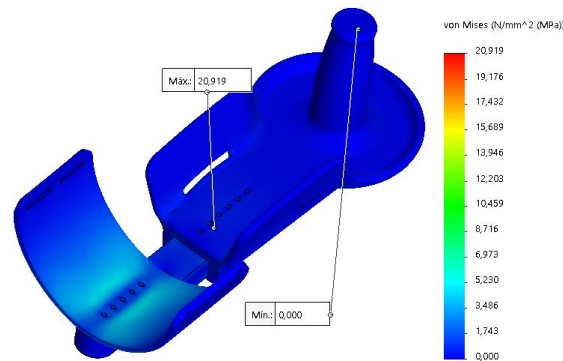
## IMPLEMENTACIÓN

Nombre del modelo:Rehabilitacion  
Nombre de estudio:Análisis estático 3(-Default)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 23,9758

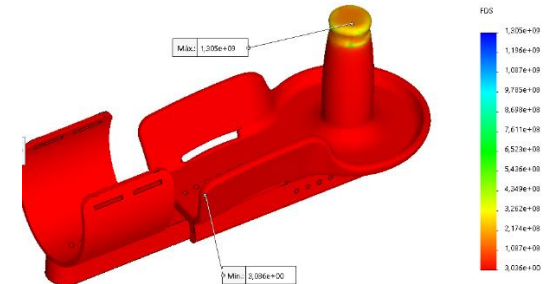


<b>Material</b>	<b>PLA</b>		
<b>Carga aplicada</b>	49,05 N		
<b>Von Mises(Mpas)</b>	<b>Desplazamiento estático(mm)</b>	<b>F.S</b>	<b>Limite Elástico(Mpas)</b>
Max=20,9 Min=0	Max=1,5 Min=0	3	63,5

Nombre del modelo:Rehabilitacion  
Nombre de estudio:Análisis estático 3(-Default)  
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 23,9758



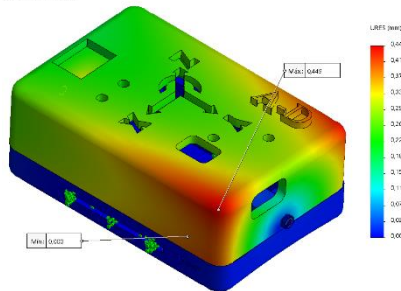
Nombre del modelo:Rehabilitacion  
Nombre de estudio:Análisis estático 3(-Default)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FOS min = 3



## IMPLEMENTACIÓN



Nombre del modelo: Escaneo de Caja  
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (predeterminado)  
Tipo de resultado: Localizar valores máximos y mínimos  
Escala de deformación: 1

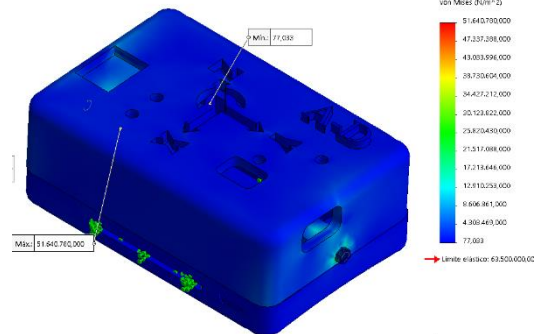


Diámetro de la cabeza (mm):	3
Diámetro del vástago nominal (mm):	2
Torsión (N.m):	0,1
Factor de fricción (K):	0,2

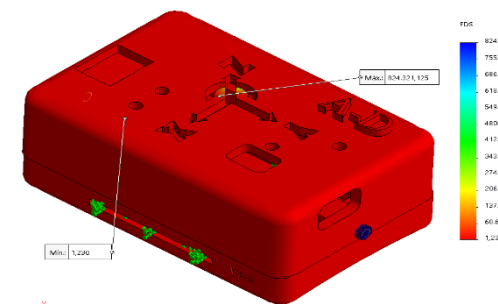
Tipo de conector por perno

<b>Material</b>	<b>PLA</b>		
<b>Precarga</b>	0,12Nm		
<b>Von Mises(Mpas)</b>	<b>Desplazamiento estático(mm)</b>	<b>F.S</b>	<b>Limite Elástico(Mpas)</b>
Max=51,641	Max=0,449 Min=0	1,2	63,5

Nombre del modelo: Escaneo de Caja  
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (predeterminado)  
Tipo de resultado: Análisis estático (sección modal: Tensiones)  
Escala de deformación: 1

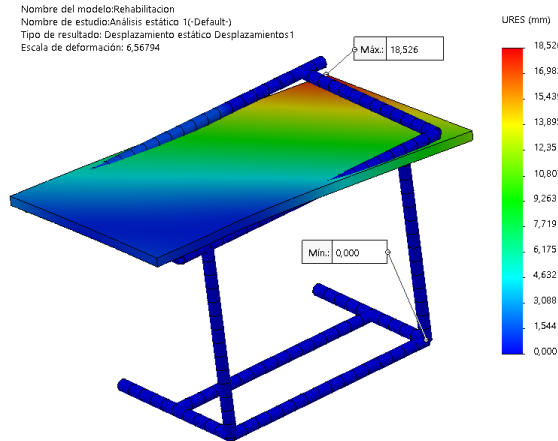


Nombre del modelo: Escaneo de Caja  
Nombre de estudio: Análisis estático 1 (predeterminado)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad (factor de seguridad)  
Orden: Automático  
Contribución de factor de seguridad: 100 min = 1,2



## IMPLEMENTACIÓN

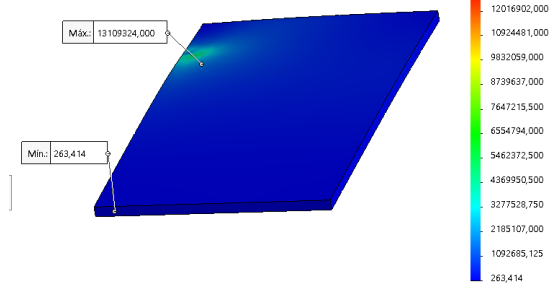
contacto por unión rígida



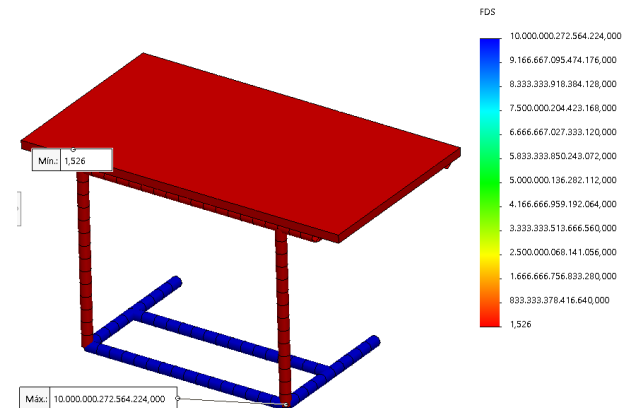
<b>Material</b>	<b>MDF</b>
<b>Carga aplicada</b>	<b>245,25N</b>

<b>Von Mises(Mpas)</b>	<b>Desplazamiento estático(mm)</b>	<b>F.S</b>	<b>Limite Elástico(Mpas)</b>
Max=13,109	Max=18,52 Min=0	1,5	19,99

Nombre del modelo:Rehabilitacion  
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default)  
Tipo de resultado:Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
Escala de deformación: 6,56794  
Valor global: 263,414 a 1,31093e+07 N/m<sup>2</sup>



Nombre del modelo:Rehabilitacion  
Nombre de estudio:Análisis estático 1(-Default)  
Tipo de resultado:Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Automático  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,5



## IMPLEMENTACIÓN



# PRESENTACIÓN DEL SISTEMA



## IMPLEMENTACIÓN

Sub sistema de Rehabilitación

Sistema eléctrico

Protocolo USB



Sub sistema IMUs

Sistema eléctrico

Protocolo Bluetooth



## PRUEBAS

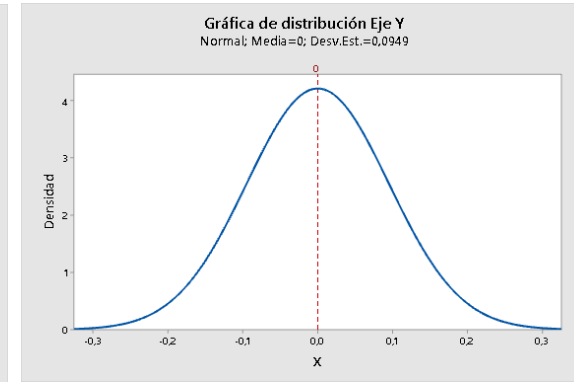
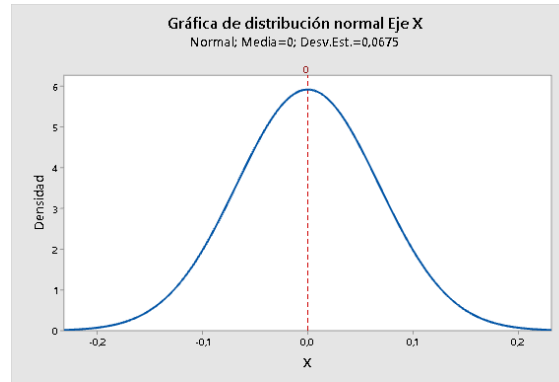
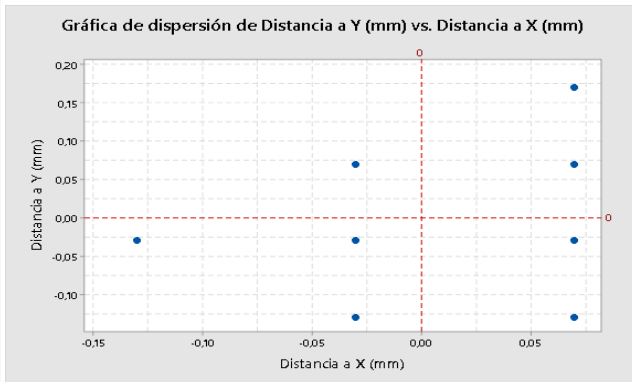
### Repetibilidad

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	PROMEDIO
Distancia a X (mm)	30	30.1	30.1	30.2	30.2	30.2	30.1	30.2	30.1	30.1	30.13
Distancia a Y (mm)	19.5	19.5	19.6	19.6	19.4	19.7	19.6	19.5	19.5	19.4	19.53

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Distancia a X (mm)	0.13	0.03	0.03	.07	.07	.07	0.03	.07	0.03	0.03
Distancia a Y (mm)	0.03	0.03	.07	.07	0.13	.17	.07	0.03	0.03	0.13

## PRUEBAS

### Repetibilidad



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum X^2}{N}}$$

Variable	Desv. Est.	Varianza
Distancia a X (mm)	0,0675	0,0046
Distancia a Y (mm)	0,0949	0,0090

$$X = \bar{X}30.13 * 0.0675$$

$$Y = \bar{Y}19.53 * 0.0949$$

$$X = \bar{X}2.033mm$$

$$Y = \bar{Y}1.85mm$$

## PRUEBAS

### Repetibilidad

#### SEQ diagnóstico Suitability Evaluation Questionnaire

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que el total obtenido del SEQ test tenemos un valor de 42.92 el cual se encuentra entre el rango recomendado 40 mínimo y 60 que sería el máximo establecido en el Test según Gómez (2013)

N.	PREGUNTA	Promedio
Q1	¿Cuánto disfrutó de la experiencia con el sistema?	4.08
Q2	¿Cuánto sentiste al estar en el ambiente del sistema?	4.08
Q3	¿Qué tan exitoso fue su trabajo en el sistema?	3.92
Q4	¿Hasta qué punto pudo controlar el sistema	3.23
Q5	¿Qué tan real es el entorno virtual del sistema?	4.46
Q6	¿Es clara la información proporcionada por el sistema?	4.85
Q7	¿Sintió molestias durante su experiencia con el sistema?	1.23
Q8	¿Experimentó mareos o náuseas durante su práctica con el sistema?	1.38
Q9	¿Experimentó molestias oculares durante su práctica con el sistema?	2.69
Q10	¿Se sintió confundido o desorientado durante su experiencia con el sistema?	3.92
Q11	¿Cree que este sistema será útil para su rehabilitación?	1.00
Q12	¿Encontró la tarea difícil?	4.46
Q13	¿Le resultó difícil utilizar los dispositivos del sistema?	3.62
<b>TOTAL</b>		<b>42.92</b>

## PRUEBAS

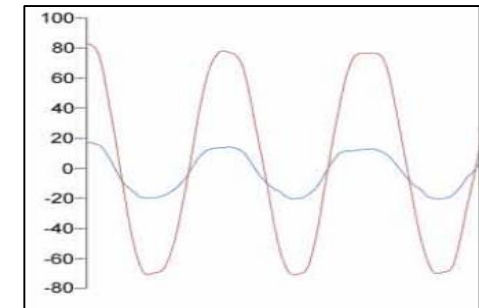
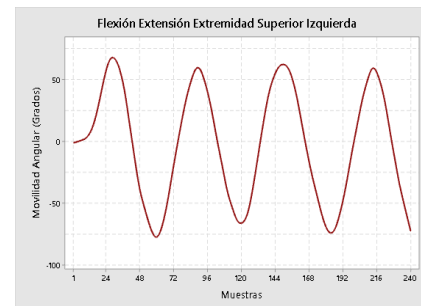
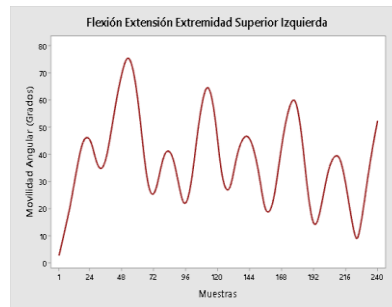
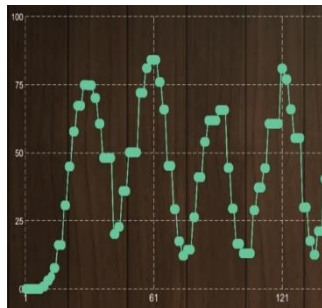
### Pruebas con pacientes

#### CONDICIONES DEL PACIENTE PARA TOMA DE MEDICIONES

- Los Dispositivos IMUs se colocan tres en cada brazo (3 como mínimo, i es el caso los 6)
- Los dispositivos IMUs poseen letras de indicación del lugar en donde se va a colocar como, por ejemplo: BD (Brazo derecho), BI (Brazo izquierdo).
- Para cada toma de muestras es necesario encender los 3 dispositivos IMU como mínimo, de igual forma apagarlos al terminar el muestreo.
- El paciente debe estar sentado frente al ordenador o Interfaz Hombre máquina
- El especialista que va a realizar las mediciones debe instruirle los ejercicios o movimientos que debe hacer el paciente.

## PRUEBAS

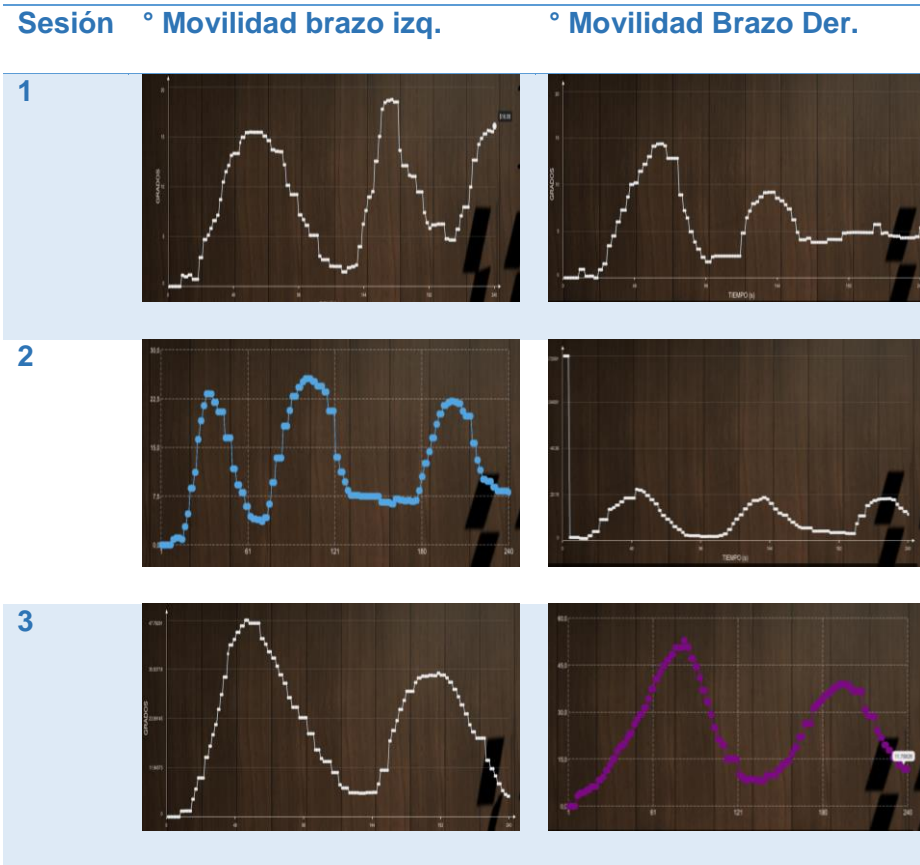
### Pruebas con pacientes sin DCA



Roldán (2017) el patrón cinemático  $180^\circ$  de flexión del hombro derecho, siendo que la posición del codo está extendido, la muñeca en posición la posición neutral y además que la zona palmar de la mano se encuentra hacia la línea media al inicio y al final del movimiento tomando en cuenta que hay una repetición de 8 movimientos

## PRUEBAS

### Pruebas con pacientes sin DCA



## ANEXO



Lic. Sandra Hurtado  
FISIOTERAPEUTA  
DIR: Ambato, Santa Rosa,  
Av. Gonzales Suárez y Neptali Sancho  
Telf: 032755226 – 0984454300

ESPECIALISTAS EN EL TRATAMIENTO DEL DOLOR

Ambato, 4 de Enero del 2021

Certifico que el Sr. ROBERTO CARLOS ALDAS MAYORGA con CI: 1804625265 y NELSON ANDRES MOLINA AGUIAR con CI: 0503335390, egresados de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Sede Latacunga, mediante su investigación con tema: "IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO PARA PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO QUE PERMITE LA ASISTENCIA Y EVALUACIÓN DE LA MOVILIDAD EN LA REHABILITACION DE LAS EXTREMIDADES SUPERIORES" han desarrollado un gran trabajo y han contribuido en el proceso de rehabilitación y recuperación de pacientes con problemas en la movilidad de las extremidades superiores en nuestras instalaciones.

Sandra Hurtado Lozada  
RUE: 1803593076001  
  
FIRMA AUTORIZADA  
FISIOTERAPEUTA



## CONCLUSIONES

- Mediante las investigaciones de las diferentes fuentes bibliográficas relacionadas con los movimientos de la biomecánica de las extremidades superiores, además de los tratamientos en lo que se refiere a la Fisioterapia como método de rehabilitación en problemas de movilidad se establecen los ángulos de movilidad en los cuales se establece el presente estudio.
- La utilización de un sistema de sensores IMUs conjunto con el equipo de rehabilitación automático para las extremidades superiores, permite que la valoración de la movilidad de las extremidades superiores en personas con DCA con lo cual los especialistas prevean su tiempo y sesiones en donde el especialista de fisioterapia para lograr su recuperación.

## CONCLUSIONES

- Mediante las características y métodos de selección se ha determinado que las componentes necesarias para el sistema de evaluación y asistencia en la movilidad de las extremidades superiores son un conjunto de componentes eléctricos, mecánicos y de software basados en los movimientos CNC los cuales permiten realizar cualquier tipo de trayectoria en el plano XY de este modo se genera los ejercicios de rehabilitación que el especialista considera adecuados.
- Mediante el sistema de sensores IMU, programación de la interfaz hombre máquinas en el Software Unity además de software de programación Arduino se obtiene curvas biomecánicas del movimiento de Flexión positiva y negativa en el Plano Sagital del paciente considerando el ángulo máximo del ejercicio como es  $180^\circ$  además de las condiciones en las que el software permite.

## CONCLUSIONES

- El sistema mecatrónico para asistencia y evaluación de la movilidad de las extremidades superiores de personas con DCA conjuntamente apoyado por una especialista fisioterapeuta en las sesiones de rehabilitación permite que personas con problemas de movilidad mejoren la capacidad de ser autosuficientes en su vida diaria, teniendo en cuenta que esto es de acuerdo a las condiciones de la enfermedad, tiempo de tratamiento, así como la persistencia del paciente además, mediante la aplicación del test SEQ: Suitability Evaluation Questionnaire el mismo que mide la aceptación, usabilidad y seguridad del sistema obteniendo un valor de 42.92 que se encuentra en el rango recomendado del test.

## RECOMENDACIONES

- Al implementar el sistema de IMUs para el estudio del movimiento todos los dispositivos que se conectan al bluetooth deben estar en la misma frecuencia de trabajo debido a que si un dispositivo trabaja en una frecuencia diferente hará que el sistema colapse por un error de tiempo de muestreos.
- Al realizar la órtesis se debe utilizar un material que se pueda adaptar a las diversas curvas que tienen las extremidades superiores en este caso se utiliza plástico en este caso PLA porque se puede manufacturar para el equipo de rehabilitación y además que casi todos los equipos de fisioterapia son de tipo plástico de esta forma se puede dar ergonomía al paciente.

## RECOMENDACIONES

- Al conectar el sistema de sensores IMUs es prudente esperar un tiempo de treinta segundos debido a que la interfaz al ser creada en Unity hace que la computadora consuma muchos recursos, además se debe encender los sensores IMU para una sola extremidad superior debido que al encender todo el sistema de IMUs hace que el programa se congele.
- Al desarrollar la impresión en 3D para las cajas contenedoras de los circuitos IMUs se debe tener en cuenta la expansión horizontal del plástico PLA ya que las impresiones deben ensamblarse de una forma correcta para cuando el musculo ejerza presión sobre las cajas de sensores IMUs no se desarme las cajas.