



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ROBÓTICO INTERACTIVO QUE PERMITA REALIZAR TERAPIA EN EXTREMIDAD SUPERIOR PARA PERSONAS CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO (DCA) EN SEGUNDA FASE.

### AUTORES

Guano Gutiérrez, Eduardo Javier

Quinatoa Vinocunga, Erika Vanessa

### DIRECTOR:

Ing. Torres Muñoz, Guido Rafael



# REHABILITACIÓN ROBÓTICA



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir la terapia física empleada para personas con daño cerebral adquirido en la segunda fase.
- Diseñar y modelar la estructura mecánica que va a formar parte del módulo robótico de terapia del brazo a través del software CAD-CAE.
- Construir el módulo robótico de terapia interactiva del brazo para personas con DCA.
- Diseñar el sistema de control que permita regular los diferentes modos de terapia interactiva para el correcto funcionamiento del módulo robótico.
- Ejecutar pruebas de funcionamiento para la validación del módulo robótico interactivo.





# DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO (DCA)

- El daño cerebral adquirido (DCA) es una discapacidad que está aumentando en nuestra sociedad, conlleva importantes consecuencias en el terreno personal, familiar y social de quienes la padecen.
- Las personas que sufren DCA presentan un déficit en sus capacidades cognitivas, alteraciones en sus emociones y cambios de carácter muy frecuentes. (López & Ayuso, 2010).

## ICTUS



**Si observa**  
estos síntomas



**Debilidad**  
Cara, brazo, y  
pierna (un lado)



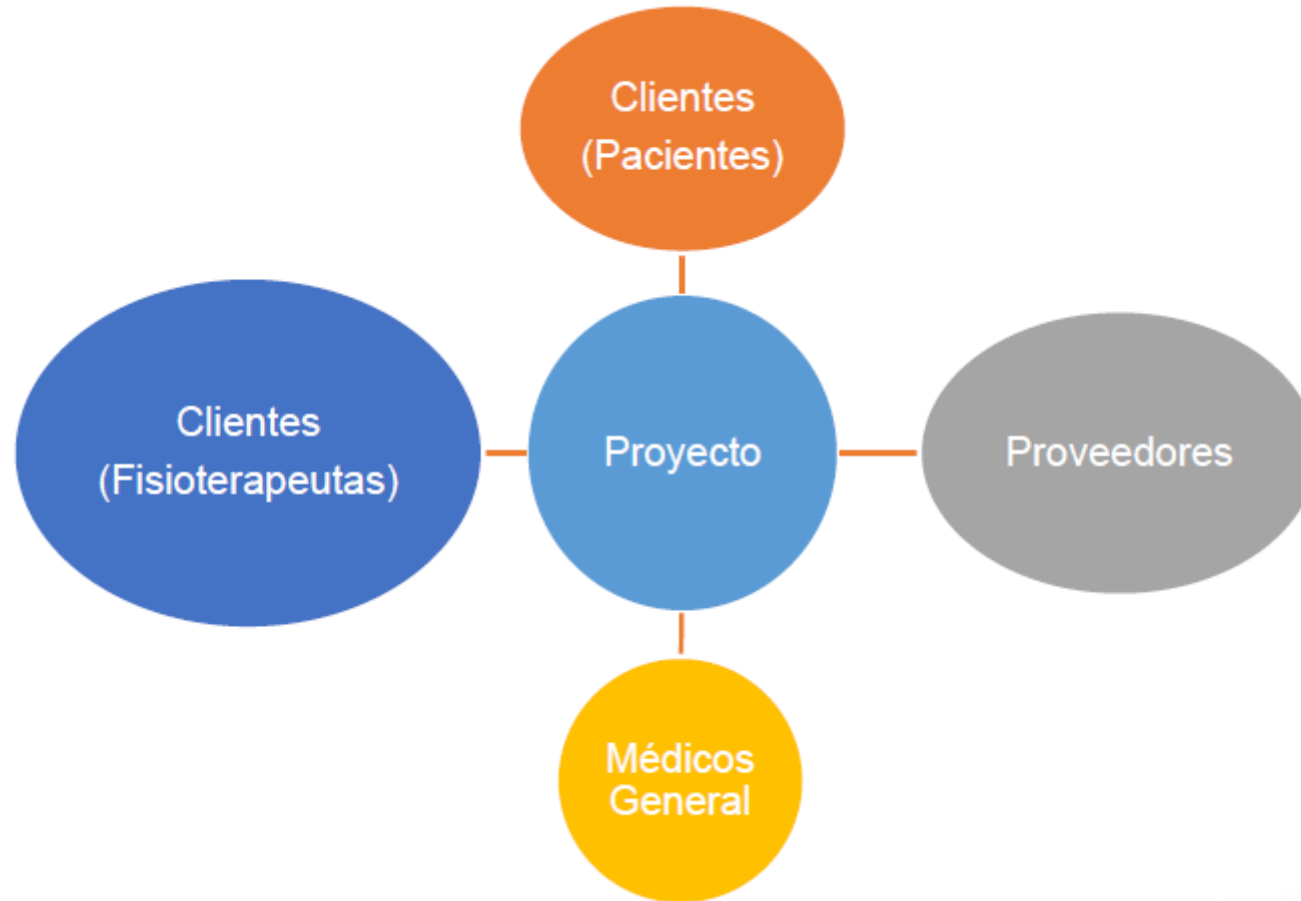
**Confusión**  
Dificultad para hablar



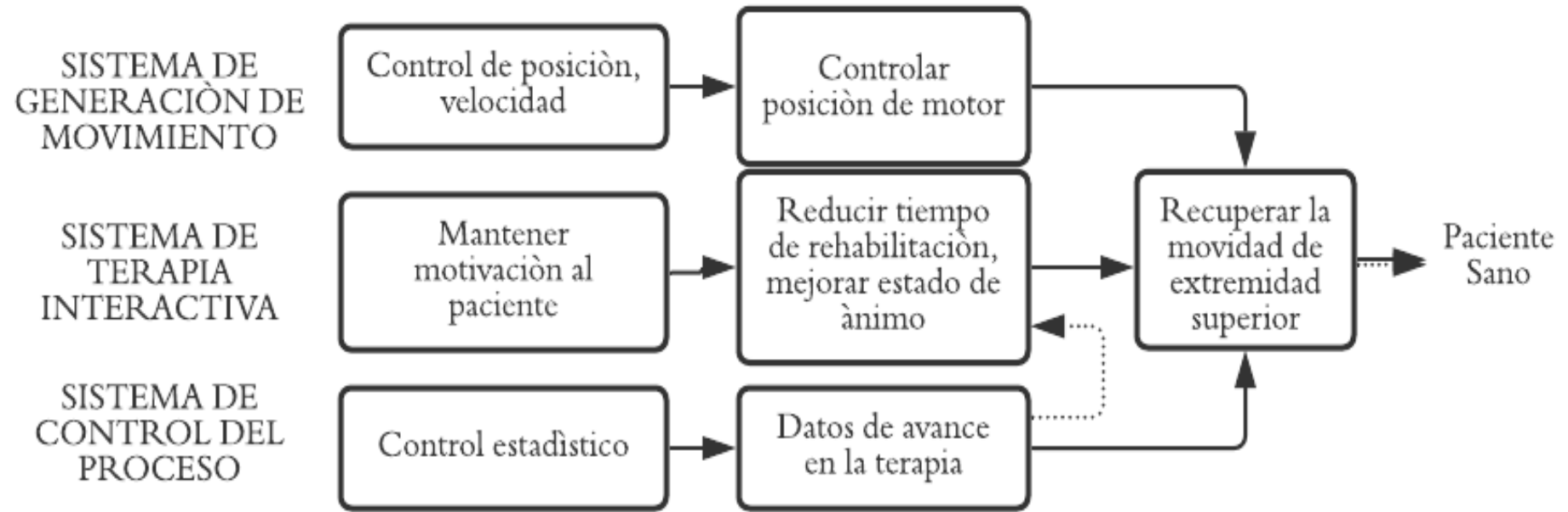
- Según un informe la incidencia anual de ictus se sitúa en 266 casos por 100.000 habitantes, de los cuales alrededor de 143 personas de cada 100.000 tendrá una probabilidad de secuelas de segundo. (López & Ayuso, 2010).



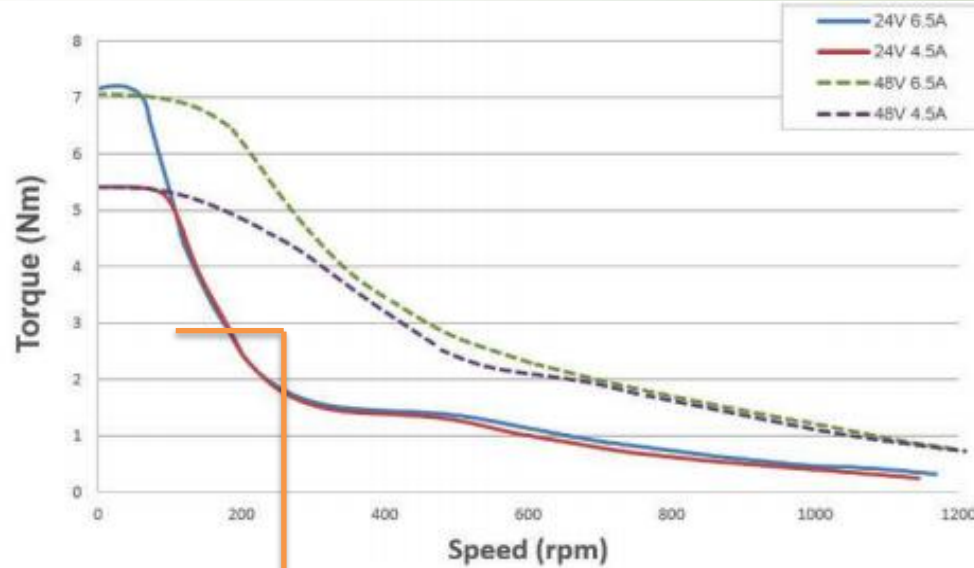
# INVOLUCRADOS



# ARQUITECTURA DEL MÓDULO ROBOTÍCO



# SELECCIÓN DE MOTORES



Motor Brushless a pasos

Modelo 86HSS4-5N

5V/6A

24V a 70V

$$\vec{r} = (x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k})$$

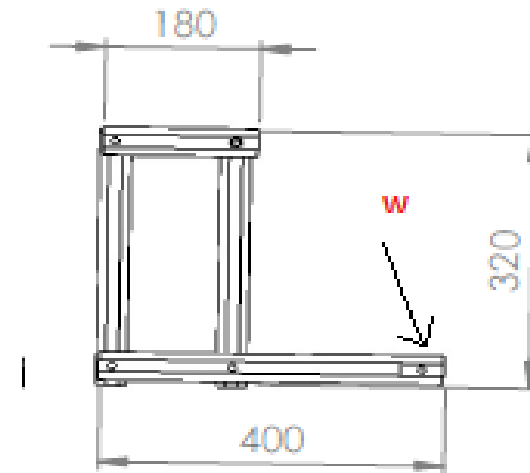
$$\vec{W} = (x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k})$$

$$M = \sqrt{(Mx^2 + My^2 + Mz^2)}$$

$$M = \begin{bmatrix} i & j & k \\ rx\vec{i} & xy\vec{j} & z\vec{k} \\ Fx\vec{i} & Fy\vec{j} & Fz\vec{k} \end{bmatrix}$$

$$M = 3.1\text{Nm}$$

$$M = (Mx + My + Mz)$$





# CONTROLADOR

Alternativas	Precio	Numero de Canales	Modos de Interface	Soporte Enconder	Tamaño	Peso	Total calificación
RTELLINGENT	1	3	2	1	1	1	9
TBB6600HG 5A	2	2	3	2	3	3	15
DM542	3	1	1	3	2	2	12

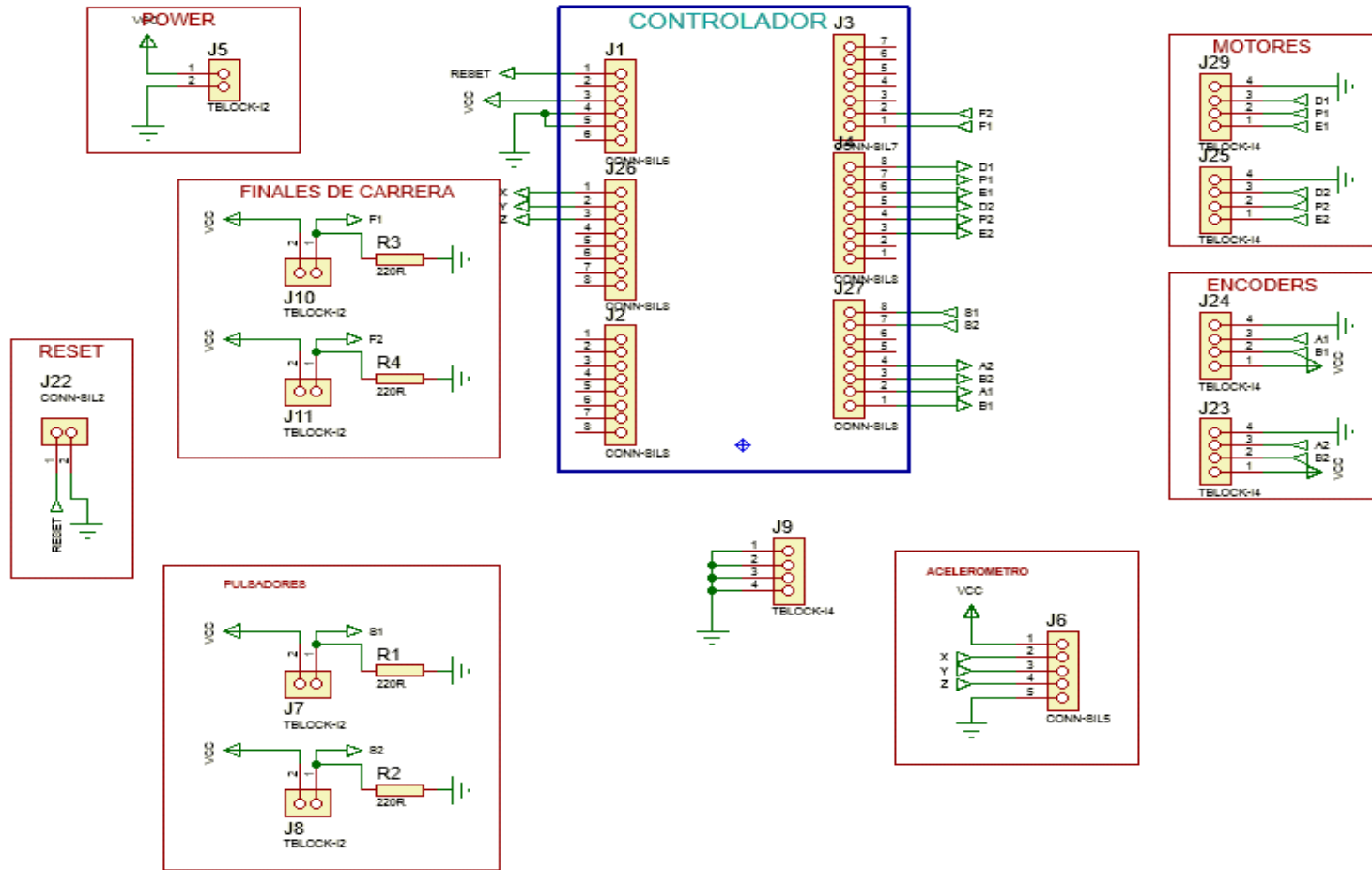


# FUENTE DE ALIMENTACIÓN

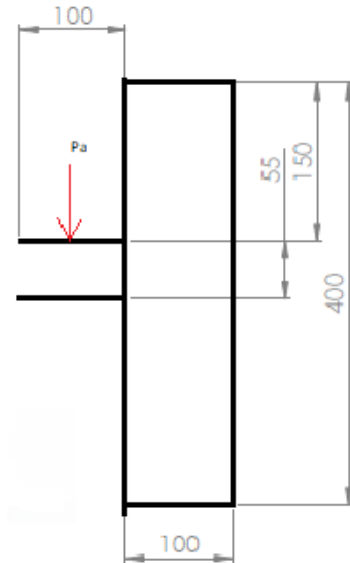
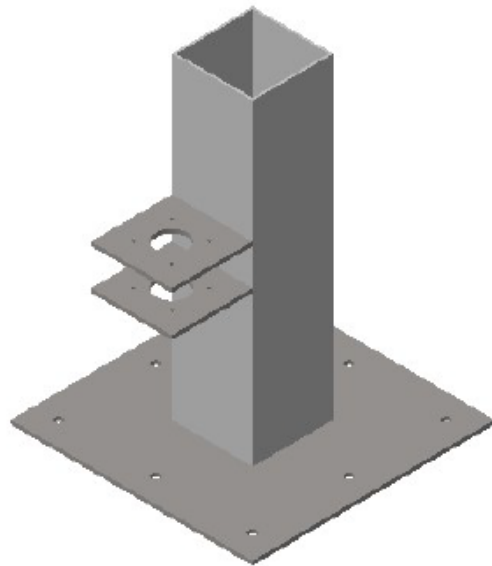
La fuente de alimentación seleccionada según el voltaje, corriente y potencia eléctrica requeridos por los elementos para el control del módulo robótico es LEADSTAR 24V 15A 360W Fuente de alimentación conmutada AC-DC



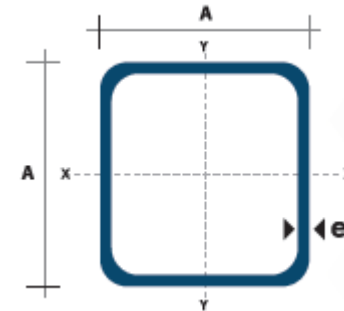
# ESQUEMA TARJETA DE CONTROL



# DISEÑO ESTRUCTURAL COLUMNA



Resistencia a la tensión	82 Gpa
Resistencia de fluencia	30 Ksi [207 MPa]
Coefficiente de poisson	0,29
Densidad	7.8 g/cm <sup>3</sup>
Módulo de Elasticidad	215 Gpa



# ESTRUCTURA COLUMNA

Esfuerzo Máximo

$$S_y = \frac{P_a N}{A} \left[ 1 + \frac{ec}{r^2} \sec \left( \frac{KL}{2r} \sqrt{\frac{P_a N}{AE}} \right) \right]$$

$$S_y = 1128.7 \text{ [KPa]}$$

Factor de Seguridad

$$N = \frac{S_{sy}}{\tau}$$

$$N = 4.1$$

Deflexión del eje de la columna

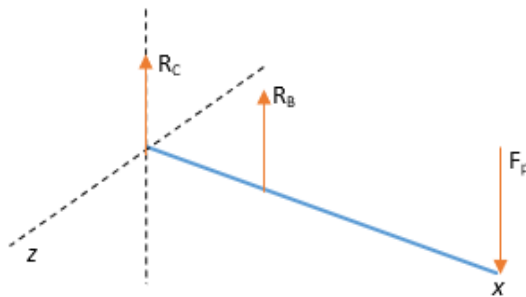
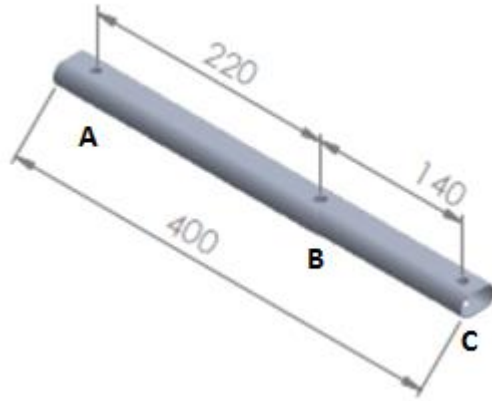
$$Y_{max} = e \left[ \sec \left( \frac{KL}{2r} \sqrt{\frac{P_a N}{AE}} \right) - 1 \right]$$

$$Y_{max} = 2.137 * 10^{-7} \text{ cm}$$





# ESLABÓN 1



Reacción B y C

$$R_C = -74.42 [N]$$

$$R_B = 13.53 [N]$$

Momento

$$M = 13395.8 [Nmm]$$

Flexión Máxima

$$Y_{max} = -\frac{F_p L^3}{EI} \left( \frac{a^2}{4 L^2} + \frac{a^3}{3 L^3} \right)$$

Esfuerzo Normal Calculado

$$\sigma_c = \frac{Mc}{I}$$

Esfuerzo Normal de Diseño

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_d = 80.33 MPa$$

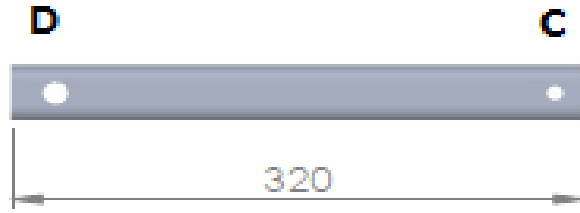
$$\sigma_c < \sigma_d$$

$$20,41 MPa < 80.33 MPa$$



# ESLABÓN 2

Esfuerzo de flexión normal



$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(Fp L)c}{I}$$

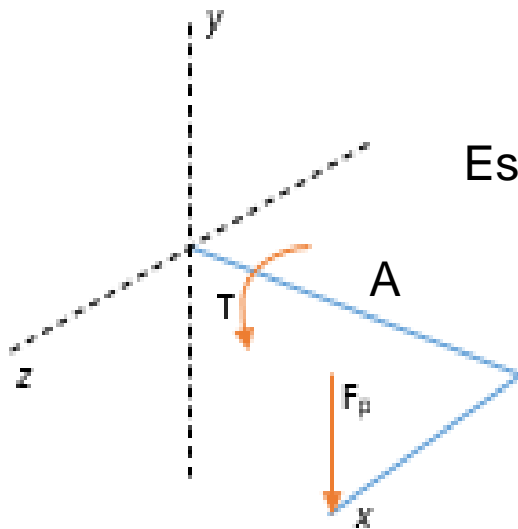
$$\sigma_x = 26.73 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

$$\tau_{\max} = 40.75 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante por torsión en el punto



$$\tau_{xz} = \frac{Tr}{J} = \frac{(Fp a)r}{J}$$

$$\tau_{xz} = 38.52 \text{ MPa}$$

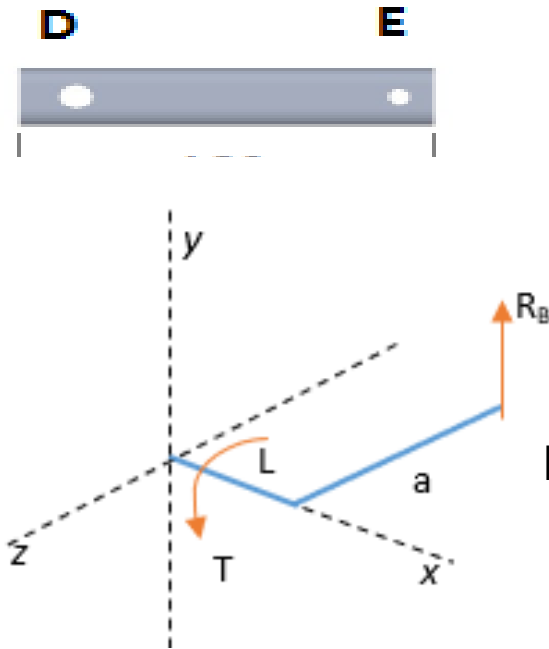
Factor de Seguridad

$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N = 3.35$$



# ESLABÓN 3



Esfuerzo de flexión normal

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(R_B L)c}{I}$$

$$\sigma_x = 15.036 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante por torsión en el punto A

$$\tau_{xz} = \frac{Tr}{J} = \frac{(R_B a)r}{J}$$

$$\tau_{xz} = 36.59 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

$$\tau_{\max} = 37.35 \text{ MPa}$$

Factor de Seguridad

$$N = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$N = 3.6$$

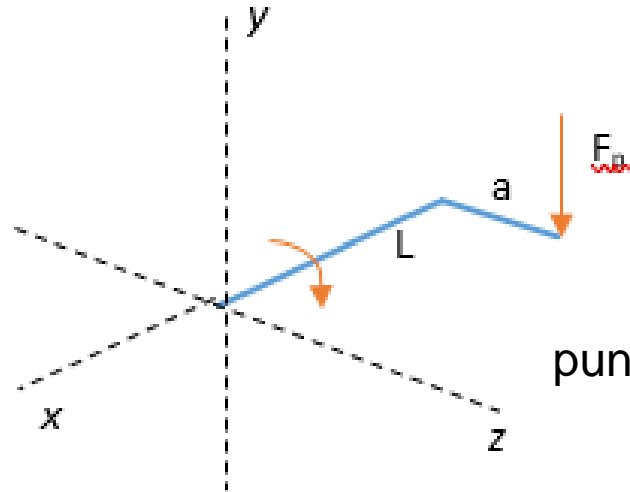


Esfuerzo de flexión normal



$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{(FpL)c}{I}$$

$$\sigma_x = 26.73 \text{ MPa}$$



Esfuerzo cortante por torsión en el

punto A

$$\tau_{xz} = \frac{Tr}{J} = \frac{(Fp a)r}{J}$$

$$\tau_{xz} = 21.18 \text{ MPa}$$

Esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

$$\tau_{\max} = 25.01 \text{ MPa}$$

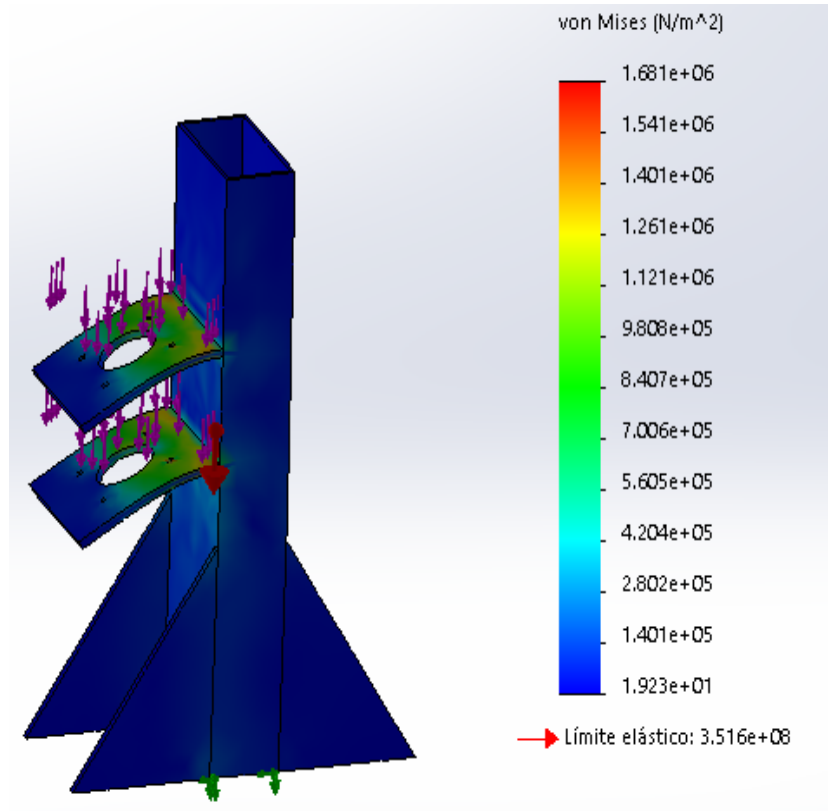
Factor de Seguridad

$$N = \frac{0.50 S_y}{\tau_{\max}}$$

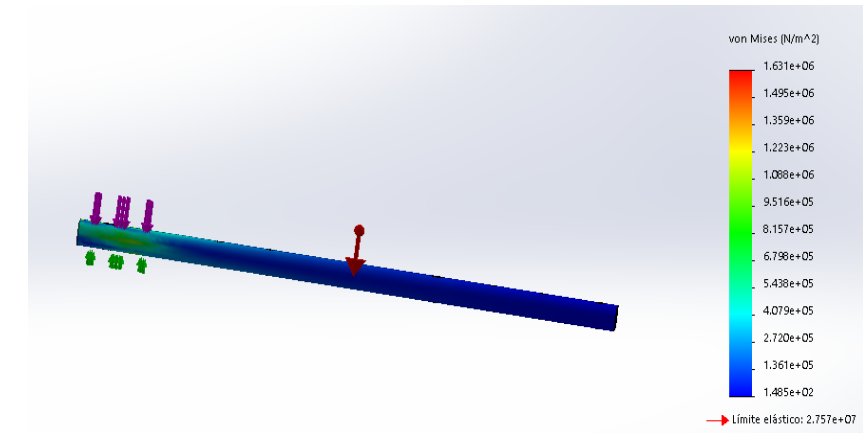
$$N = 4.8$$



# ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS



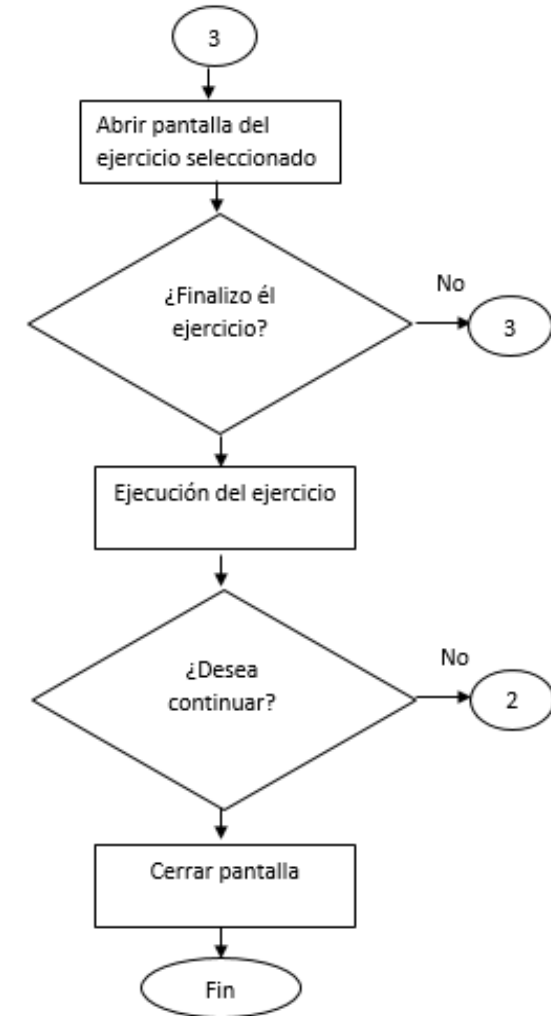
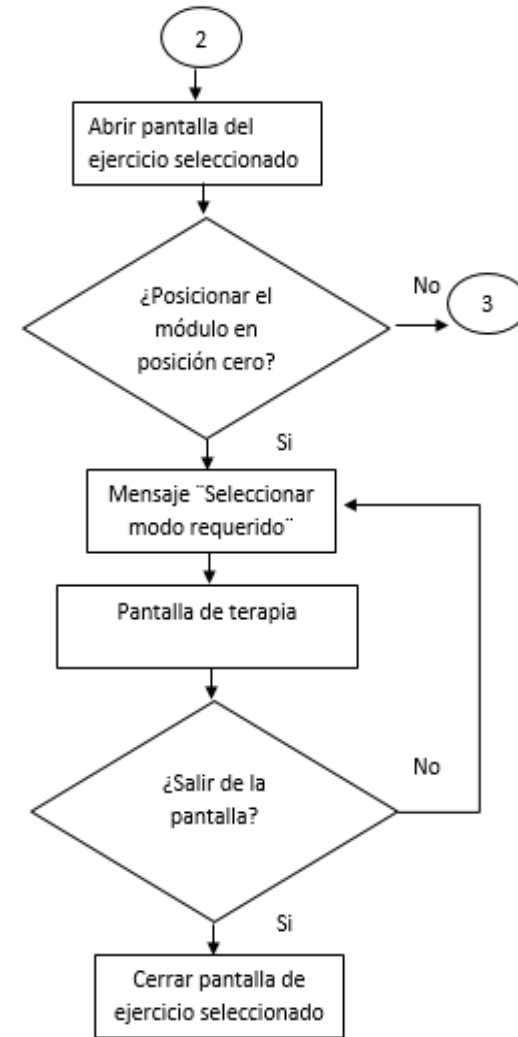
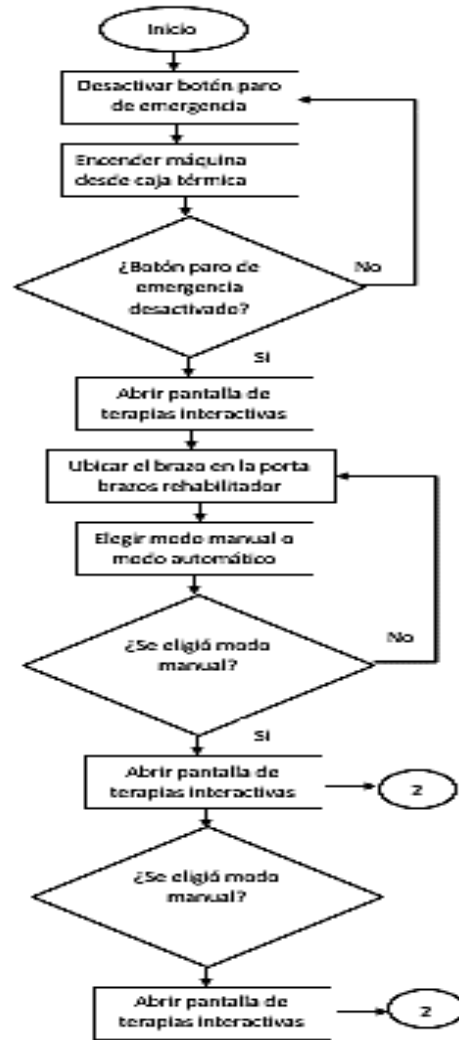
VON – MISES COLUMNA



VON – MISES MECANISMO



# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA



# SISTEMA DE TERAPIA INTERACTIVA



The screenshot shows the introduction window of the interactive therapy system. It features a dark green background with a circuit board pattern on the left. At the top left is the logo for 'INGENIERIA MEATRONICA ESPE LATACUNGA'. At the top center is the ESPE logo, which includes the Ecuadorian coat of arms and the text 'ESPE UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INNOVACION PARA LA EXCELENCIA'. The main text reads: 'DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO ROBÓTICO INTERACTIVO QUE PERMITA REALIZAR TERAPIA EN EXTREMIDAD SUPERIOR PARA PERSONAS CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO (DCA) EN SEGUNDA FASE.' Below this text are three buttons: 'EJERCICIOS DE REHABILITACIÓN', 'REGISTRO DE PACIENTES', and 'SALIR'. To the right of the buttons, the authors are listed: 'POR: ERIKA VANESSA QUINATOA VINOCUNGA EDUARDO JAVIER GUANO GUTIÉRREZ' and the director: 'DIRECTOR: ING. TORRES MUÑOZ GUIDO RAFAEL'. A small blue and white robot character is positioned to the right of the text.

Ventana de introducción al sistema contiene opciones como registro de paciente y ejercicios de rehabilitación



# SISTEMA DE TERAPIA INTERACTIVA

Datos del Paciente

### REGISTRO DE PACIENTE

Nombre:	<input type="text"/>	Ejercicio de Rehabilitación	<input type="text"/>
N. Cédula:	<input type="text"/>	Selección Ejercicio.....	<input type="text"/>
Edad:	<input type="text"/>	Calificación	<input type="text"/>
Ciudad:	<input type="text"/>	Repetición 1:	<input type="text"/> %
e-mail:	<input type="text"/>	Repetición 2:	<input type="text"/> %
Médico:	<input type="text"/>	Repetición 3:	<input type="text"/> %

Ventana de registro del paciente, base de datos.

### EJERCICIOS Y JUEGO DE TERAPIA ASISTIDA

MODO AUTOMÁTICO

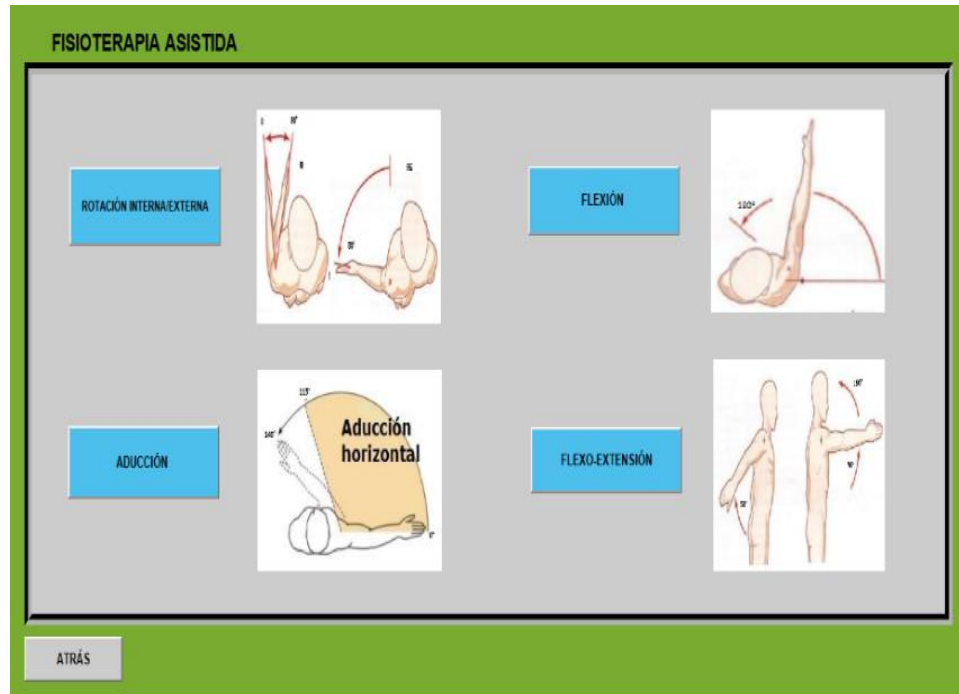
MODO MANUAL

<input type="button" value="RULETA"/>	<input type="button" value="MANZANA"/>
<input type="button" value="IMAGEN"/>	<input type="button" value="SENDERO"/>

Ventana de selección del modo de rehabilitación de la extremidad superior, modo automático y modo manual.



# MODO AUTOMÁTICO Y MANUAL



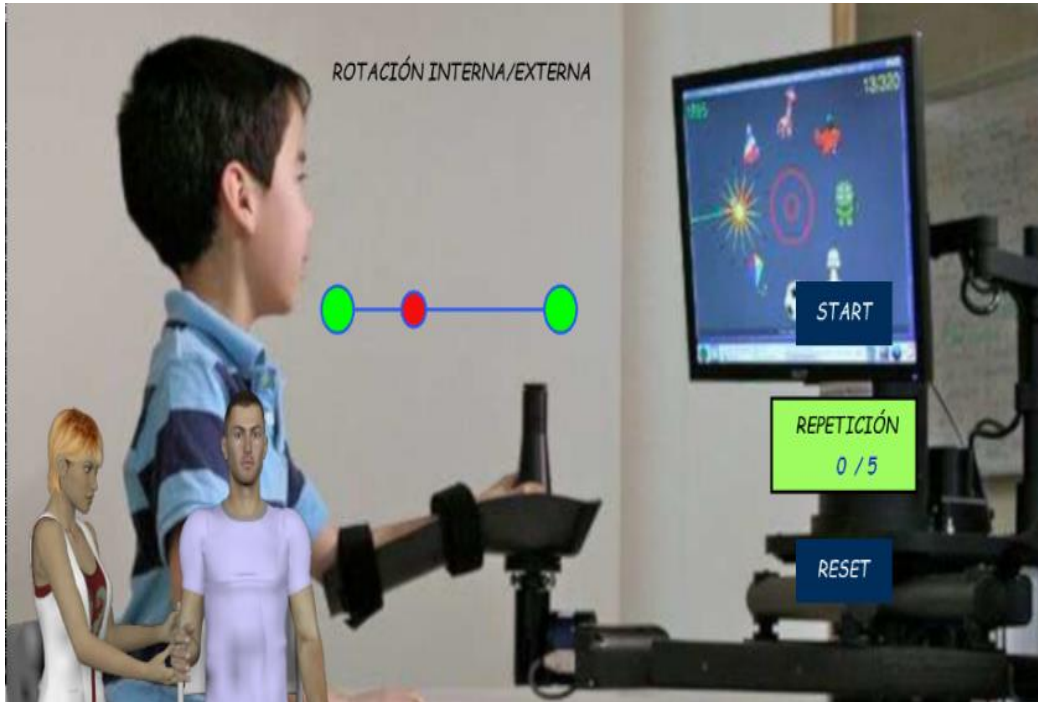
Ventana de rehabilitación en modo automático



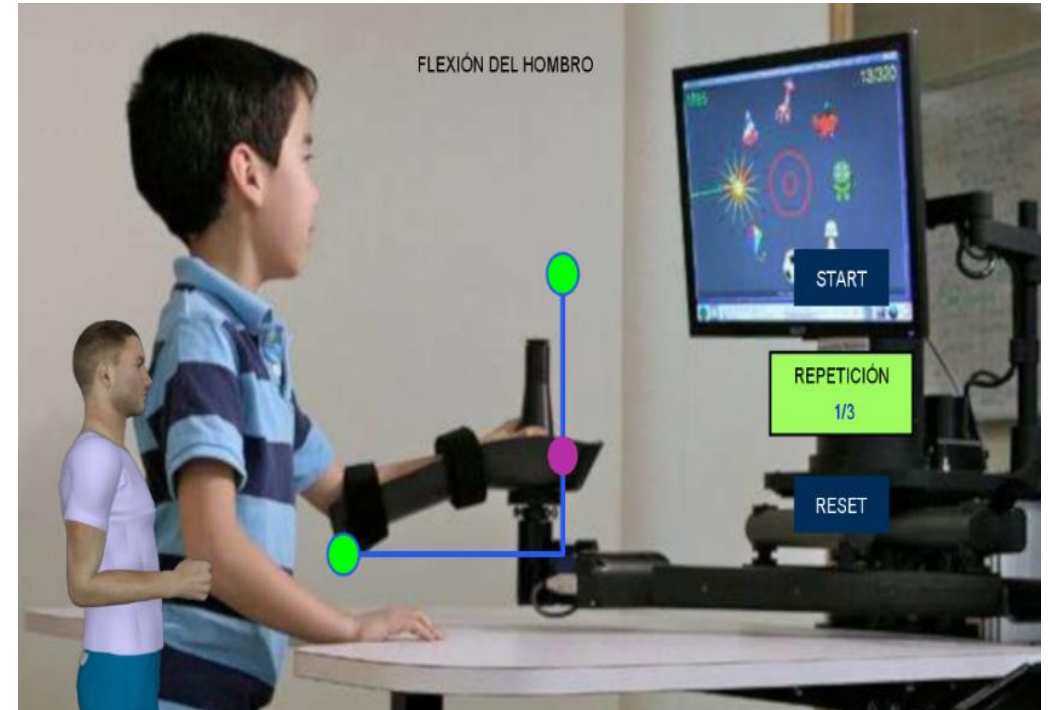
Ventana de rehabilitación en modo manual



# MODO AUTOMÁTICO



Ventana movimientos de rotación interna y externa del brazo



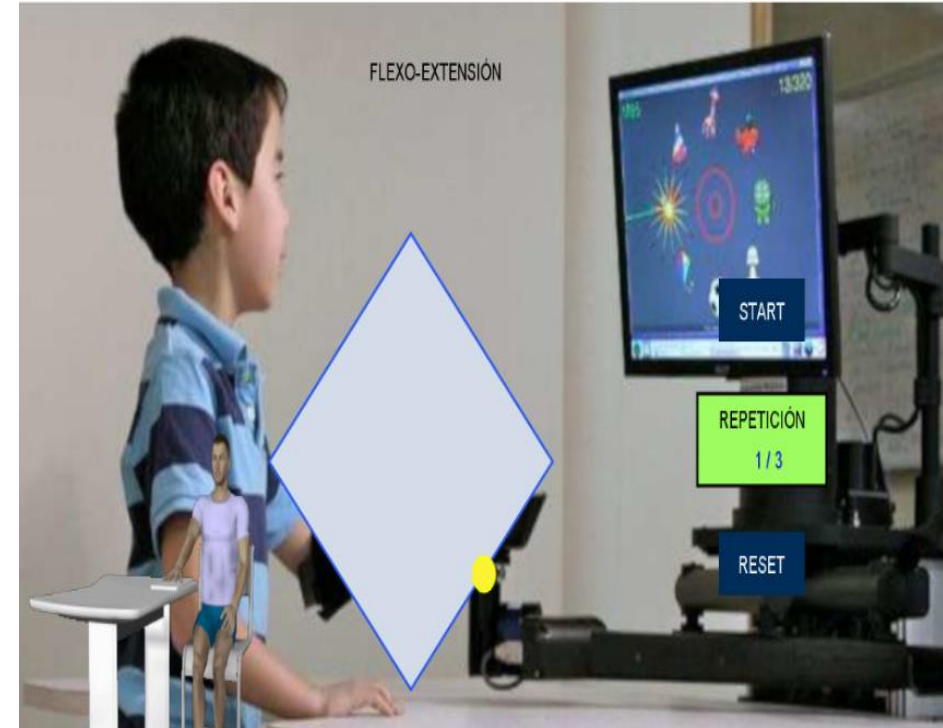
Ventana movimientos de flexión del hombro



# MODO AUTOMÁTICO



Ventana movimientos de aducción del hombro



Ventana movimientos de flexión-extensión del hombro

# MODO MANUAL



Ventana del juego recoger las manzanas del bosque



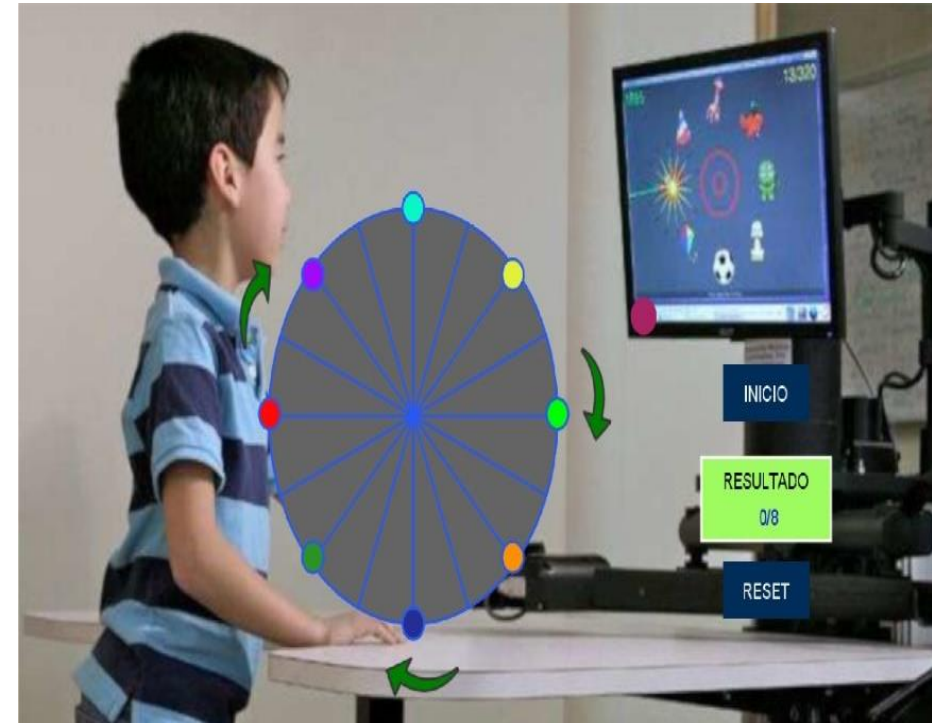
Ventana sigue el sendero del barco



# MODO MANUAL



Ventana de la terapia Descubrir la imagen



Ventana explota las pelotas de la ruleta.

# HOJA DE RESULTADOS REGISTRO DEL PACIENTE

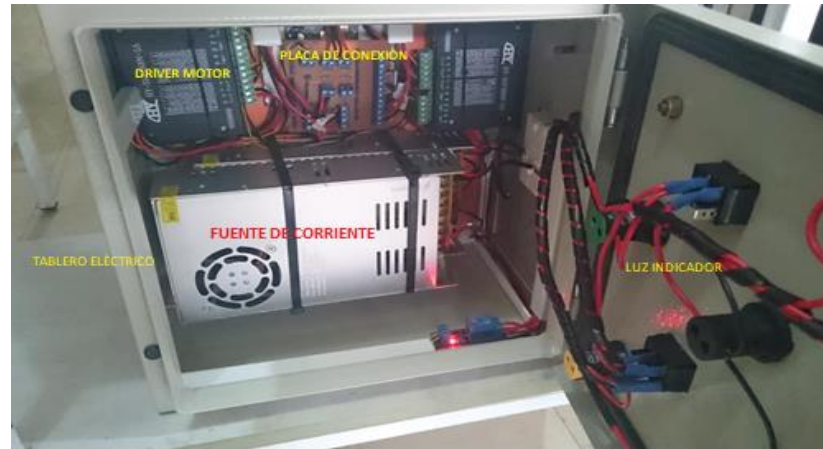
Registro de Usuario:	8/7/2019 20:57
Tipo de Juego:	Atrapa la Manzana
Nombre:	Julio Guano
Cedula:	501094346
Edad:	59
Ciudad:	Latacunga
E-mail:	julioguano@gmail.com
Médico:	Carlos Sánchez
Repetición1:	30
Repetición2:	45
Repetición3:	80
Promedio:	51,66666667

Registro de Usuario:	9/7/2019 8:34
Tipo de Juego:	Atrapa la Manzana
Nombre:	Julio Guano
Cedula:	501094346
Edad:	59
Ciudad:	Latacunga
E-mail:	julioguano@gmail.com
Médico:	Carlos Sánchez
Repetición1:	50
Repetición2:	60
Repetición3:	70
Promedio:	60

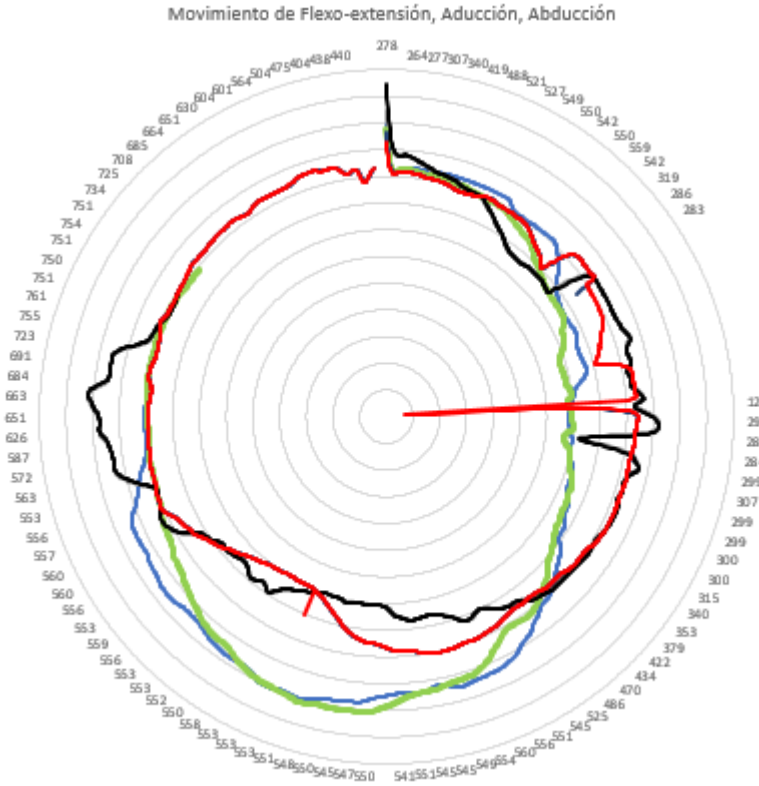
La hoja de registro del paciente se guarda con el nombre, para la siguiente sesión de rehabilitación que realice este se guarda en su registro diferenciándose por la fecha que realice la terapia .



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA



# PRUEBAS CON PACIENTES



Tenemos el progreso del paciente al realizar el test de movimientos de flexión - extensión y rotación interna/externa de la extremidad superior recorriendo los puntos que tiene el circulo y pasando

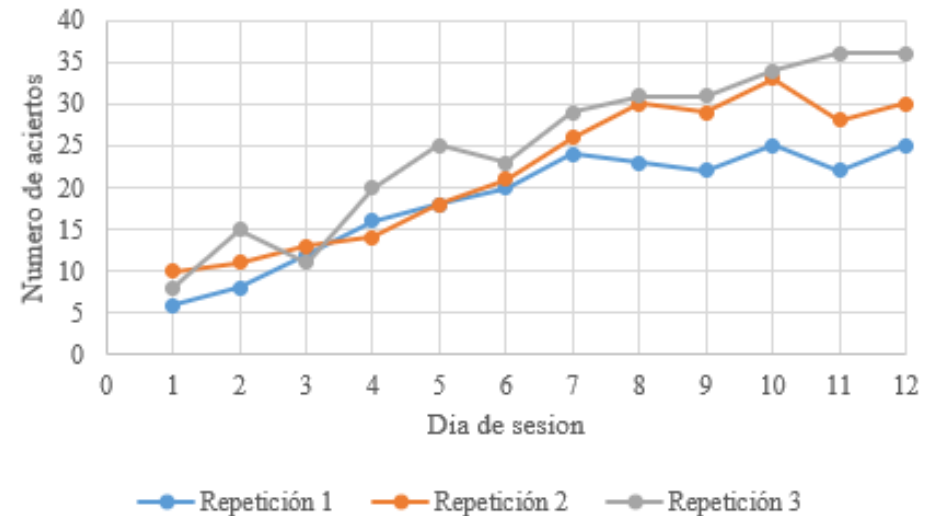
# PRUEBAS Y RESULTADOS

## Terapia interactiva: Manzanas del bosque

Paciente: Herrera

ACIERTOS	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6
Repeticón 1	6	8	12	16	18	20
Repeticón 2	10	11	13	14	18	21
Repeticón 3	8	15	11	20	25	23
PROMEDIO	8	11.3	18	16.6	20.33	21.3
	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12
Repeticón 1	24	23	22	25	22	25
Repeticón 2	26	30	29	33	28	30
Repeticón 3	29	31	31	34	36	36
PROMEDIO	26.3	28	27	30.6	28.6	30.3

### SESION TERAPIA VS ACIERTOS





# VALIDACIÓN DE LA HIPÓTESIS

- H1: El módulo robótico para la terapia de extremidades superiores, tendrá la capacidad de mejorar la movilidad de la extremidad superior para personas con Daño Cerebral Adquirido (DCA) en segunda fase.

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - ft)^2}{ft}$$

*f*: Frecuencia del valor observado

*f*: Frecuencia del valor esperado

$$\chi_{\text{tabulado}} = 17.27$$

$$\chi_{\text{calculado}} = 9.65$$

$$\chi_{\text{calculado}} < \chi_{\text{tabulado}}$$

$$9.65 < 17.27$$



# CONCLUSIONES

- El diseño del módulo robótico interactivo cumple con las exigencias para realizar rehabilitación de la extremidad superior
- Los elementos de diseño mecánico del prototipo cumplen los esfuerzos a los cuales están sometidos.
- En las diferentes sesiones se verifica una mejoría en la movilidad de la extremidad superior, por medio de las terapias interactivas.
- El módulo robótico está basado en un mecanismo de cuatro barras lo que permite una mejora en la funcionalidad.



# CONCLUSIONES

- La interfaz gráfica del módulo robótico tiene un diseño intuitivo y amigable con el paciente, cuenta con diferentes escenas relacionadas a la terapia que está realizando el mismo, por medio de la interfaz gráfica el fisioterapeuta puede controlar la velocidad y los modos de terapia que están a disposición en el modo manual y automático.
- Los resultados que se realizó con pacientes con DCA permitieron conocer la evolución de la extremidad superior luego de diferentes sesiones realizadas dando un avance en el movimiento voluntario de la extremidad superior de una manera satisfactoria.



# RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el personal de turno previamente verifique la conexión de los cables tanto de control como de potencia del sistema para que funcione correctamente y no reciban notificaciones, con la finalidad de evitar errores en la ejecución del sistema, de esta manera las notificaciones son enviadas en tiempo real como respuesta de algún suceso en la rutina de rehabilitación.
- Se recomienda antes de realizar la adquisición de los datos tener en cuenta la ubicación del efector de posición, ya que si no se encuentra en la distancia predeterminada ocasiona falsas detecciones en el paciente.



# RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar mantenimiento constante a los componentes del sistema utilizando un equipo de medición eléctrica, esto ayuda a reducir riesgos en desconexión los cuales afectarían directamente a los resultados del proceso.
- Para mayor comodidad durante la terapia se debe colocar correctamente el apoyo para el antebrazo, de esta forma se evita el amortiguamiento de la extremidad superior.
- Se recomienda realizar las sesiones de terapia con la supervisión del médico fisioterapeuta con la finalidad de precautelar la integridad del paciente, además de conocer las diferentes reacciones que tenga el paciente cuando este en interacción con el módulo robótico interactivo.

# ***GRACIAS***



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