



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

**TEMA: “REDISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE UN PROTOTIPO
ROBÓTICO REHABILITADOR DE LOS DEDOS DE LAS DOS
MANOS PARA PERSONAS CON DCA, CONTROLADO A LAZO
CERRADO E IMPLEMENTADO EN SOFTWARE LIBRE”**

AUTORES:

- QUINGA ACOSTA, LUIS ISRAEL
- SARZOSA GARCIA, DARWIN SANTIAGO

DIRECTOR:

ING. TORRES MUÑOZ, GUIDO RAFAEL

LATACUNGA 2021



Planteamiento del Problema

Objetivos

Marco Teórico

Diseño Mecánico

Diseño Electrónico

Diseño de Control

Pruebas y Resultados

Conclusiones y Recomendaciones

Video



Planteamiento del Problema

En el mundo de la rehabilitación autónoma la tecnología ha desarrollado un gran avance. Se han desarrollado máquinas de rehabilitación para las diferentes extremidades del cuerpo, permitiendo una mayor calidad y comodidad al realizar una rehabilitación.

En el Ecuador, existe un bajo nivel de tecnología en la rehabilitación física, razón por lo cual las terapias físicas requieren aun de la intervención durante toda la sesión de un traumatólogo lo que hace que la calidad del ejercicio se vea comprometido.

Otra problemática es que el diagnostico de avance del paciente brindado por el terapeuta se basa en observaciones y apreciaciones sin tener como respaldarse en datos cuantitativos reales que le permitan llegar a una conclusión mas real

Adicional los dispositivos autónomos para terapias físicas son extremadamente caros y ni siquiera asequibles para centros de rehabilitación o de salud



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OBJETIVO GENERAL

Rediseño y repotenciación de un prototipo robótico rehabilitador de los dedos de las manos para personas con daño cerebral adquirido (DCA), controlado a lazo cerrado e implementado en software libre.

Entender el funcionamiento y determinar las mejoras a realizar en el modelo base.

Rediseñar el prototipo robótico para la terapia de los dedos de las manos para personas con daño cerebral adquirido (DCA).

Rediseñar el sistema de control a lazo cerrado del prototipo robótico para la rehabilitación de los dedos de las manos.

Implementar un HMI en software libre para el manejo del dispositivo robótico para la rehabilitación de los dedos de las manos.

Realizar pruebas de funcionamiento del dispositivo robótico para la terapia de los dedos de las manos para personas con daño cerebral adquirido (DCA)



Marco Teórico

Daño Cerebral Adquirido (DCA)

Lesión que se da en el cerebro

Traumatismo craneoencefálico (TCE)

Accidente cardiovascular (ACV)

Ictus isquémico, ictus hemorrágico



Secuelas del DCA

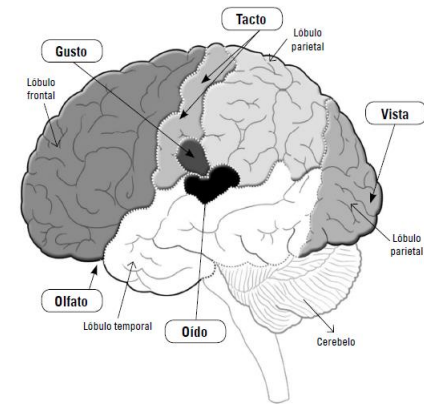
Área emocional

Área motriz

Área cognitiva

Área de comunicación

Área sensorial y sensitiva



Marco Teórico

Análisis del Robot AMADEO

Para personas con deficiencia cognitiva y motora

Sistema mecatrónico para rehabilitar dedos

Configuración de parámetros para cada paciente

Rutina de ejercicios variada (extensión y contracción)



Análisis del mecanismo manivela-biela corredera

El análisis dinámico del mecanismo manivela-biela-corredera se realizó con un análisis vectorial y las ecuaciones obtenidas se solucionaron en el software Matlab

$r1$ = es la excentricidad, distancia vertical desde el nodo C hasta el nodo A.

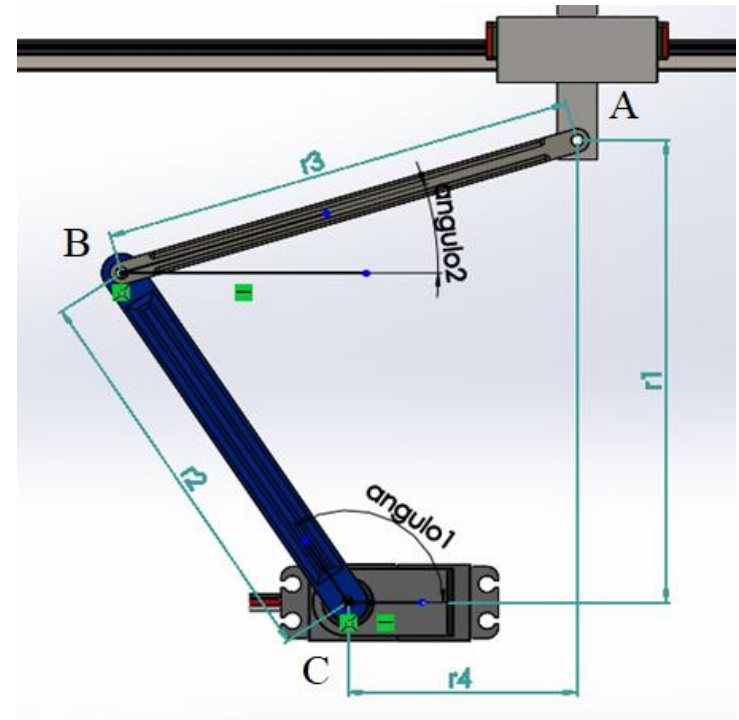
$r2$ = distancia de la manivela.

$r3$ = distancia de la biela.

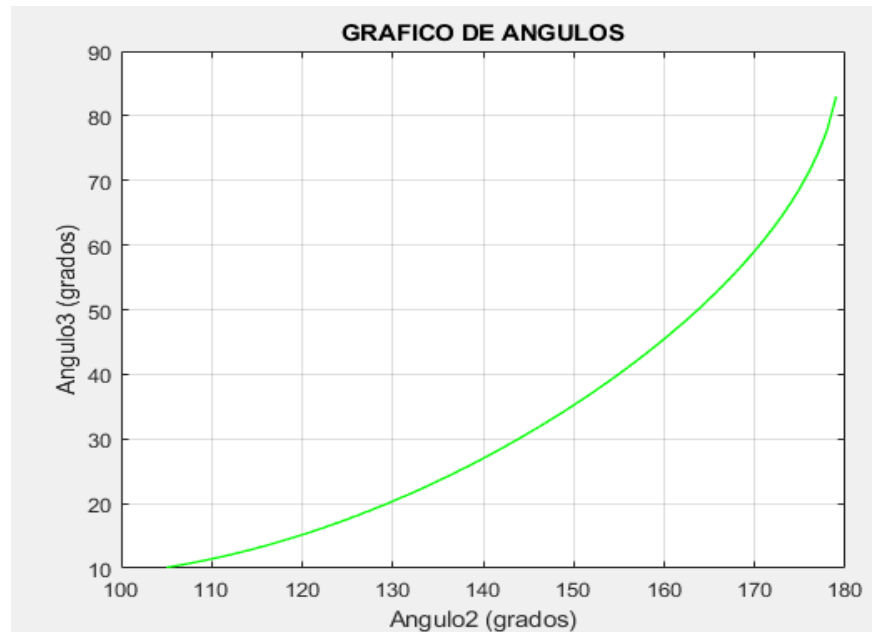
$r4$ = distancia horizontal desde el nodo C hasta el nodo A.

$\text{ángulo}1 = \theta_2$ ángulo medido desde $r4$ hasta $r2$

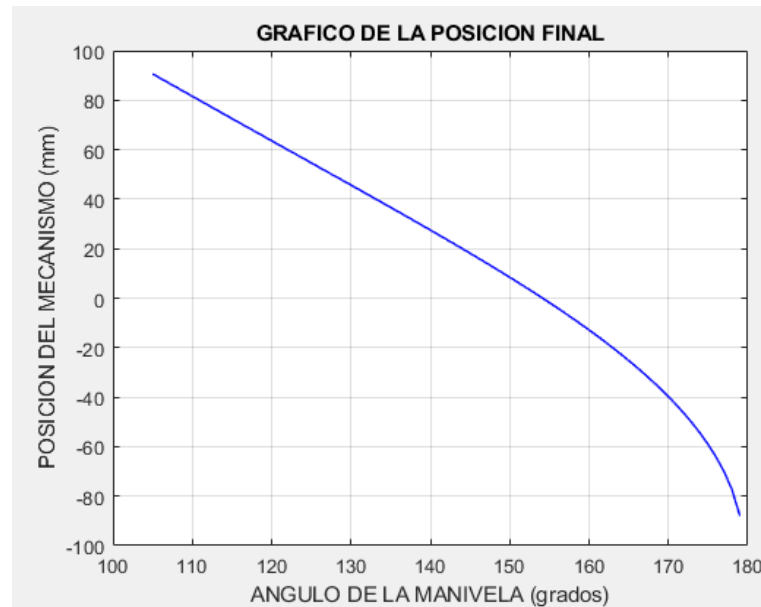
$\text{ángulo}2 = \theta_3$ ángulo de una paralela de $r4$ en el nodo B hasta $r3$



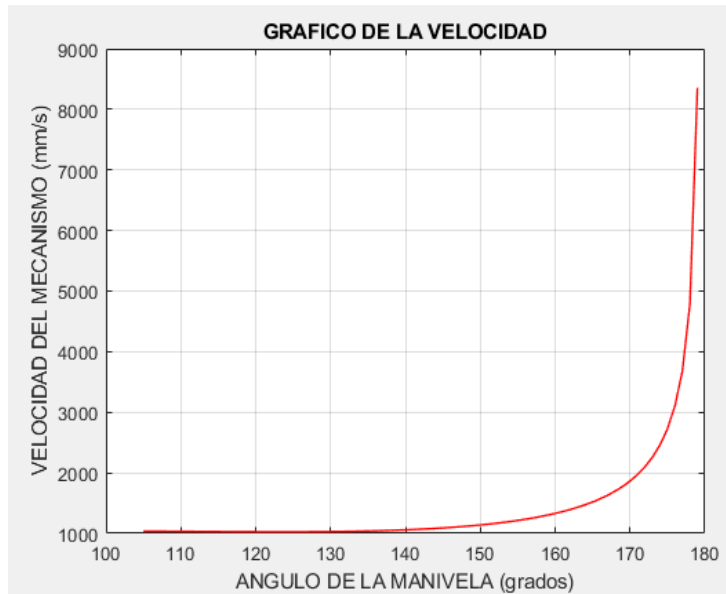
Relación existente entre los ángulos θ_2 y θ_3 , donde θ_2 varía de 105 a 179 a 179



Posición lineal de la corredera conforme aumenta el ángulo θ_2 , con un desplazamiento total de 180 mm

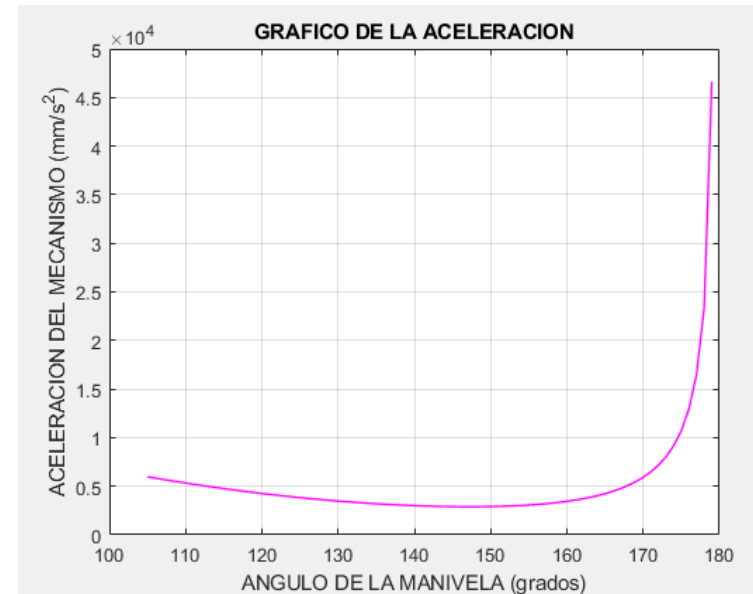


Velocidad lineal de la corredera en relación con θ_2



Con una velocidad máxima de 11.091 rev/seg .

Aceleración lineal de la corredera en relación con θ_2

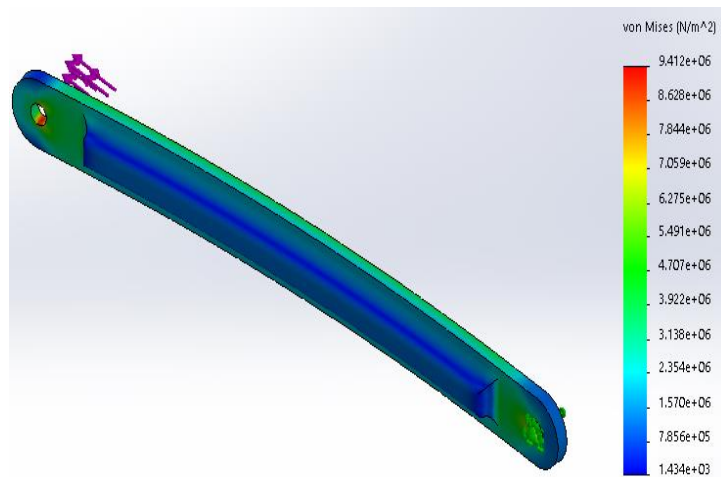


Con aceleración máxima de 61.87 rev/seg^2

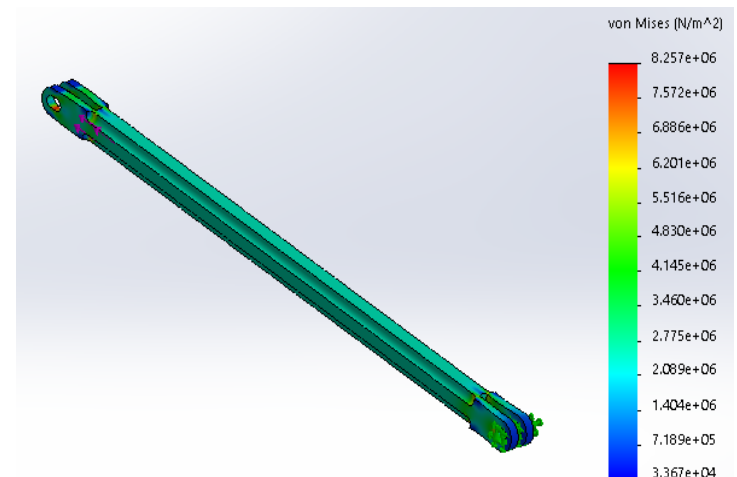
Mecanismo biela- manivela

Análisis de esfuerzos

Fuerza máxima que se determina en el mecanismo biela manivela es 73.577 N



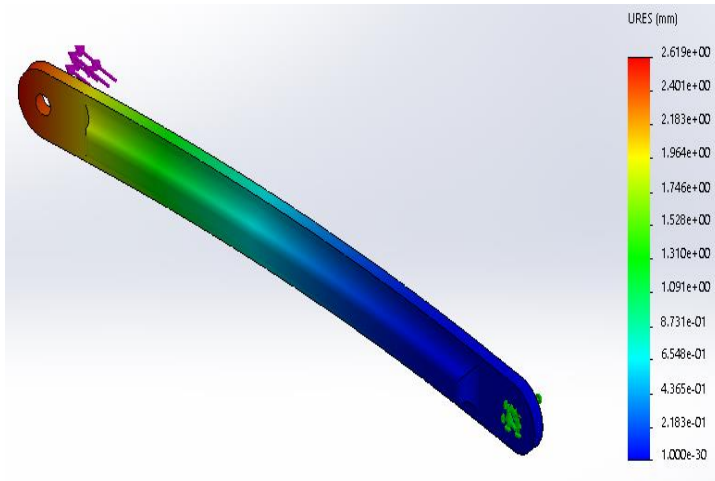
valor mínimo de $1.434 \times 10^3 \text{ N/m}^2$
valor máximo de $9.412 \times 10^6 \text{ N/m}^2$



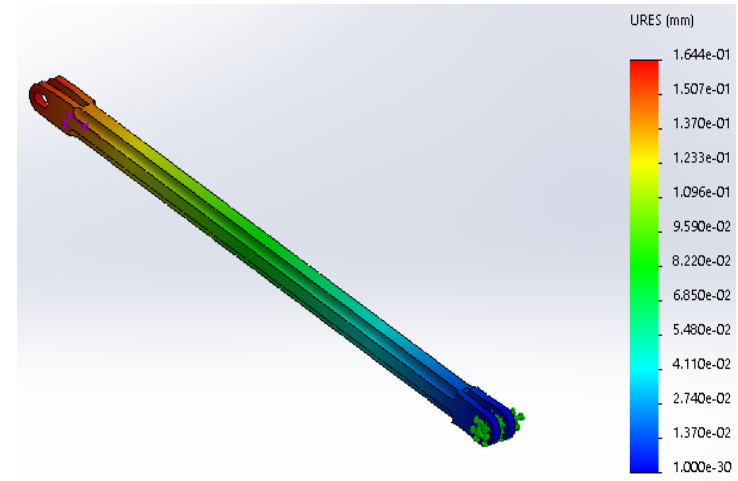
valor mínimo de $3.367 \times 10^4 \text{ N/m}^2$
valor máximo de $8.257 \times 10^6 \text{ N/m}^2$

No superan el límite elástico de 46 MPa del ABS

Análisis de desplazamientos

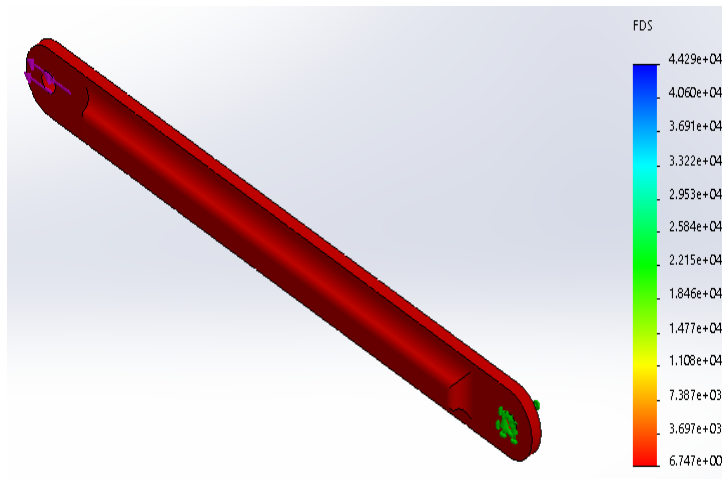


valor mínimo de $1 * 10^{-3} \text{ mm}$
valor máximo de 2.619 mm

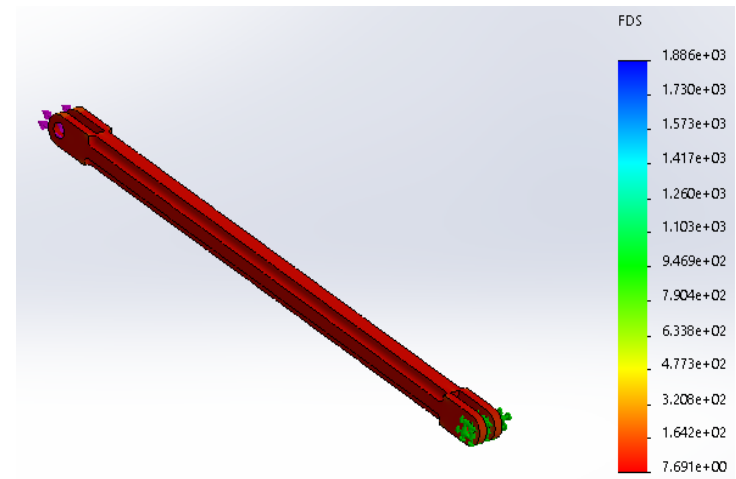


valor mínimo de $1 * 10^{-3} \text{ mm}$
valor máximo de $1.644 * 10^{-1} \text{ mm}$

Factor de seguridad



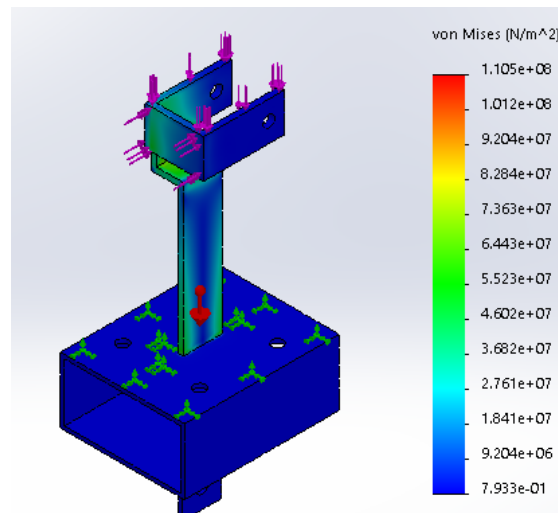
factor de seguridad mínimo es de 6.747



factor de seguridad mínima es de 7.691

Soporte del dedo Análisis de esfuerzos

Fuerza máxima aplicada por un dedo 40N

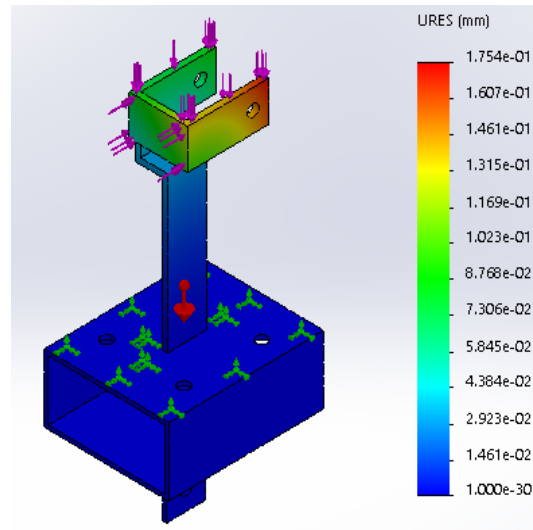


valor mínimo de $7.933 \times 10^{-1} \text{ N/m}^2$

valor máximo de $1.105 \times 10^8 \text{ N/m}^2$

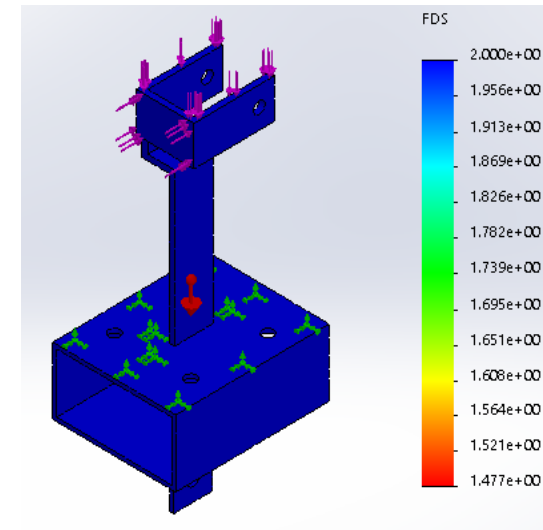
No superan el valor de 250 MPa del acero ASTM A36

Análisis de desplazamiento



valor mínimo de $1 * 10^{-3} \text{ mm}$
valor máximo de $1.754 * 10^{-1} \text{ mm}$

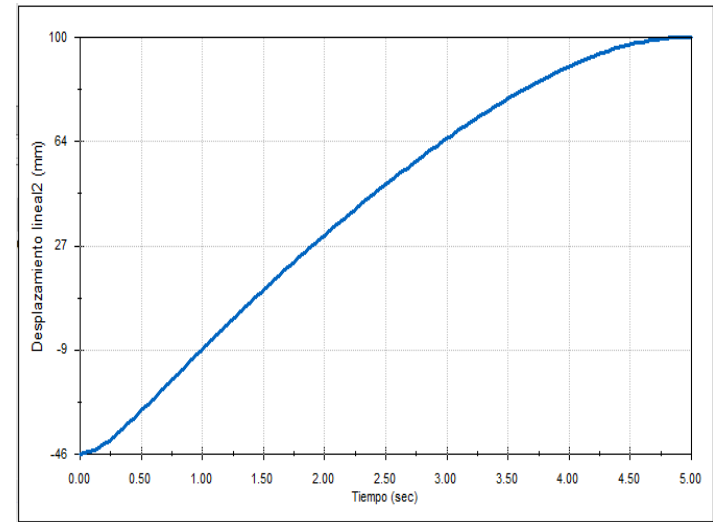
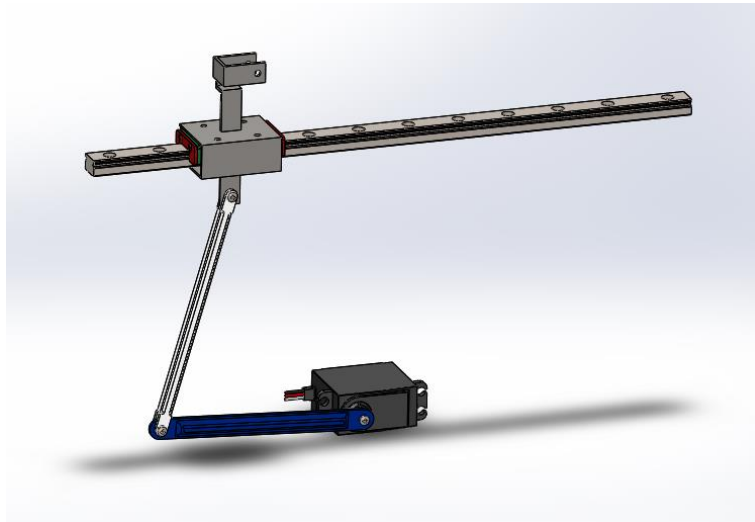
Factor de seguridad



valor mínimo es de 1.477
valor máximo es de 2

Diseño Mecánico

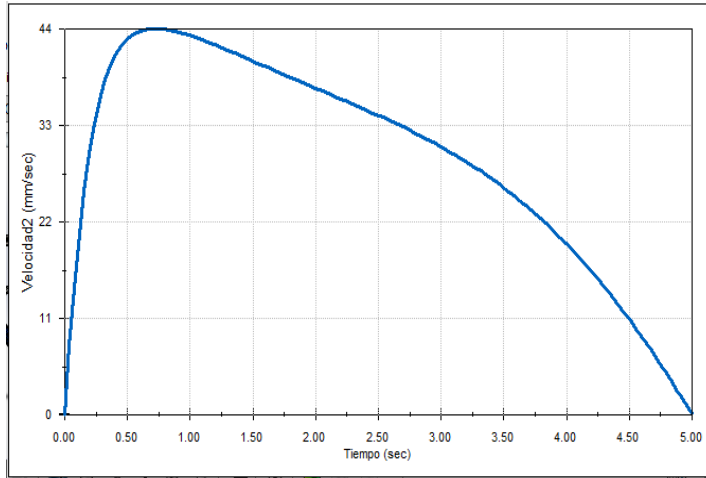
Simulación del movimiento del mecanismo Manivela-biela-corredera



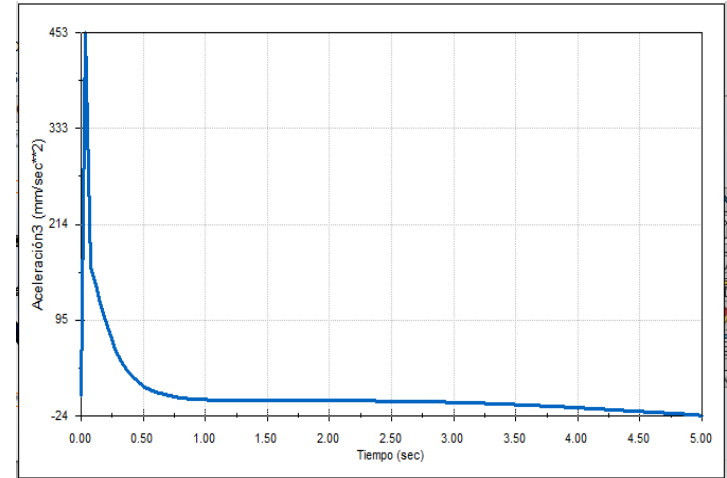
Desplazamiento máximo de 146 *mm*



Diseño Mecánico



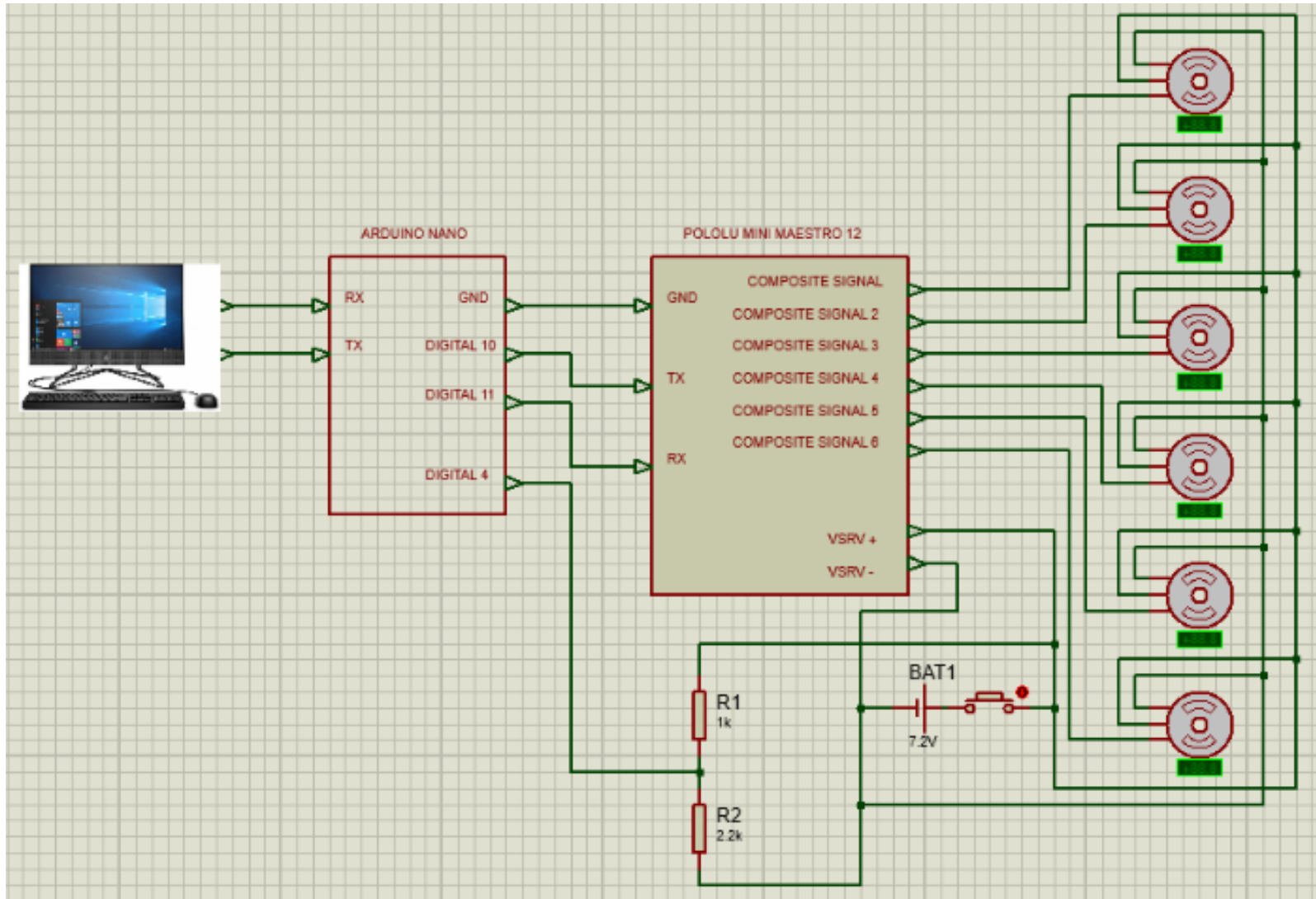
La velocidad máxima es de
44 mm/seg



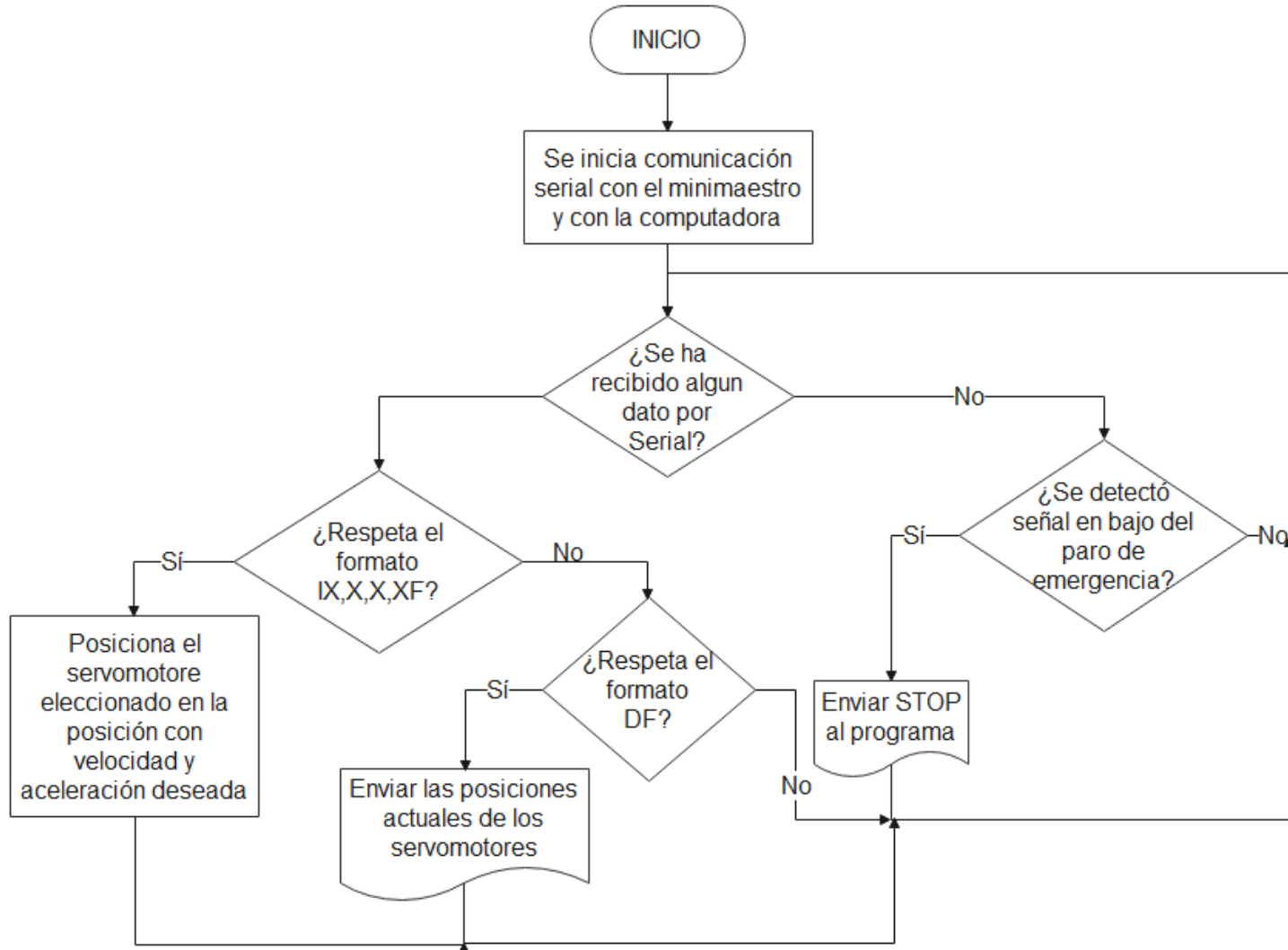
La aceleración máxima es de
453 mm/seg²

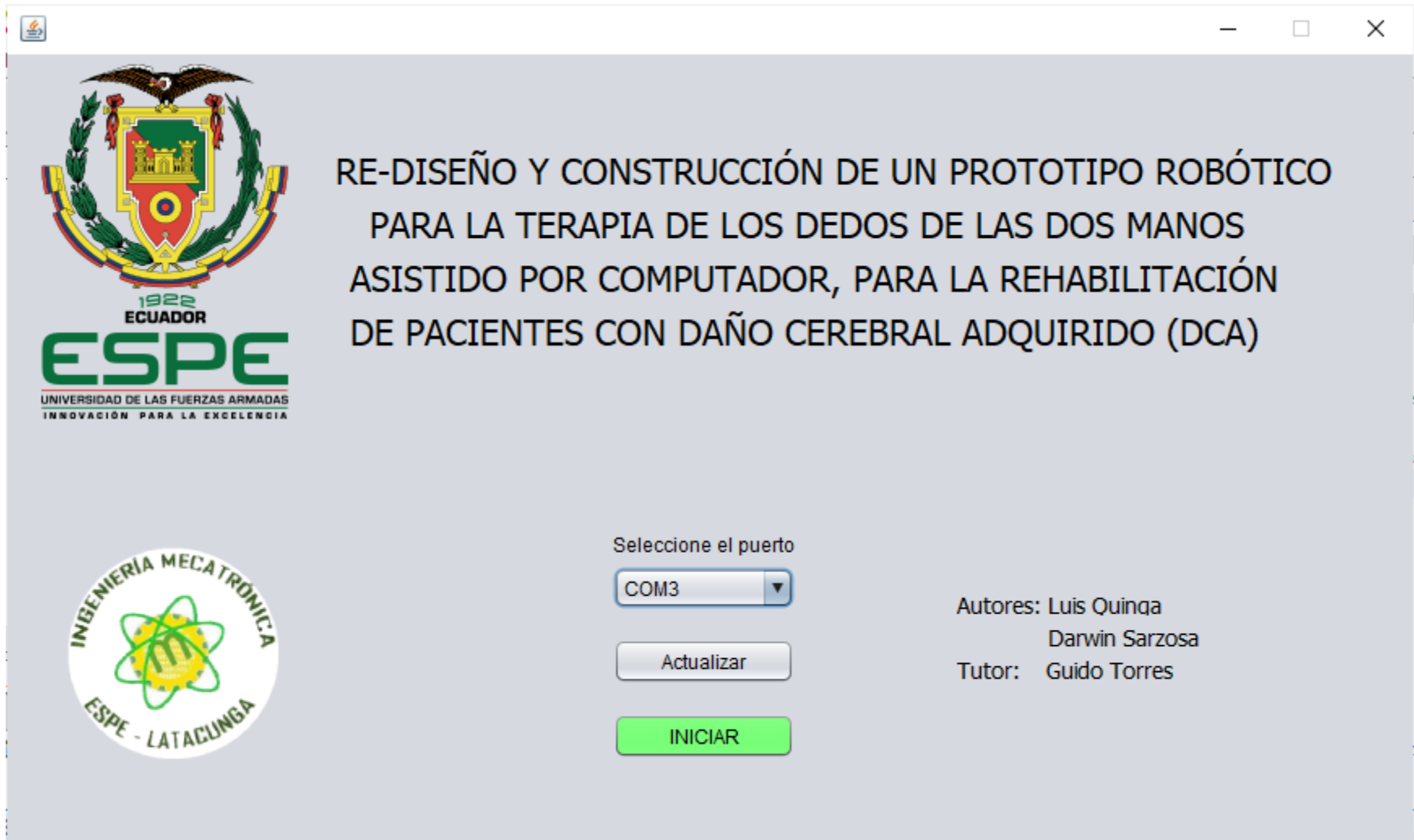


Diseño Eléctrico y Electrónico



Programación del control





1922
ECUADOR
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

RE-DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO ROBÓTICO
PARA LA TERAPIA DE LOS DEDOS DE LAS DOS MANOS
ASISTIDO POR COMPUTADOR, PARA LA REHABILITACIÓN
DE PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO (DCA)

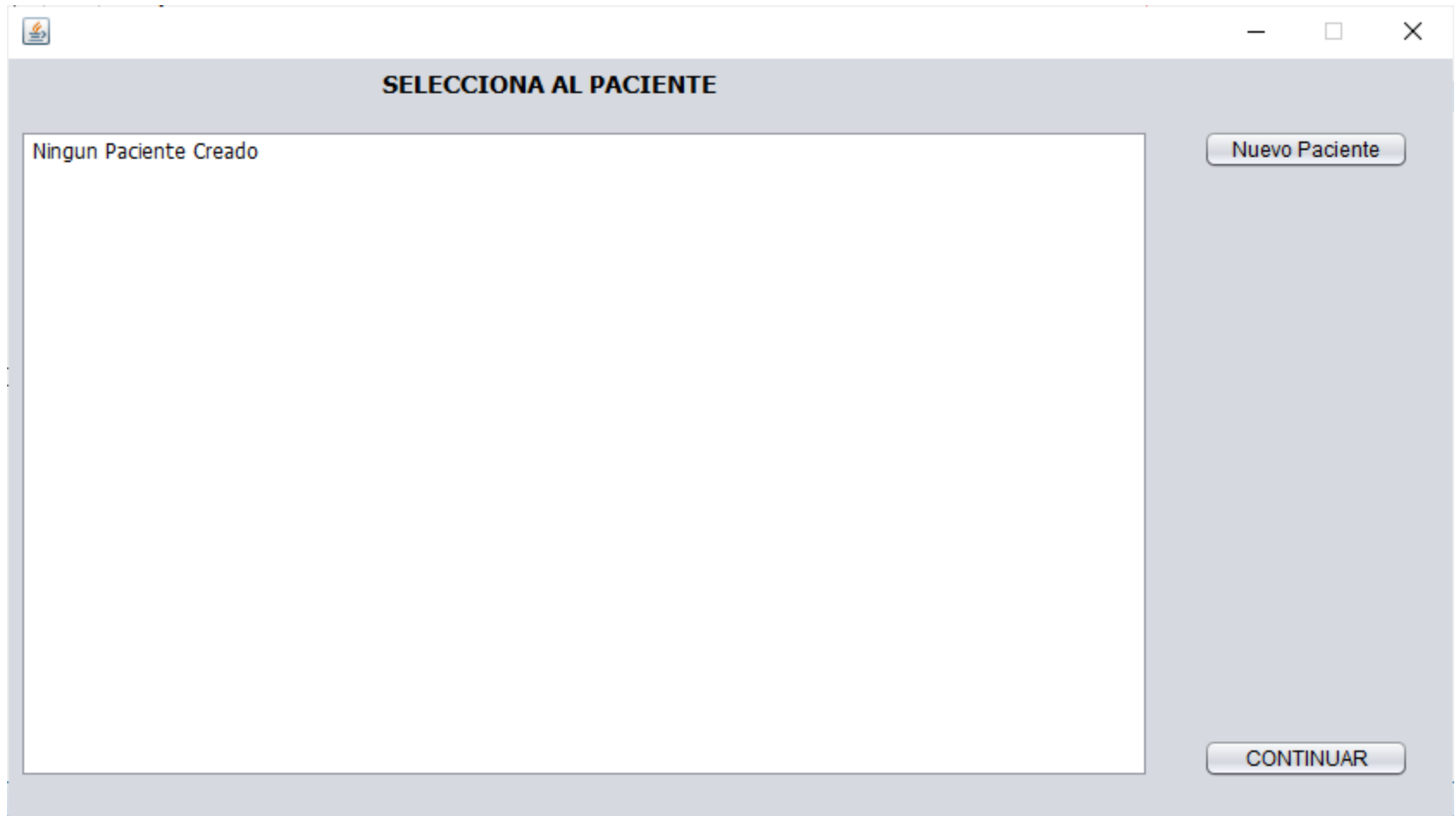
Seleccione el puerto
COM3

Actualizar

INICIAR

Autores: Luis Quinga
Darwin Sarzosa
Tutor: Guido Torres

INGENIERÍA MECATRÓNICA
ESPE - LATACUNGA



Tesis QUINGA-SARZOSA

INGRESE LOS DATOS DEL PACIENTE

Nombre

Edad

Cédula

Ciudad

Email

Mano

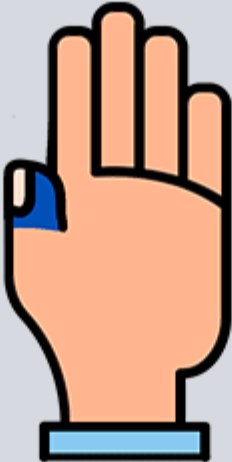
Medico



Tesis QUINGA-SARZOSA

PULGAR

CONFIGURAR MÁXIMA POSICIÓN



47,00%

EXTENDER

CONTRAER

Guardar Posición

ATRÁS

The interface is a window titled 'Tesis QUINGA-SARZOSA' with standard window controls. The main content area has a light gray background. At the top, the text 'PULGAR' and 'CONFIGURAR MÁXIMA POSICIÓN' is centered. Below this is a stylized orange hand with a blue highlight on the thumb. To the right of the hand is a vertical slider bar with a blue fill and the text '47,00%' in the center. Below the slider are two buttons: 'EXTENDER' and 'CONTRAER'. Below the hand is a 'Guardar Posición' button. In the bottom left corner, there is an 'ATRÁS' button.

Tesis QUINGA-SARZOSA

SELECCIONA AL PACIENTE

Sandra Acosta CI:1802832640

Nuevo Paciente

Editar Paciente

Borrar Paciente

Gráficas

CONTINUAR



Pruebas y Resultados

Tesis QUINGA-SARZOSA

SELECCIONE EL EJERCICIO A REALIZAR

EJERCICIO1

Repeticiones de accionamiento manual, toda los dedos en conjunto

EJERCICIO2

Repeticiones automaticas, todo los dedos en conjunto

EJERCICIO3

Semirecorrido de extensión y contracción, todo los dedos en conjunto

EJERCICIO4

Selección específica de los dedos para extensión y contracción individual

EJERCICIO5

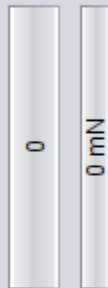
Repeticiones automáticas aleatoria de dedos para extensión y contracción individual

REGRESAR **GUARDAR Y TERMINAR SESIÓN**

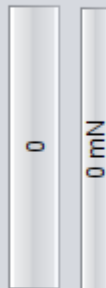


EJERCICIO 1

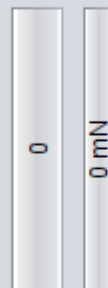
Pulgar



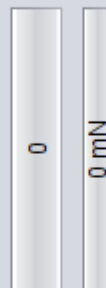
Indice



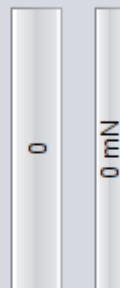
Medio



Anular



Meñique



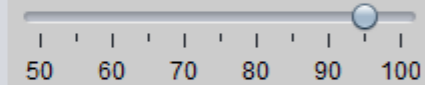
Repeticiones 0

TERMINAR EJERCICIO

Velocidad



Desplazamiento (porcentaje)



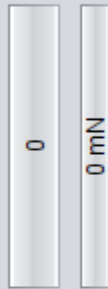
EXTENDER

CONTRAER

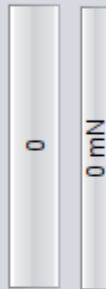


EJERCICIO 2

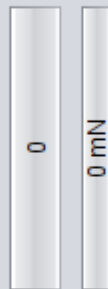
Pulgar



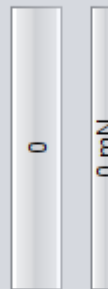
Indice



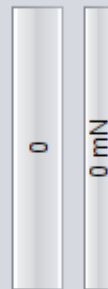
Medio



Anular



Meñique

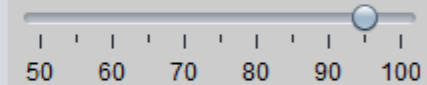


Repeticiones Realizadas 0

Velocidad



Desplazamiento (porcentaje)



REPETICIONES 1

COMENZAR

TERMINAR SESIÓN

Tesis QUINGA-SARZOSA

EJERCICIO 3

Pulgar Indice Medio Anular Meñique

50 0 mN 50 0 mN 50 0 mN 50 0 mN 50 0 mN

Repetisiones Realizadas 0

Velocidad

3 5 7 9 11 13 15
Mín Medio Máx

Desplazamiento (porcentaje)

60 70 80 90 100

REPETICIONES

COMENZAR

TERMINAR SESIÓN

Tesis QUINGA-SARZOSA

EJERCICIO 4

Pulgar Indice Medio Anular Meñique

0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN

0 0 0 0 0

Repeticiones Realizadas

TERMINAR SESIÓN

Velocidad

3 5 7 9 11 13 15

Mín Medio Máx

Desplazamiento (porcentaje)

50 60 70 80 90 100

REPETICIONES

Indice

COMENZAR



Tesis QUINGA-SARZOSA

EJERCICIO 5

Pulgar Indice Medio Anular Meñique

0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN 0 0 mN

Repeticiones Realizadas 0

Velocidad

3 5 7 9 11 13 15
Mín Medio Máx

Desplazamiento (porcentaje)

50 60 70 80 90 100

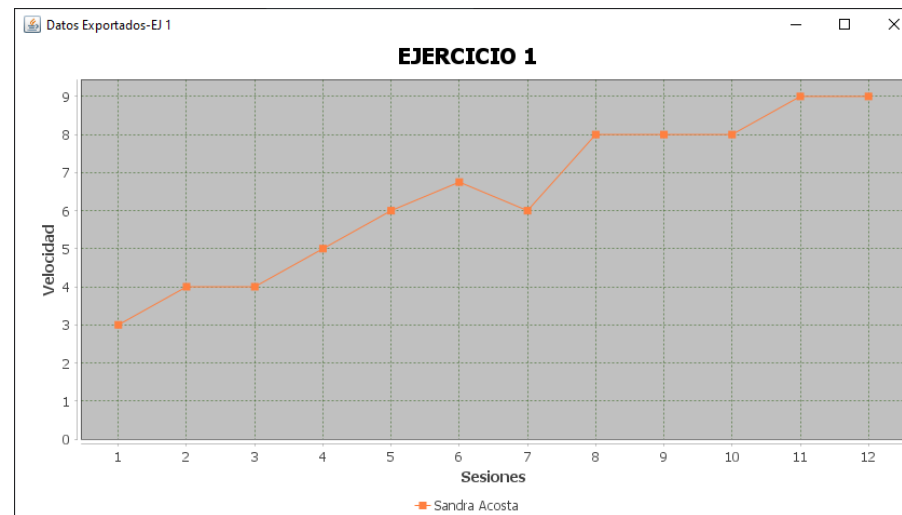
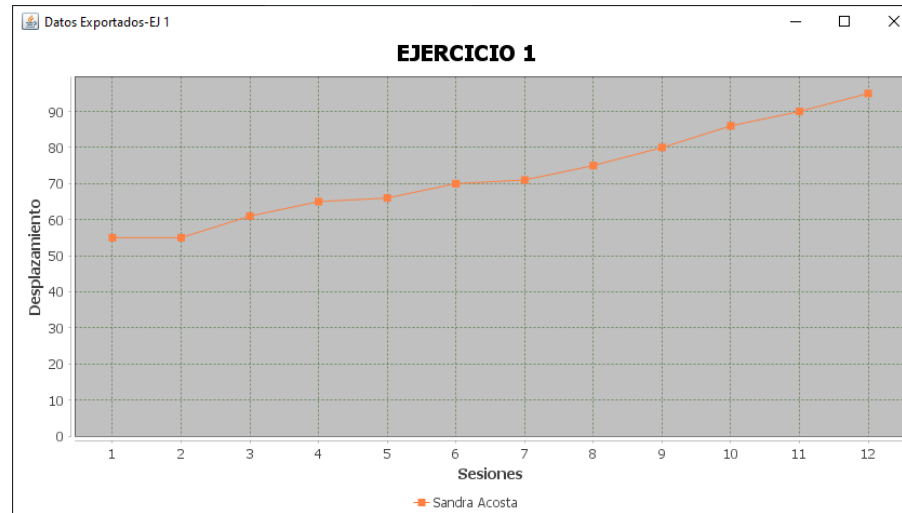
REPETICIONES 1

COMENZAR

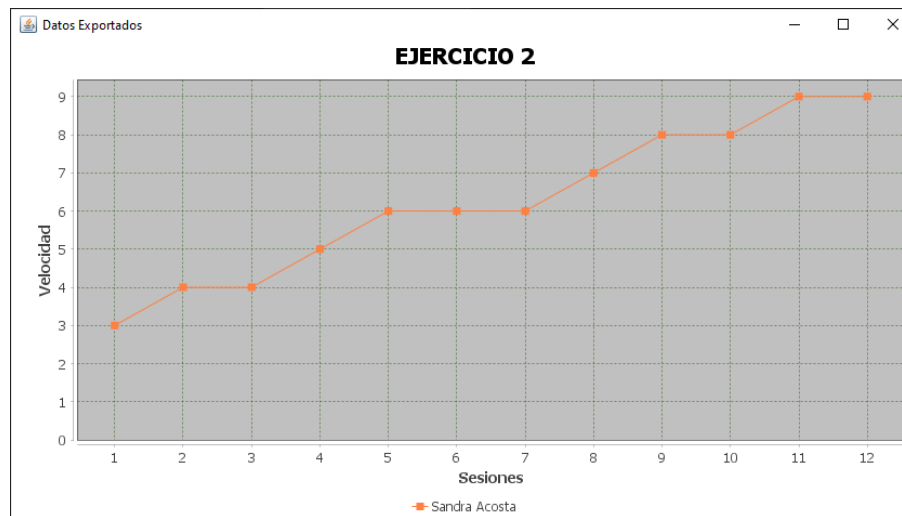
TERMINAR SESION



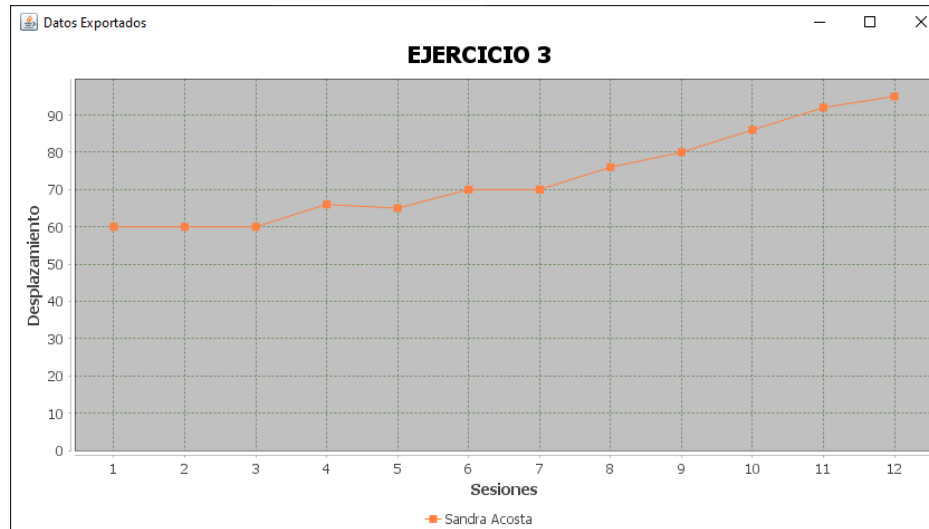
Pruebas y Resultados



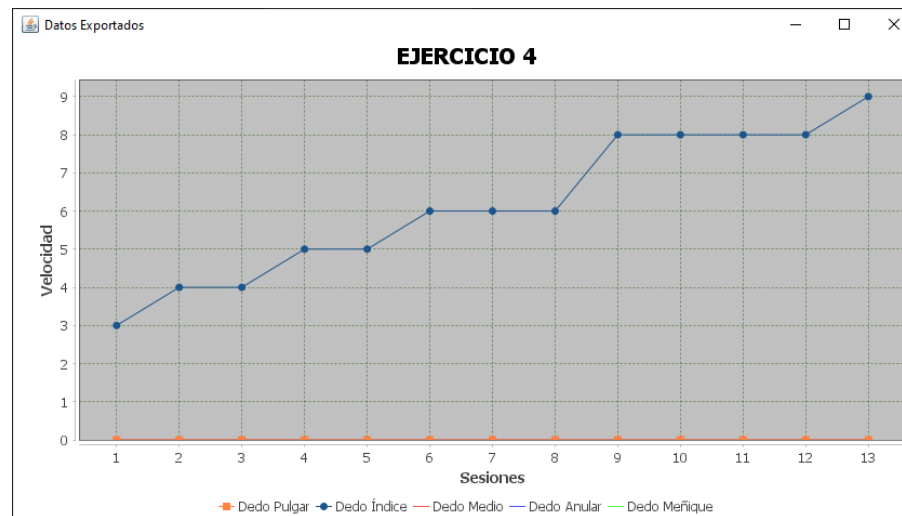
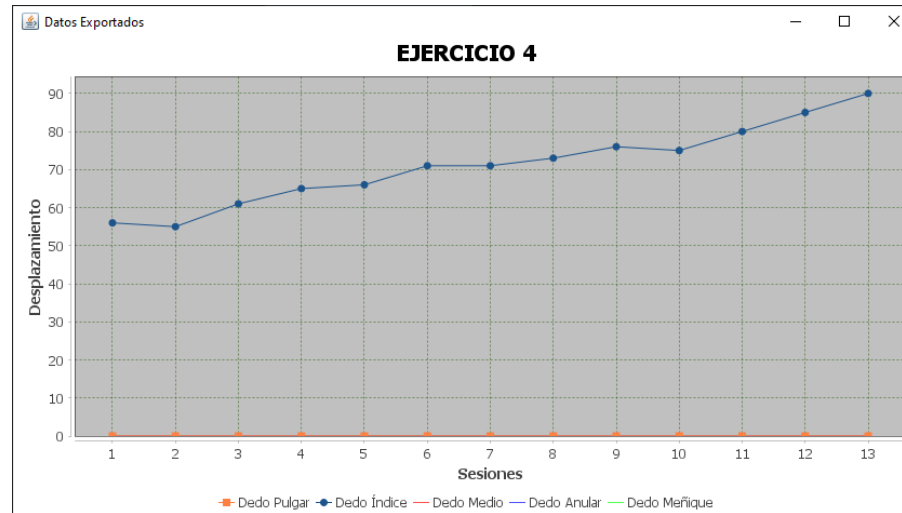
Pruebas y Resultados



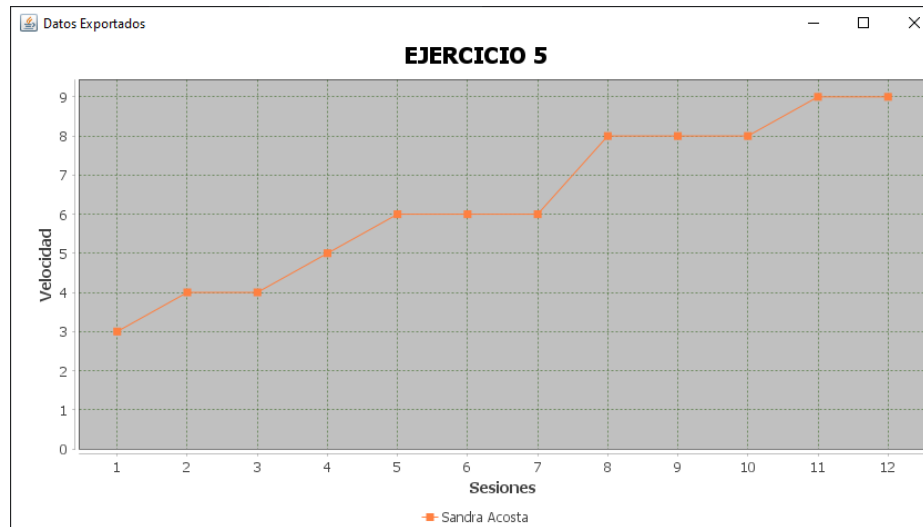
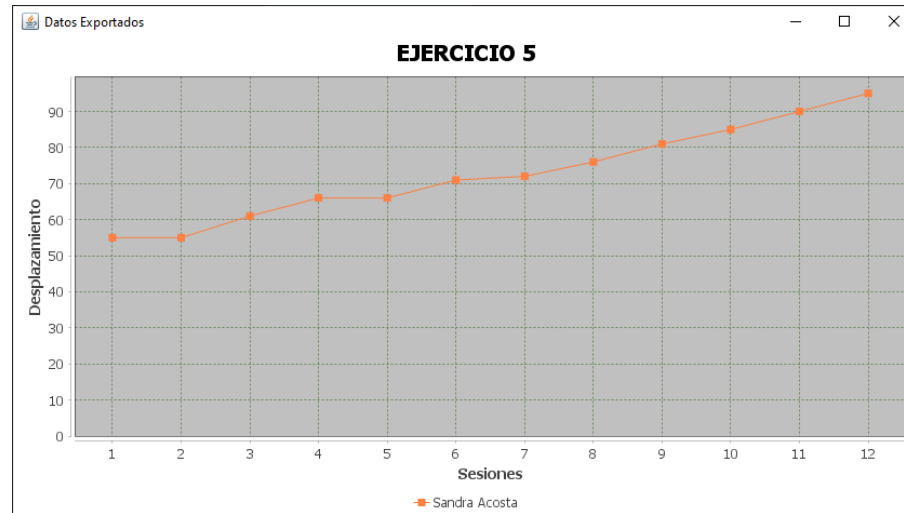
Pruebas y Resultados



Pruebas y Resultados



Pruebas y Resultados



Pruebas y Resultados

Validación de la Hipótesis

¿El rediseño y construcción de un prototipo robótico para la terapia de los dedos de las manos para personas con daño cerebral adquirido (DCA), controlado a lazo cerrado e implementado en software libre, permitirá ayudar a la rehabilitación de los pacientes con dificultades de motricidad en las manos?

Hipótesis Alternativa: El rediseño y construcción de un prototipo robótico para la terapia de los dedos de las manos para personas con daño cerebral adquirido (DCA), controlado a lazo cerrado e implementado en software libre, ayudará a la rehabilitación de los pacientes con dificultades de motricidad en las manos

Hipótesis Nula: El rediseño y construcción de un prototipo robótico para la terapia de los dedos de las manos para personas con daño cerebral adquirido (DCA), controlado a lazo cerrado e implementado en software libre, no ayudará a la rehabilitación de los pacientes con dificultades de motricidad en las manos



Conclusiones

- Mediante la investigación bibliográfica y la observación física del rehabilitador de los dedos de la mano izquierda para pacientes con DCA se evidencio que es necesario el rediseño de la máquina para que pueda brindar la rehabilitación de las dos manos teniendo presente la situación económica para su construcción, lo cual establece que la máquina realizara la rehabilitación no simultanea de las manos sino alternada de las manos permitiendo así el ahorro de recursos y de espacio para su construcción.
- El diseño y construcción del equipo rehabilitador se realizó en base a la antropometría de las manos de personas del Ecuador la cual comprendía de un grupo de 300 personas de edades entre 20-50 años según (Vargas, 2016) también se consideró la fuerza máxima que puede ejercer un dedo la cual es de 40N según (Valencia-Otero et al., 2016), esto permite obtener un diseño ergonómico dando una mayor fiabilidad al uso en pacientes del país ya que además dispone de una interfaz gráfica que permite visualizar el desarrollo de las actividades acorde a la selección que considere el terapeuta.



Conclusiones

- El soporte de los dedos se realizó en acero ASTM A36 ya que soporta el esfuerzo máximo de $1.105 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ y no supera el del material que es de 250 MPa, el desplazamiento realizado es de $1.754 \cdot 10^{-1} \text{ mm}$ que es un valor despreciable de deformación, el factor de seguridad mínimo es de 1,477 lo que hace que el soporte de dedos sea seguro.
- El mecanismo manivela-biela es realizado en ABS ya que soporta los esfuerzos de $9.412 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ y $8.257 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ y no superan al del material que es de 46 MPa, el factor de seguridad mínimo es de 6,747 para la manivela y 7.691 para la biela lo cual hace que sean seguras.
- La longitud de desplazamiento máxima de los patines de las guías lineales sobre las rieles una vez montadas en la estructura base es de 145 mm acorde al diseño mecánico para lo cual se colocó el servomotor en 90° para realizar el acople con el patín de la guía lineal que se encontraba en la mitad del desplazamiento máximo, este acople se realizó mediante el mecanismo manivela-biela ya que el servomotor tiene un rango de giro de 270° , esto permite que la máquina pueda ser configurada a diferentes medidas de los dedos de las manos de las personas con DCA.



Conclusiones

- La velocidad máxima que se puede mover los soportes de los dedos es de 168.46 mm/s el cual es el límite establecido por software, mientras que la velocidad recomendada es de 84.23 mm/s que representa el 50%, y la velocidad mínima para los soportes es de 16.85 mm/s. El operario podrá escoger la velocidad establecida mientras se encuentre entre este intervalo, lo cual dependerá de la decisión profesional del terapeuta y la respuesta fisiológica del paciente.
- El programa ejecutable guarda todas las características del paciente tanto su información personal como sus datos de las sesiones de las terapias. Para su exportación en formato CSV y posterior análisis por un experto en el área. Estos están almacenados en un archivo en la raíz donde se ejecute el programa y podrán ser accedidos por medio del software con la función de la exportación anteriormente descrita.
- El HMI del software ofrece una interfaz gráfica para el uso de la máquina rehabilitadora, de fácil interpretación y uso para el operario, con ventanas emergentes con mensajes claros de los diversos errores que pueda pasar y su posible solución ejemplo error en la comunicación entre el microcontrolador y la computadora, empezar ejercicios sin datos creados para un paciente o la activación del paro de emergencia. Cuenta con indicadores gráficos para visualizar las posiciones de los soportes de los dedos, un indicador para visualizar la fuerza, deslizadores para controlar la velocidad y el porcentaje del desplazamiento total además de una animación como guía visual para la primera configuración de los máximos y mínimos de cada uno de los dedos del paciente.



Conclusiones

- Se diseñó un sistema de control de la máquina de rehabilitación donde se envía la posición de los soportes de los dedos, a una velocidad deseada por el servomotor, a través programa por comunicación serial al microcontrolador con método para evitar la entrada de ruido entre la comunicación y prevenir movimientos no deseados en los motores, todo en un tiempo de muestreo de 100 ms valor mínimo aceptable para esta aplicación que da confiabilidad en el control diseñado.
- La paciente al principio de la terapia en comparación a la última sesión realizada, mediante el testimonio siente una mayor movilidad en el desplazamiento de sus dedos que se realizó a velocidades bajas y medias, lo que es verificado por los datos obtenidos de la máquina respecto al desplazamiento total de los dedos a velocidades bajas y medias mediante tablas y gráficas representando una mejoría de la espasticidad de los dedos de la paciente.



Recomendaciones

- Investigar sobre materiales para realizar una carcasa de la estructura, este material debe soportar condiciones climáticas variables de humedad y calor, debe ser fácil de limpiar, debe ser resistente a golpes y evitar deformaciones que puedan comprometer mecanismos internos de la máquina de rehabilitación.
- Investigar otro tipo de mecanismos para la rehabilitación de los dedos de la mano como: utilización de exoesqueletos para realizar el movimiento de los dedos, utilización de un sistema neumático o hidráulico.
- Investigar sobre métodos de acople para el mecanismo biela manivela corredera que pueda ser ajustados todas las uniones a una fuerza constante la cual no haga que el mecanismo sea rígido y dificulte su movilidad pero que tampoco quede sin el ajuste necesario generando que el mecanismo se desacople o se mueva de manera errónea.
- Determinar la velocidad máxima de los motores a los parámetros físicos y mecánicos del sistema, igual con la velocidad mínima, ya que el sistema puede no aceptar velocidades grandes o muy pequeñas y hará que los soportes no se muevan fluidamente.



Recomendaciones

- Configurar la base de datos de los pacientes en un archivo externo encriptado para evitar la manipulación por parte de personas externas. Los datos son accesibles desde el software y para evitar errores de lectura debe encontrarse cerca como en la raíz de ejecución del programa.
- No sobrecargar la pantalla de información para que el operador pueda entender y manejar fácilmente la interfaz gráfica, evitar el uso de colores muy brillantes que provoquen fatiga visual en el operador.
- Observar el tiempo de respuesta al sistema de control digital, y elegir el mínimo posible, además de ser constante, ya que si se envía siempre que pueda a los más rápido posibles algunas determinadas operaciones pueden tardar más o menos tiempo y hacer que el tiempo de muestreo sea inestable.
- Crear un método para evitar entrada de ruido en el microcontrolador y evitar el accionamiento inoportuno de los motores, si solo se envía valores de velocidades y posiciones, algunas veces ruido en el sistema interpretará como datos a realizar.







ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECATRÓNICO

**TEMA: “REDISEÑO Y REPOTENCIACIÓN DE UN PROTOTIPO
ROBÓTICO REHABILITADOR DE LOS DEDOS DE LAS DOS
MANOS PARA PERSONAS CON DCA, CONTROLADO A LAZO
CERRADO E IMPLEMENTADO EN SOFTWARE LIBRE”**

AUTORES:

- QUINGA ACOSTA, LUIS ISRAEL
- SARZOSA GARCIA, DARWIN SANTIAGO

DIRECTOR:

ING. TORRES MUÑOZ, GUIDO RAFAEL

LATACUNGA 2021

