

TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PERCEPCIÓN HÁPTICA PARA REHABILITACIÓN VIRTUAL DE PERSONAS CON PROBLEMAS DE MOTRICIDAD FINA CAUSADOS POR ACCIDENTES CEREBROVASCULARES.

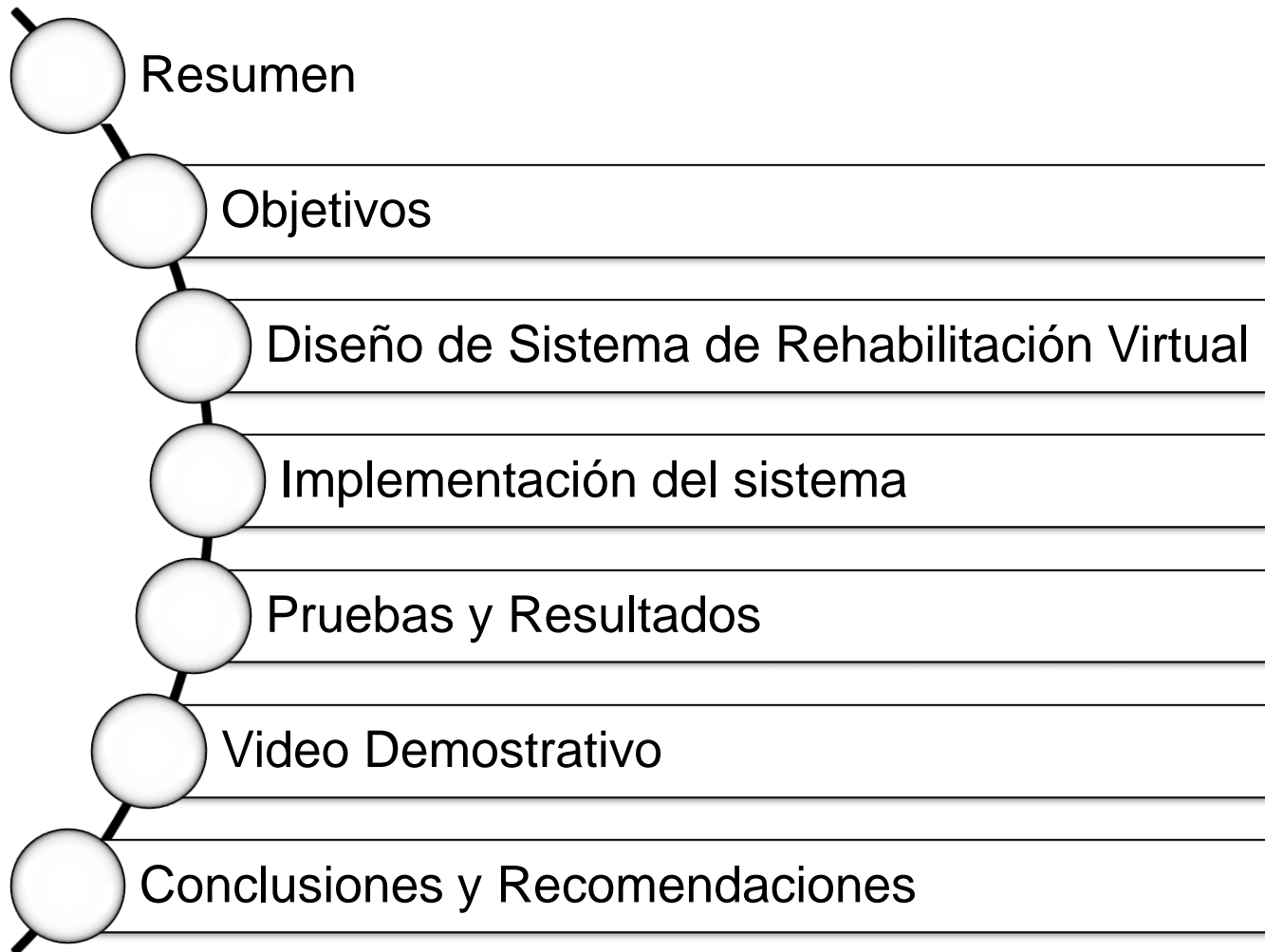
AUTORES:

**IVAN ANTONIO SALAZAR ESCOBAR
DIEGO ARMANDO VEGA DELGADO**

DIRECTOR:

ING. ANDRÉS MARCELO GORDÓN GARCÉS





RESÚMEN

El presente trabajo combina las tecnologías de realidad virtual, dispositivos hápticos y videojuegos. Inicialmente se realiza una amplia investigación acerca de los temas mencionados anteriormente, así como también se acude a un especialista para obtener información respecto a los ejercicios empleados en la rehabilitación de los pacientes. El guante de configuración abierta se diseña considerando parámetros como: medidas antropométricas, peso, tamaño, ergonomía y fuerza máxima de agarre; posteriormente se realiza el análisis CAE del modelo. En la etapa de pruebas se realiza una valoración médica por parte de especialistas en rehabilitación física, luego se aplica terapias de rehabilitación virtual a los pacientes durante cuatro semanas, mediante los datos registrados en la base de datos se realiza un análisis del progreso de cada uno de los pacientes. La validación de la hipótesis se la realiza mediante el método estadístico Chi-cuadrado se valida la hipótesis planteada en el presente proyecto.



OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar un sistema de percepción háptica para rehabilitación virtual de personas con problemas de motricidad fina causados por accidentes cerebrovasculares.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar acerca de los accidentes cerebrovasculares y las tecnologías existentes vinculadas a la rehabilitación virtual.
- Seleccionar el sistema sensorial y actuadores del dispositivo háptico para la captación en tiempo real de la información de la mano del paciente.
- Diseñar y construir un guante con configuración abierta mediante impresión 3D ofreciendo ergonomía y estética en el modelo.



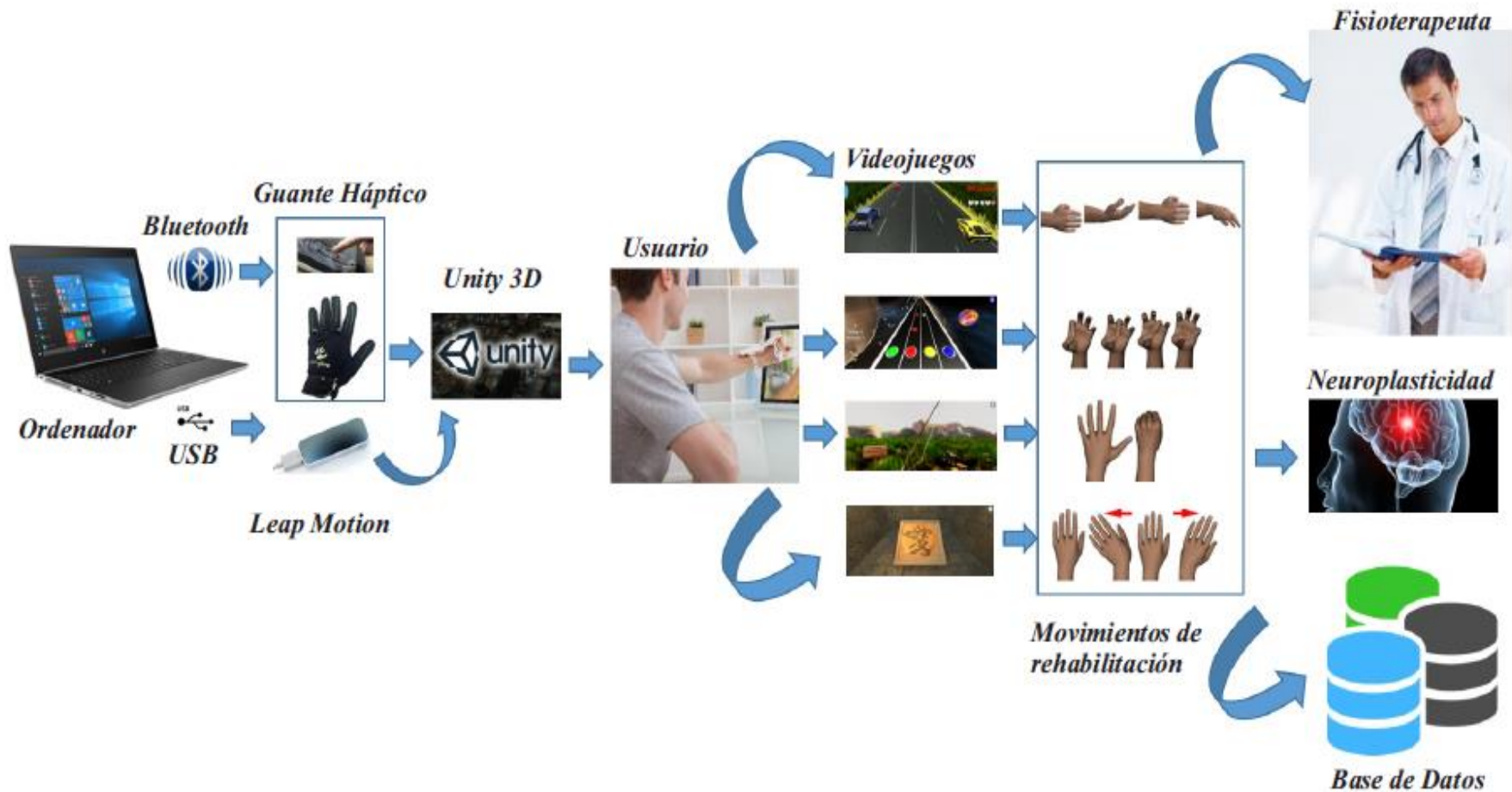
OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Seleccionar el motor de videojuegos que facilite la creación de entornos virtuales y la adaptación del dispositivo háptico.
- Diseñar interfaces interactivas que permitan el desarrollo de actividades específicas que influyan en la motivación del paciente para la rehabilitación.
- Desarrollar los algoritmos de programación para la interacción del usuario con el entorno virtual.
- Realizar pruebas del sistema de rehabilitación virtual para validar su funcionamiento mediante la información registrada en la base de datos.



DISEÑO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL



DISEÑO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL

SELECCIÓN DE COMPONENTES DE GUANTE HÁPTICO

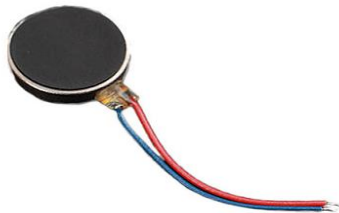
CaptoGlove



Leap Motion



Actuadores



Arduino ProMicro



Módulo HC-05



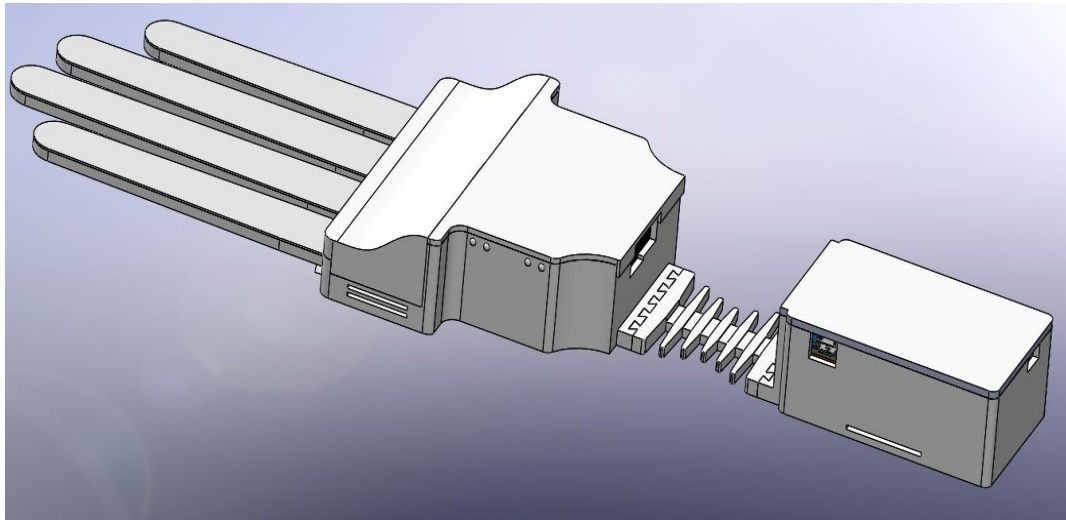
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL

DISEÑO MECÁNICO DEL GUANTE HÁPTICO

Se fabrica en material flexible mediante la técnica de impresión 3D considerando los siguientes parámetros de diseño.

- Medidas Antropométricas de la mano
- Peso y Tamaño
- Ergonomía
- Fuerza de agarre



DISEÑO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL

CÁLCULOS DE DISEÑO

F_{MA} : Fuerza máxima de agarre = 343.35 [N]

F_{Ai} : Fuerza de agarre individual = $\frac{F_{MA}}{4}$

$$F_{Ai} = \frac{343,35 \text{ [N]}}{4} = 85.84 \text{ [N]}$$

$$\sigma_T = \frac{F}{A}$$

$$A = A_2 - A_1 = 31,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

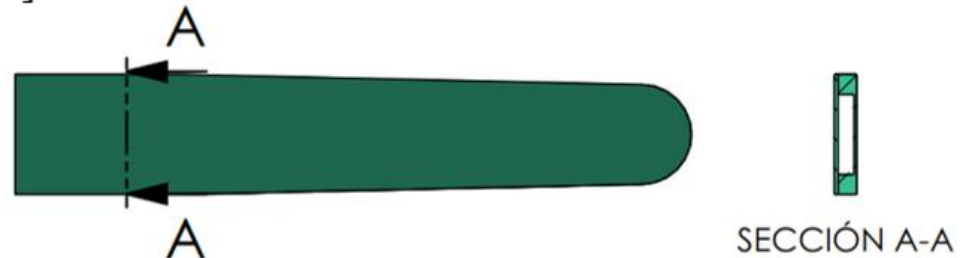
$$\sigma_T = \frac{85,84 \text{ [N]}}{31,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 2,73 \text{ [MPa]}$$

$$F_s = \frac{S_{ut}}{\sigma_T}$$

$$F_s = \frac{12 \text{ [MPa]}}{2,73 \text{ [MPa]}}$$

$$F_s = 4,39$$

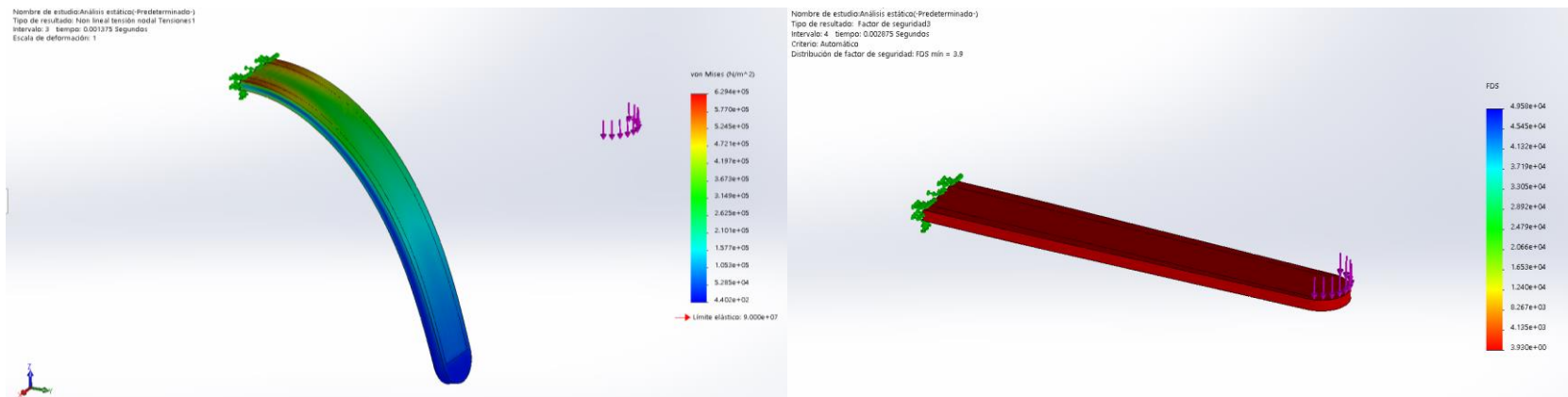
$$F_s \geq F_{ss} \quad 4,39 \geq 2 \therefore \text{Si cumple}$$



DISEÑO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL

ANÁLISIS CAD

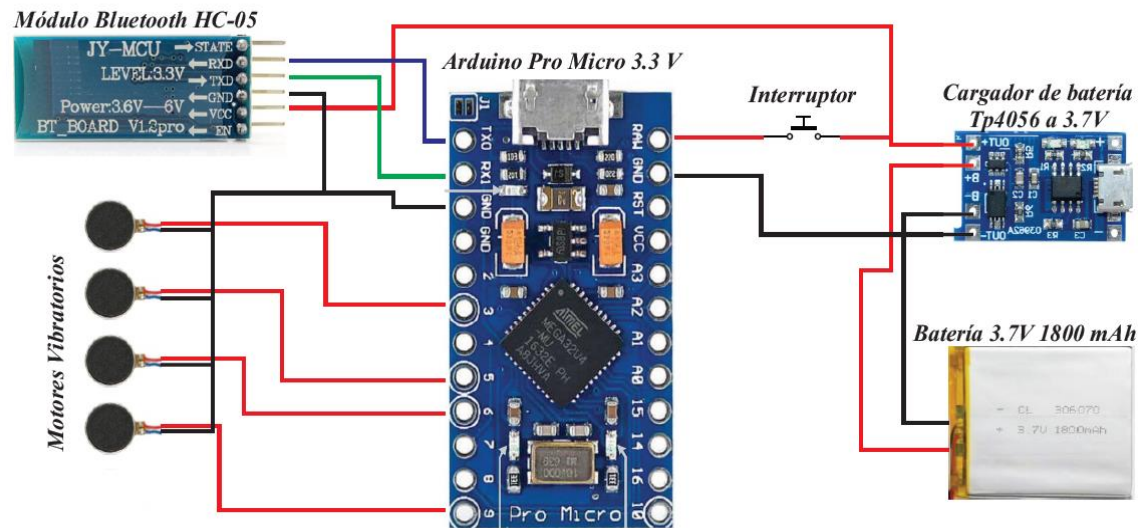
Permite predecir posibles fallas en el diseño. Para el análisis del material flexible es importante considerar que va a presentar un comportamiento no lineal debido a que la relación tensión deformación no están relacionadas linealmente.



DISEÑO DEL SISTEMA DE REHABILITACIÓN VIRTUAL

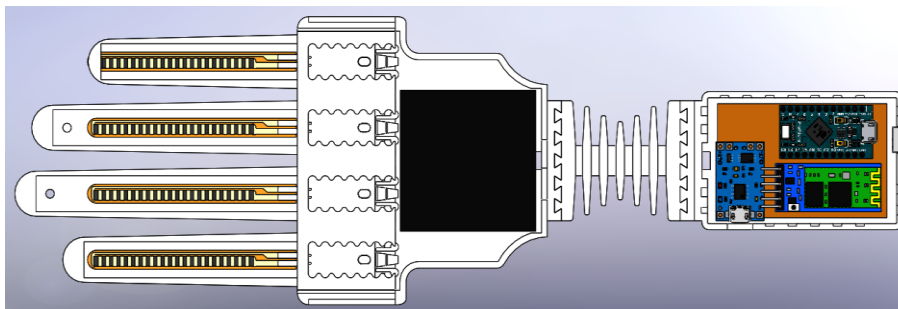
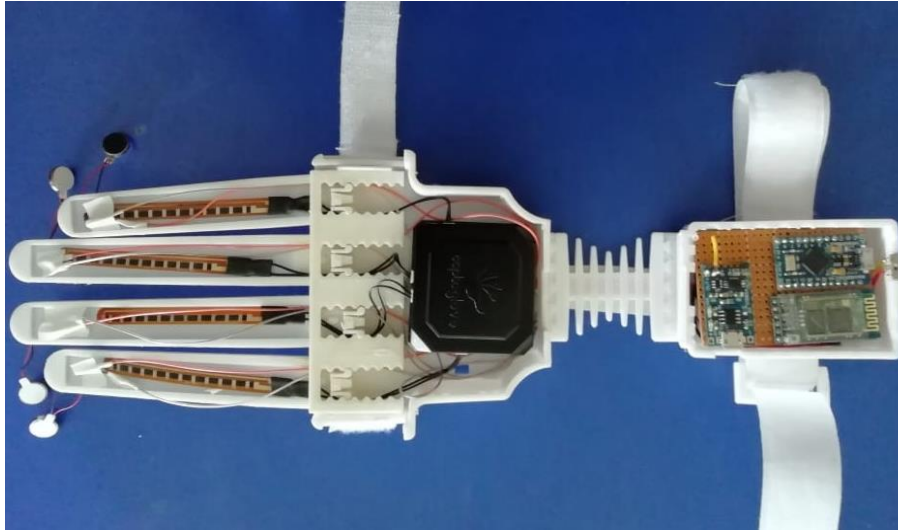
DISEÑO ELECTRÓNICO

El diseño electrónico del sistema de retroalimentación háptica esta compuesto por el Arduino Pro Micro, módulo bluetooth HC-05, batería de polímero de litio, cargador TP4056, y los actuadores vibratorios.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

ENSAMBLE FINAL DEL GUANTE.

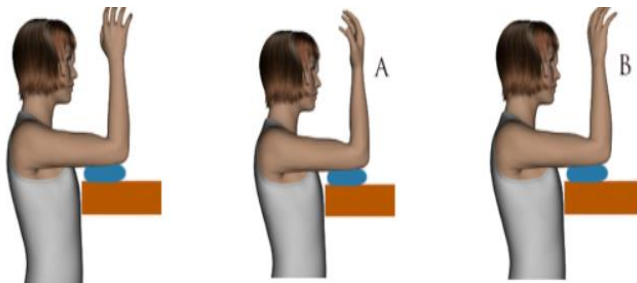


IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

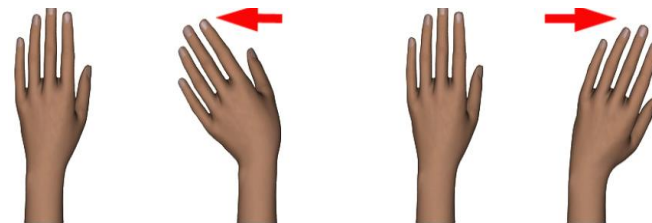
MOVIMIENTOS DE REHABILITACIÓN

Se define los movimientos de rehabilitación de la mano

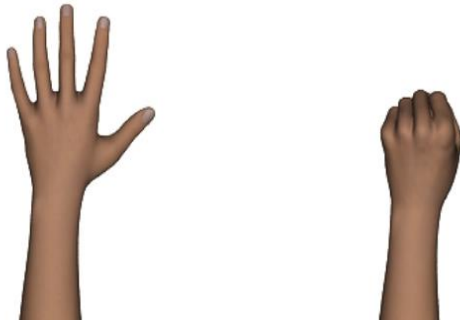
Pronosupinación.



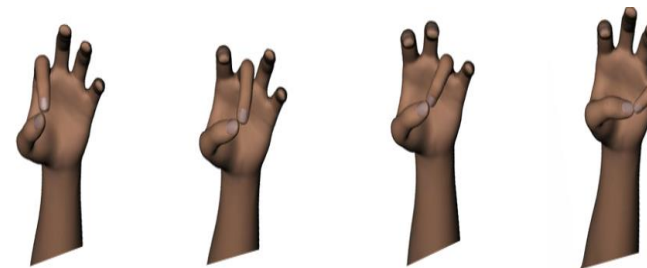
Aducción y Abducción.



Aprehensión.



Movilidad de los dedos.



IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Interfaz gráfica de usuarios.



Base de datos



Escena de agregar sesión

A screenshot of the 'Agregar Sesión' form. It includes input fields for 'ID Jugador' (S001), 'Tiempo (s)' (76), 'Pronación' (17), and 'Supinación' (15). There is an 'Agregar Sesión' button. Below the form is a table with the following data:

ID	Nombre	Sexo	Edad
S001	Antonio	M	22

ID Terapia	Tiempo (s)	Pronación	Supinación
1	245	154	22
4	6	0	4
5	6	1	1
9	61	23	13

Escena de ingreso de usuarios

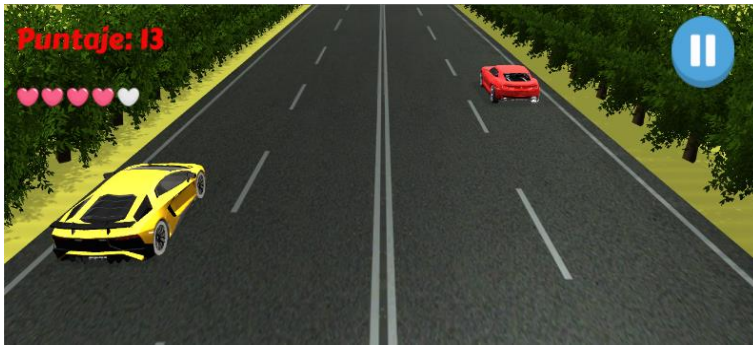
A screenshot of the 'Ingreso de Usuarios' form. It includes input fields for 'ID' (S001), 'Sexo' (M), 'Nombre' (Antonio), and 'Edad' (22). There is an 'Insertar' button. Below the form is a table with the following data:

ID	Nombre	Sexo	Edad
S001	Antonio	M	22

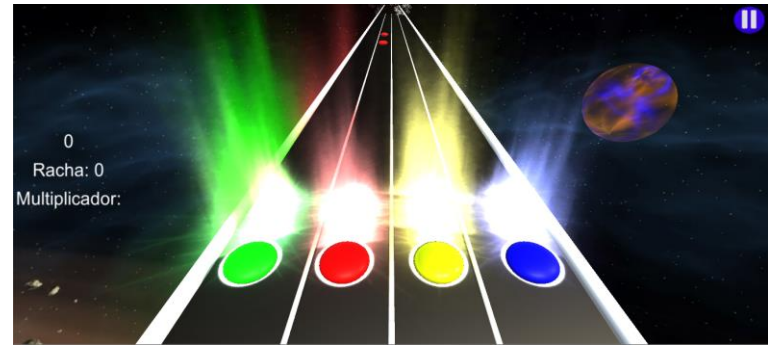


Implementación del sistema

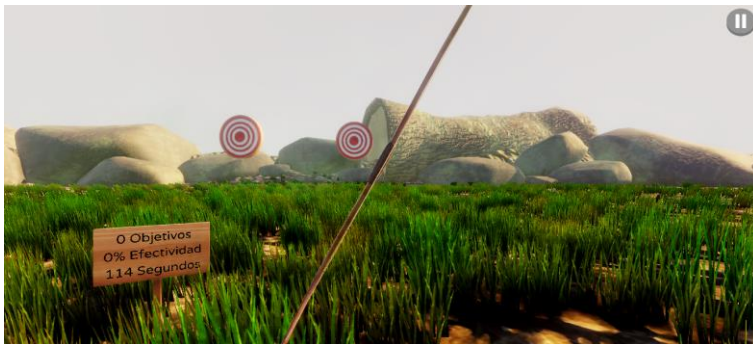
Juego 1



Juego 2



Juego 3



Juego 4



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

Valoración médica:

Los especialistas realizaron las respectivas pruebas de funcionamiento, ejecutando cada uno de los ejercicios de rehabilitación virtual.



Usabilidad del sistema:

Mediante el test SEQ se obtiene una ponderación de 56 la cual se encuentra dentro del intervalo recomendado de 40 y 65.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

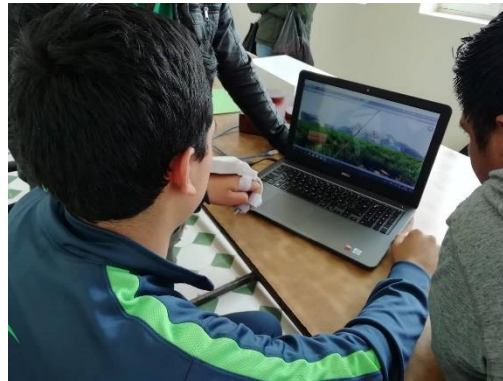
Valoración del sistema con pacientes

Se establecen criterios de inclusión y exclusión para la selección de los pacientes.

Los pacientes realizan dos sesiones a la semana durante un mes, en cada sesión de terapia ejecutan tres repeticiones de cada videojuego, con un descanso de un minuto entre repetición, esto con el objetivo de brindar descanso al paciente y no fatigarlo.



Paciente 1



Paciente 2

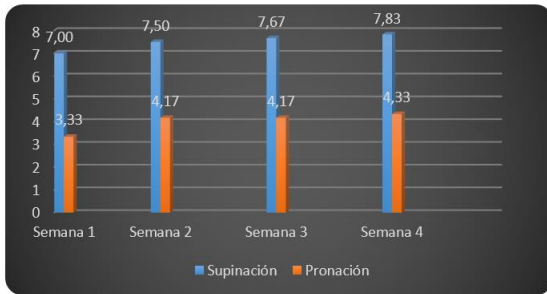


Paciente 3

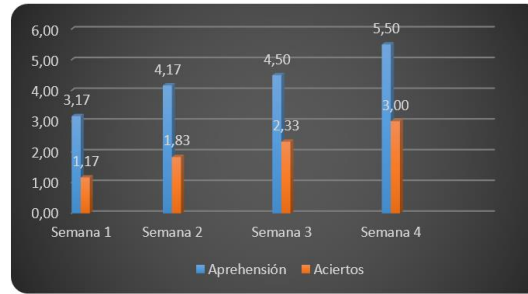


PRUEBAS Y RESULTADOS

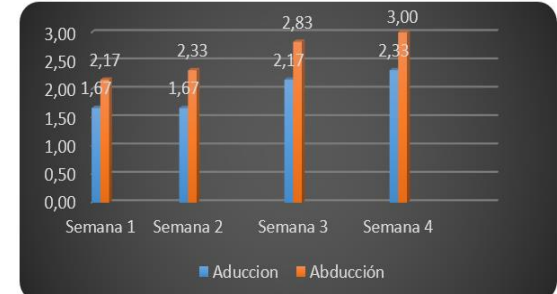
Progreso del paciente 1



Progreso en el movimiento de Pronosupinación.

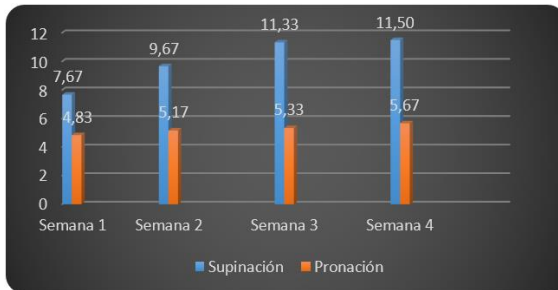


Progreso en el movimiento de aprehensión.

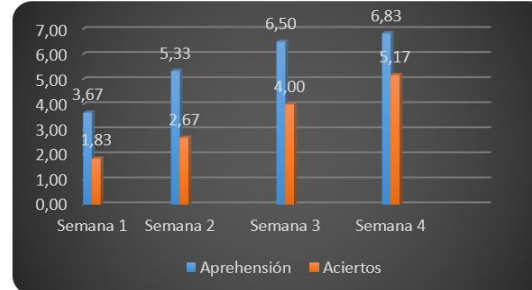


Progreso en el movimiento aducción y abducción.

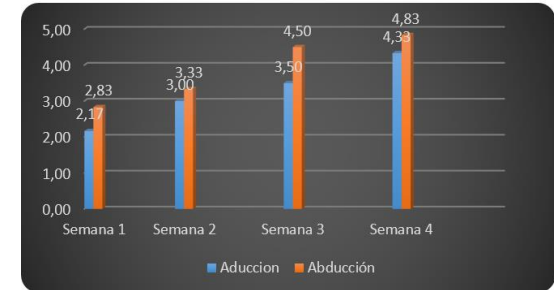
Progreso del paciente 2



Progreso en el movimiento de Pronosupinación.



Progreso en el movimiento de aprehensión.

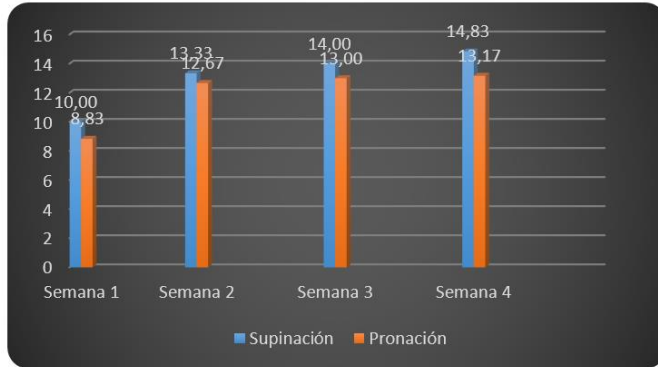


Progreso en el movimiento aducción y abducción.



PRUEBAS Y RESULTADOS

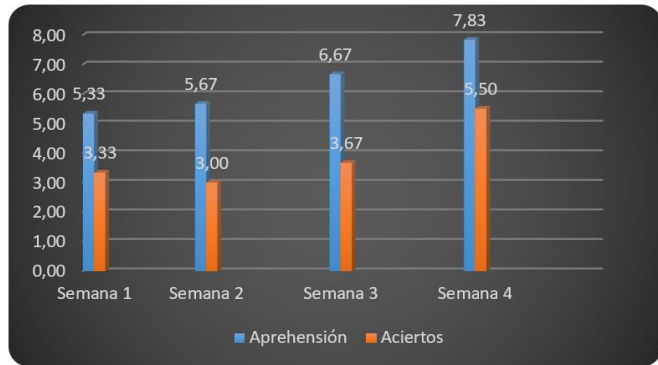
Progreso del paciente 3



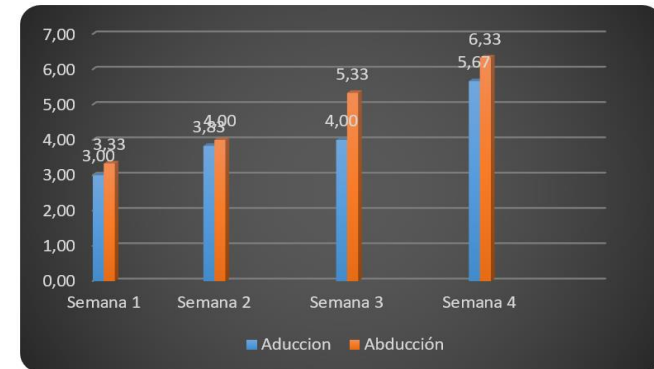
Progreso en el movimiento de Pronosupinación.



Progreso en el movimiento movilidad de los dedos.



Progreso en el movimiento de aprehensión.



Progreso en el movimiento aducción y abducción.



PRUEBAS Y RESULTADOS

Planteamiento de la Hipótesis.

¿El diseño e implementación de un sistema de percepción háptica ayudará en la rehabilitación de las personas con problemas de motricidad fina causados por accidentes cerebrovasculares?

Validación de la Hipótesis.

La validación de la hipótesis del presente proyecto se la realiza mediante la aplicación del método estadístico Chi-cuadrado

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

Dónde:

λ^2 : Chi cuadrado.

O_i : Es la frecuencia absoluta observada o empírica.

E_i : Es la frecuencia esperada.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

PRUEBAS Y RESULTADOS

N°	Actividad	Paciente	Si cumple	No cumple	Referencias
1			63,5	56,5	120
2			71	49	120
3		Paciente 1	72,5	47,5	120
4			75,5	44,5	120
5			79,83	40,17	120
6	Juego1	Paciente 2	85	35	120
7			89,66	30,34	120
8			90	30	120
9			86,66	33,34	120
10			96,5	23,5	120
11		Paciente 3	97	23	120
12			101,33	18,67	120
13			44,17	21,83	66
14	Juego2	Paciente 3	46,17	19,83	66
15			48,17	17,83	66
16			50	16	66
17			3,67	6,33	10
18		Paciente 2	5,33	4,67	10
19			6,5	3,5	10
20	Juego 3		6,83	3,17	10
21			5,33	4,67	10
22			5,67	4,33	10
23		Paciente 3	6,67	3,33	10
24			7,83	2,17	10
25			2,17	5,83	9
26			2,33	5,67	9
27		Paciente 1	2,83	5,17	9
28			3	5	9
29			2,83	5,17	9
30	Juego 4	Paciente 2	3,33	4,67	9
31			4,5	3,5	9
32			4,83	3,17	9
33			3,33	4,67	9
34			4	4	9
35		Paciente 3	5,33	2,67	9
36			6,33	1,67	9
Suma Total			1289,63	590,37	1892

v : grado de libertad = 35

λ^2 : 100,52 λ^2_{TABLA} : 60,27

$\lambda^2 > \lambda^2_{TABLA}$

∴ Se procede a aceptar la hipótesis con una confiabilidad del 95%



CONCLUSIONES

- El sistema de percepción háptica para rehabilitación virtual de personas con motricidad fina causados por ACV ayuda en el proceso de rehabilitación ya que proporciona al paciente elementos fundamentales como motivación, retroalimentación sensorial y la repetición del ejercicio.
- Según estudios investigados en artículos científicos la realidad virtual constituye una herramienta prometedora en la rehabilitación de personas que has sufrido accidentes cerebrovasculares.
- El sistema sensorial y actuadores del dispositivo háptico son seleccionados por medio de la metodología de diseño concurrente basado en el método ordinal corregido de criterios ponderados, el cual permite realizar una selección apropiada de las alternativas de diseño con la finalidad que cumplan los requisitos del usuario y del diseñador.
- El motor de videojuegos Unity 3D se selecciona considerando aspectos como: la compatibilidad con los otros componentes que conforman el sistema de rehabilitación virtual; posee una curva de aprendizaje mucho menor que otros motores gráficos; además cuenta con una comunidad muy activa de desarrolladores que proporciona una amplia documentación y tutoriales.



CONCLUSIONES

- El guante de configuración abierta considera cuatro dedos excluyendo el dedo pulgar, es diseñado considerando las medidas antropométricas de la mano, al tener diferentes tamaños de manos se implementa un mecanismo deslizante que permite ajustar la longitud de los dedos. El guante se construye mediante la técnica de impresión 3D con material flexible.
- Los videojuegos son desarrollados por medio del software Unity 3D y están contruidos en función de los ejercicios de rehabilitación sugeridos por la Lcda. Frenlly Párraga, especialista en terapia ocupacional. Estos disponen de ambientes interactivos compuestos por elementos visuales y auditivos, además de una programación que permite al usuario interactuar con el ambiente virtual.



CONCLUSIONES

- Las pruebas de funcionamiento son realizadas por los autores y el tutor, cumpliendo de manera satisfactoria los requisitos de diseño impuestos anteriormente. Luego se procede con las pruebas médicas del sistema, para lo cual la Lcda. Frenlly Párraga utiliza el sistema manifestando una valoración positiva al uso del sistema de rehabilitación virtual.
- Para la valoración experimental del sistema se realizan pruebas en pacientes durante 1 mes con 2 sesiones por semana, los pacientes muestran una gran acogida al sistema, ya que les provoca entusiasmo y motivación a la hora de realizar las terapias; mediante la información de cada una de las terapias registradas en la base de datos se comprueba los avances de cada paciente, obteniendo una tendencia positiva en la rehabilitación.



RECOMENDACIONES

- Es necesario actualizar el firmware del CaptoGlove a la versión 1.58, con la finalidad de que pueda integrar con el software Unity 3D.
- El fabricante de CaptoGlove sugiere instalar una versión 5.x o superior de Unity 3D para no tener problemas de incompatibilidad con el SDK proporcionado.
- Investigar los parámetros de impresión adecuados para la fabricación de piezas en material flexible, con el afán de obtener resultados favorables en la calidad de manufactura.
- Es importante considerar las tolerancias en el diseño de las piezas a fabricar para evitar inconvenientes en el ensamblado final del dispositivo háptico.
- En el diseño de los ambientes virtuales es necesario tener en consideración que las interfaces gráficas de usuario deben ser lo más intuitivas posible, ya que en algunos casos serán utilizadas por adultos mayores.

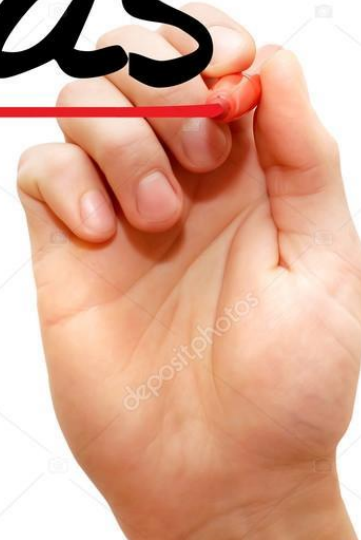


RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar la calibración del guante háptico antes de iniciar cada videojuego para garantizar una correcta interacción con el usuario.
- La rehabilitación virtual se debe realizar manejando intervalos de descanso entre sesiones con la finalidad de evitar fatiga en el paciente.
- La inclusión del sistema de rehabilitación virtual se debería realizar en etapas tempranas posterior al accidente cerebrovascular, puesto que el paciente cuenta con una mayor plasticidad y aún no tiene establecido un patrón.



Gracias



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA