

CONESCAPANHONDURAS2025paper69.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477780910

Submission Date

Jul 31, 2025, 11:24 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 2:45 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper69.pdf

File Size

1.7 MB

6 Pages




4,244 Words

24,298 Characters

19% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 17%  Internet sources
- 13%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 17%  Internet sources
- 13%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	assets.researchsquare.com	1%
2	Internet	eprints.kingston.ac.uk	1%
3	Publication	Robert M. Hinson, Joseph Berman, William Filer, Derek Kamper, Xiaogang Hu, He ...	1%
4	Internet	arxiv.org	1%
5	Internet	uia.brage.unit.no	1%
6	Internet	upcommons.upc.edu	<1%
7	Internet	fondationparalysiecerebrale.org	<1%
8	Internet	revistabme.eia.edu.co	<1%
9	Publication	Maria-Jesus Agost, Néstor J. Jarque-Bou, Alba Roda-Sales, Joaquín L. Sancho-Bru, ...	<1%
10	Publication	"International Symposium on World Ecological Design", IOS Press, 2024	<1%
11	Publication	Geetha K S, S. Sofana Reka, Shima Keisuke, Prakash Venugopal. "EMG controlled ...	<1%

12	Internet	www.hindawi.com	<1%
13	Internet	repositorio.uwiener.edu.pe	<1%
14	Publication	Stephen L. Toepp, Ravjot S. Rehsi, Anika L. Syroid, Gurlal S. Gill, Aimee J. Nelson. "...	<1%
15	Internet	portalinvestigacion.uniovi.es	<1%
16	Publication	Dongning Yan, Jing Zhao, Yiming Ma, Han Ma. "The influence of neuroticism pers...	<1%
17	Internet	helvia.uco.es	<1%
18	Internet	repositorio.comillas.edu	<1%
19	Publication	T.R.D. Scott, L. Atmore, J.M. Heasman, R.Y. Flynn, V.A. Vare, C. Gschwind. "Synergi...	<1%
20	Internet	journals.eco-vector.com	<1%
21	Publication	Na Jin Seo, Alex Barry, Mohammad Ghassemi, Kristen M. Triandafilou et al. "Use o...	<1%
22	Internet	www.researchgate.net	<1%
23	Internet	ia801508.us.archive.org	<1%
24	Internet	medworm.com	<1%
25	Internet	research.upn.edu.pe	<1%

26	Internet	rid.ugr.edu.ar	<1%
27	Internet	uvadoc.uva.es	<1%
28	Internet	www.infomediconline.net	<1%
29	Internet	cienciadigital.org	<1%
30	Internet	www.coursehero.com	<1%
31	Internet	pubmed.ncbi.nlm.nih.gov	<1%
32	Internet	cris.pucp.edu.pe	<1%
33	Internet	revista-apunts.com	<1%
34	Internet	revistas.um.es	<1%
35	Internet	www.fulp.ulpgc.es	<1%
36	Publication	Munoz, J. E., J. F. Villada, C. D. Munoz, and O. A. Henao. "Multimodal system for re..."	<1%
37	Publication	S. Vicente, S. Lerma, L. de Benito, M. Gutierrez, J. Alfayate, J. Fontcuberta. "Caract..."	<1%
38	Internet	idoc.pub	<1%
39	Internet	repositorio.iberopuebla.mx	<1%

40	Internet	
www.gestiopolis.com		<1%
41	Internet	
www.mdpi.com		<1%
42	Publication	
"9th European Medical and Biological Engineering Conference", Springer Science ...		<1%
43	Publication	
Ting Huang, Hongfang Yao, Junneng Huang, Ning Wang et al. "Effectiveness of ac...		<1%

Sistema de Rehabilitación Física para Extremidades Superiores Mediante Videojuegos Controlados por Señales EMG

Resumen—Las terapias físicas convencionales para pacientes con limitaciones motoras en las extremidades superiores suelen ser repetitivas y carecen de elementos motivacionales, lo que dificulta la adherencia y la efectividad del tratamiento. El estudio se enfocó en el desarrollo de un sistema interactivo basado en señales electromiográficas (EMG) para controlar videojuegos diseñados en Unity, con el objetivo de mejorar la motivación del paciente y facilitar la rehabilitación motora a través de la gamificación. El sistema procesa las señales EMG mediante Arduino IDE y MATLAB, generando comandos de control en tiempo real que permiten la interacción en los videojuegos, los cuales están diseñados para promover la repetición de movimientos funcionales. Las pruebas preliminares mostraron un aumento significativo en la amplitud de las señales EMG (VRMS) durante las contracciones voluntarias, con un incremento promedio del 12 % en la activación muscular post-terapia. Además, se observó que el rendimiento de los pacientes mejoró en los videojuegos, con un aumento del 20 % en los puntajes alcanzados en comparación con las sesiones iniciales. Estos resultados indican que el uso de videojuegos controlados por EMG no solo mejora la motivación, sino que también potencia la efectividad del tratamiento, proporcionando una alternativa innovadora a las terapias tradicionales.

Términos clave—rehabilitación física, señales EMG, tecnología de asistencia, umbralización, videojuegos

I. INTRODUCCIÓN

Los trastornos musculoesqueléticos representan una de las principales causas de discapacidad global, afectando aproximadamente a 1.710 millones de personas [1], generando un impacto significativo en la calidad de vida debido a las limitaciones funcionales que conllevan. Enfermedades neurológicas como el accidente cerebrovascular y la parálisis cerebral espástica unilateral en niños suelen comprometer de forma severa la movilidad de las extremidades superiores, restringiendo su independencia en actividades cotidianas [2]–[4].

La rehabilitación física convencional es efectiva en la recuperación de la funcionalidad motora, sin embargo, presenta desafíos críticos como su carácter repetitivo, baja adherencia del paciente y personalización limitada, lo cual reduce la consistencia y eficacia a largo plazo [5], [6]. Ante esta problemática, el uso de tecnologías emergentes como los videojuegos terapéuticos controlados mediante señales electromiográficas de superficie (sEMG) ha demostrado ser una alternativa prometedora para potenciar la rehabilitación física, al transformar los movimientos musculares voluntarios en comandos interactivos que permiten la ejecución de tareas en entornos virtuales [7]–[10].

La electromiografía de superficie es una técnica no invasiva capaz de captar la actividad eléctrica generada por la contracción de grupos musculares específicos, siendo ampliamente utilizada tanto en diagnóstico como en el control de interfaces humano-máquina [6], [11].

Estudios recientes han documentado el desarrollo de plataformas de rehabilitación que integran EMG en videojuegos serios, evidenciando mejoras en la coordinación neuromuscular, la activación muscular y la motivación de los usuarios [8], [12]–[15]. Por ejemplo, Ghassemi et al. (2019) diseñaron un videojuego serio controlado por EMG para pacientes post-accidente cerebrovascular, observando un incremento en la activación muscular específica y mejoras funcionales en las extremidades superiores [12].

Seo et al. (2022) emplearon un sistema similar para reentrenar patrones de activación muscular de la mano tras un ACV, mientras que Boulay et al. (2024) implementaron un juego serio con retroalimentación EMG en niños con parálisis cerebral espástica, logrando avances significativos en su marcha [2], [13]. A su vez, Toepp et al. (2023) propusieron un sistema de biofeedback para intervenciones personalizadas en músculos distribuidos, destacando la relevancia del análisis avanzado de señales EMG para diseñar terapias dirigidas [14].

El potencial terapéutico de estas plataformas se amplía al incorporar motores gráficos como Unity, el cual permite desarrollar entornos inmersivos con dinámicas de juego adaptadas a objetivos clínicos, mejorando la experiencia del usuario y fomentando su adherencia al tratamiento [16], [17]. La literatura destaca que la combinación de Unity con algoritmos de procesamiento de señales implementados en MATLAB facilita la interpretación de datos EMG, su filtrado y la extracción de métricas cuantitativas como VRMS y FFT, son esenciales para evaluar la intensidad de activación durante la terapia [18]–[20].

Este estudio se plantea como una optimización del trabajo previo elaborado por Enamorado y Zuniga (2025), titulado "Terapia con retroalimentación audiovisual empleando señales EMG en brazos afectados por fractura en hombres entre los 20-29 años", quienes diseñaron dos videojuegos utilizando Python y Visual Studio para traducir las contracciones musculares del bíceps braquial en comandos de control [21]. Sin embargo, su implementación no integró motores gráficos avanzados ni un análisis complementario detallado de las señales en MATLAB.

Por tanto, este estudio amplía su propuesta mediante el desarrollo de un sistema interactivo de rehabilitación física que emplea señales EMG como interfaz de control de videojuegos

diseñados en Unity, incluyendo un análisis de las señales en MATLAB para su procesamiento, filtrado y evaluación cuantitativa.

El sistema propuesto contempla la adquisición de señales EMG mediante un sensor de superficie conectado a un micro-controlador Arduino UNO R3, el filtrado pasa banda con algoritmos de Butterworth implementados en MATLAB, el cálculo de métricas VRMS para evaluar la intensidad de contracción muscular y la obtención del espectro de frecuencias mediante FFT, elementos clave para la caracterización de la activación muscular voluntaria en tareas funcionales [6], [11], [22].

Posteriormente, los datos se integraron en Unity, donde se diseñaron tres videojuegos: el juego del Dinosaurio, Nave ataca aliens y Endless Runner, orientados a promover movimientos de extensión, flexión y control de la muñeca, esenciales para la rehabilitación funcional [23], [24].

II. METODOLOGÍA

El desarrollo del sistema se estructuró en tres fases principales: diseño de videojuegos, adquisición y procesamiento de señales EMG, e integración de componentes. Este estudio sigue una metodología cuantitativa y experimental. Se utilizaron datos numéricos para medir los efectos de la intervención en la rehabilitación motora mediante señales EMG y videojuegos. Se registraron indicadores objetivos de la activación muscular antes y después de la intervención, y los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente para evaluar la eficacia del sistema.

El estudio adopta un enfoque experimental, al implementar la intervención de videojuegos controlados por EMG para evaluar su impacto en la rehabilitación motora mediante un enfoque pre-test y post-test, comparando cambios en señales EMG y desempeño en los juegos.

El estudio optimiza un trabajo previo enfocado en la rehabilitación del músculo bíceps braquial [21], extendiendo el tratamiento hacia músculos del antebrazo y la muñeca mediante el diseño de nuevos videojuegos terapéuticos. Asimismo, se mejoró la adquisición de señales EMG mediante mapeo eficiente y técnicas de filtrado, lo que permitió una detección más precisa y un análisis optimizado de las contracciones musculares.

La usabilidad del sistema también fue optimizada, permitiendo ajustes personalizados para cada usuario, lo que proporciona una experiencia de rehabilitación más precisa y adaptada a sus necesidades. Además, se incorporaron nuevos análisis sobre la fatiga muscular y la estabilidad de las señales EMG, lo que hace que el sistema sea más completo y eficaz en la rehabilitación motora.

Las pruebas se llevaron a cabo en aulas privadas dentro de la universidad, donde se garantizó un entorno controlado y sin interferencias externas. Este espacio permitió que los participantes se concentraran plenamente en las tareas sin distracciones externas, favoreciendo la fiabilidad de los resultados. El entorno también se preparó para minimizar cualquier interferencia electromagnética de dispositivos electrónicos,

asegurando que las señales EMG fueran registradas de manera precisa.

Se seleccionó una muestra de 20 participantes sanos, con el objetivo de optimizar los resultados en un contexto controlado antes de realizar pruebas con pacientes. La limitación de edad fue de 17 a 25 años, debido a que se consideró que, dentro de este rango, los participantes tienen una capacidad neuromuscular similar y sin deterioro funcional relacionado con la edad, lo que permitió obtener resultados más consistentes. Los criterios de inclusión fueron los siguientes: edad entre 17 y 25 años, sin antecedentes de enfermedades neuromusculares ni discapacidades motoras.

A. Diseño de Videojuegos

Se desarrollaron tres videojuegos en Unity, adaptados a diferentes patrones de activación muscular para evaluar la efectividad del sistema en el control motor. La selección de estos juegos se basó en su capacidad para promover tareas dinámicas de coordinación y control motor, esenciales para la rehabilitación de las extremidades superiores. Los tres juegos desarrollados fueron:

El primer videojuego consiste en un entorno donde el personaje avanza automáticamente, y el usuario ejecuta un salto al superar el umbral de activación EMG. Este juego está diseñado para estimular la coordinación y el control preciso del movimiento extensivo de la muñeca.

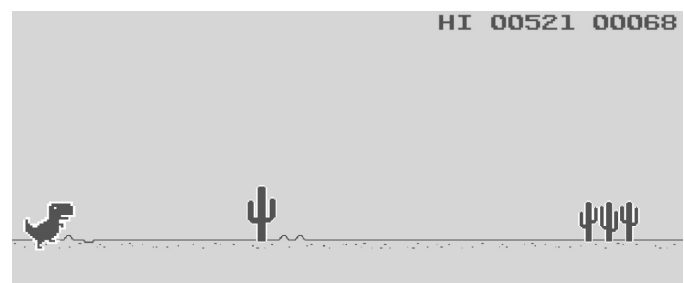


Figura 1: Juego del Dinosaurio

En el segundo videojuego, el jugador activa un disparo mediante una contracción isométrica del antebrazo. Este diseño permite trabajar fuerza y repetición controlada, siendo especialmente útil para usuarios con menor rango de movilidad.

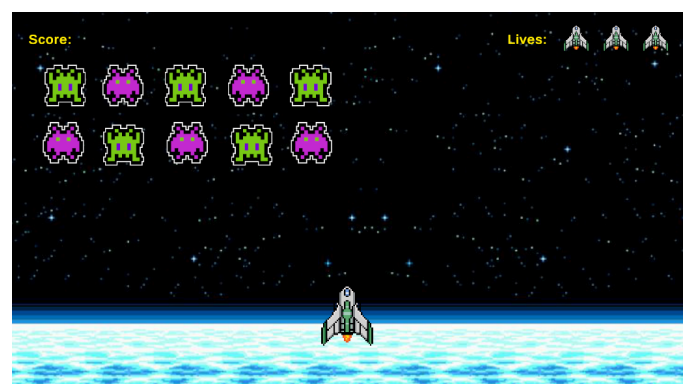


Figura 2: Videojuego Nave mata Aliens

El tercer videojuego permite al usuario controlar el movimiento lateral del personaje mediante señales EMG del antebrazo, mientras esquiva obstáculos dentro de un entorno continuo. Este juego está diseñado para fortalecer la precisión en movimientos dirigidos.



Figura 3: Videojuego 3D Endless Runner

Cada uno de los juegos implementó scripts en C# capaces de interpretar comandos seriales como "JUMP", "LEFT", "SHOOT", los cuales están directamente relacionados con el umbral EMG del participante. La elección de estos juegos se basó en la necesidad de evaluar la activación muscular en diferentes tipos de movimientos.

B. Adquisición y Procesamiento de Señales EMG

Se empleó un sensor de superficie EMG conectado a un Arduino UNO R3 con tres electrodos: dos activos en el antebrazo y uno de referencia en el codo. Las señales se adquirieron a 20 Hz y se procesaron en MATLAB aplicando un filtro pasa banda (1–8 Hz), cálculo de VRMS (valor cuadrático medio) y análisis espectral (FFT) para evaluar la activación y fatiga muscular. Esta metodología fue optimizada respecto a investigaciones previas, donde se usaron filtros y parámetros adaptados a la variabilidad de las señales EMG.

Tabla I: Parámetros del protocolo de adquisición EMG

Parámetro	Valor
Frecuencia de muestreo	20 Hz
Duración por ensayo	5 segundos
Electrodos	Antebrazo (colocación bipolar); tierra en codo
Filtros	Pasa banda 1–8 Hz (Butterworth de 4to orden)
Repeticiones	1 ensayo antes y 1 después de la terapia
Tipo de contracción	Voluntaria repetitiva (cierre de puño)



Figura 4: Colocación de los electrodos en el antebrazo

Se compararon las señales EMG obtenidas con un electromiógrafo estándar y las procesadas por nuestro prototipo. Las señales del electromiógrafo comercial se capturan durante intervalos más largos, lo que genera más ruido y variabilidad en la señal debido a interferencias de baja y alta frecuencia. En contraste, las señales procesadas por nuestro prototipo se adquirieron en un intervalo de 5 segundos, lo que permitió un análisis más focalizado y de mayor resolución temporal. Sin embargo, aunque el prototipo muestra una mejor temporalidad en la captura, las señales siguen siendo afectadas por ruido, dado que el sensor utilizado no tiene la misma precisión que otros sistemas comerciales avanzados.

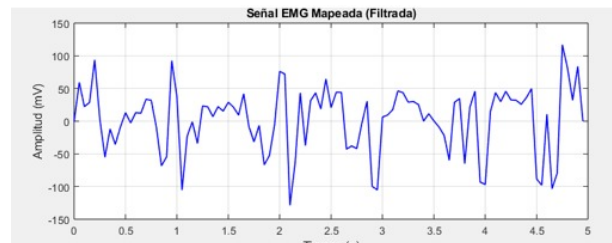
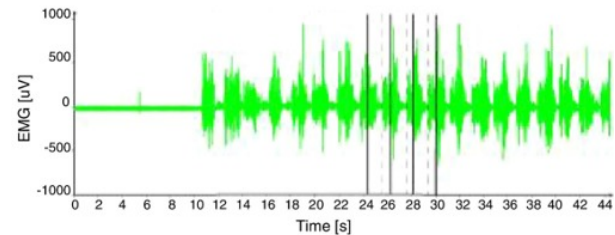


Figura 5: Comparativa entre señales EMG obtenidas con electromiógrafo estándar y señales procesadas por el prototipo. [25]

C. Integración de Componentes

Los módulos de adquisición (Arduino), procesamiento (MATLAB) y videojuego (Unity) se integraron mediante comunicación serial. La señal EMG fue mapeada a un rango de 0–255 y utilizada en tiempo real para activar eventos dentro del entorno gráfico, lo que permitió una interacción fluida entre los componentes.

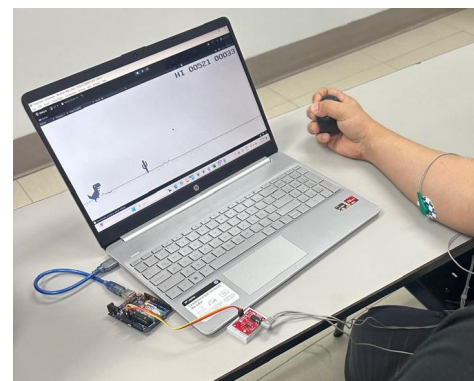


Figura 6: Visualización de componentes en uso de la terapia

17

El sistema fue validado mediante pruebas piloto, y se aplicó un cuestionario para evaluar la experiencia del usuario en términos de usabilidad y aceptación. El cuestionario incluyó preguntas sobre la facilidad de uso, la efectividad percibida de la rehabilitación, la motivación durante la sesión y la satisfacción general con el sistema. Estas métricas fueron esenciales para comprender cómo los pacientes potenciales podrían experimentar el sistema en un entorno clínico.

III. DESCRIPCIÓN Y RESULTADOS

Durante la fase experimental, se registraron señales electromiográficas (EMG) en tiempo real mediante electrodos de superficie colocados sobre los músculos del antebrazo. Estas señales fueron utilizadas como comandos para controlar tareas dentro del entorno terapéutico gamificado desarrollado en los videojuegos. Las sesiones se realizaron del 9 al 13 de junio de 2025, con una duración promedio de 15 minutos por sesión.

A. Determinación del Umbral de Activación Muscular

Se realizaron 20 pruebas con diferentes sujetos. Para cada participante se efectuó una calibración previa con el objetivo de establecer el umbral mínimo de activación muscular. Este umbral se obtuvo mediante la lectura analógica del sensor, que fue mapeada linealmente del rango original de 0 a 1023 a un rango compacto de 0 a 255, para facilitar su integración en el motor de juegos Unity. Este reescalado mejora la interpretación, procesamiento en tiempo real, visualización y detección de eventos sin comprometer la fidelidad del patrón muscular.

El valor mapeado se utilizó como referencia para detectar contracciones voluntarias durante la terapia. En la Figura 7 se observa la variación de los umbrales de activación para cada participante, con valores entre 80 y 140.

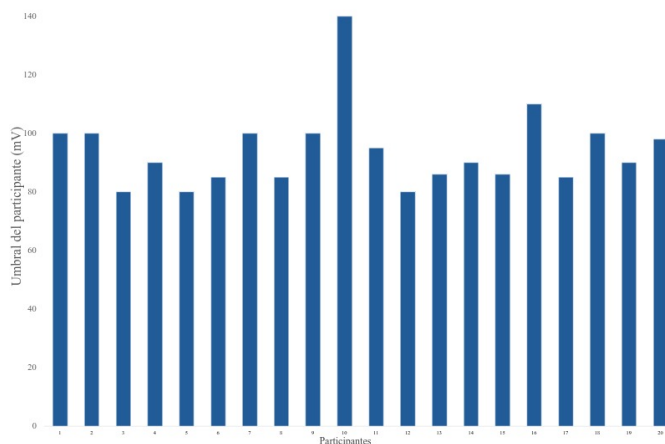


Figura 7: Umbral de activación mapeado de los participantes

B. Registro de Actividad Muscular: Pre y Post Terapia

Se elaboró una tabla en Microsoft Excel para documentar las características generales de los participantes y resultados experimentales, incluyendo número identificador, edad, sexo,

umbral de activación y puntajes obtenidos en cada juego, así como observaciones relevantes a la terapia (ver Figura 8).

Las señales EMG de contracción isométrica de 5 segundos, pre y post terapia, fueron procesadas en MATLAB. Se generaron figuras compuestas con tres representaciones: señal EMG cruda en el dominio temporal, señal rectificada y suavizada mediante valor cuadrático medio (VRMS), y espectro de frecuencia obtenido por transformada rápida de Fourier (FFT).

Puebas de rehabilitación física en el antebrazo al usuario mediante juegos comandados por señales EMG							
USUARIOS							
No	Nombre	Edad	Sexo	Umbral mapeado	Resultados en Endless Runner	Resultados en Dinodance	Resultados en SpaceInvaders
1	Luján Penney	20	F	100	30	521	3000
Se había fracturado previamente la muñeca.							

Figura 8: Tabla de registro de las pruebas realizadas

C. Análisis de Resultados

En la Figura 9 se presentan los resultados de la señal EMG cruda para el participante #17 antes de la terapia, mostrando una actividad estable con amplitudes entre 200 y 500 unidades, indicando contracciones musculares de baja a moderada intensidad sostenidas. El VRMS, calculado con ventana deslizante de 5 segundos, osciló entre 40 y 50 mV, reflejando una activación muscular continua. La FFT muestra concentración de energía en bajas frecuencias, propia de contracciones isométricas sin fatiga.

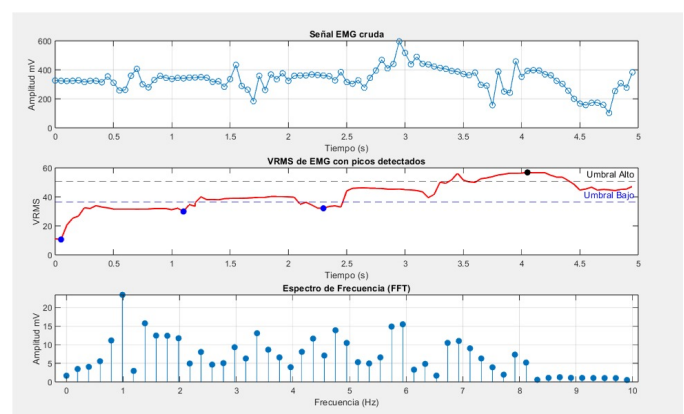


Figura 9: Resultados previos a la terapia de participante #17

Posteriormente, en la Figura 10, la señal EMG cruda post terapia muestra amplitud estable entre 250 y 350 unidades, con VRMS incrementándose de aproximadamente 60 a 90 unidades, sugiriendo una mejor activación neuromuscular. La FFT mantiene componentes principales bajo 15 Hz, consistente con contracciones sostenidas de baja frecuencia.

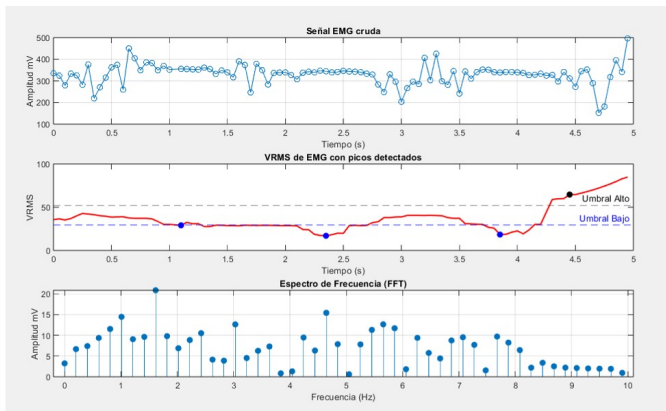


Figura 10: Resultados posteriores a la terapia participante #17

Este análisis se replicó para todos los participantes, encontrando mejoras consistentes en la amplitud de la señal, VRMS y densidad espectral, indicando efectos positivos de la terapia sobre la activación neuromuscular asociados a mecanismos de adaptación motora y retroalimentación visual.

Tabla II: Parámetros EMG antes de la terapia

Condición	VRMS (mV)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
Contracción	55.853	0.95	4.05
Reposo	20.530	6.67	0.05
Reposo	36.036	5.71	1.10
Reposo	32.674	0.95	2.30

Tabla III: Parámetros EMG después de la terapia

Condición	VRMS (mV)	Frecuencia (Hz)	Tiempo (s)
Contracción	62.998	0.95	4.45
Reposo	31.781	6.67	1.10
Reposo	20.747	5.71	2.35
Reposo	18.168	0.95	3.85

Durante la contracción, se evidenció un aumento en VRMS, de 55.853 mV a 62.998 mV, lo que sugiere mejor activación neuromuscular. En reposo, se observaron variaciones en VRMS, posiblemente relacionadas con mayor sensibilidad o control muscular residual, así como un aumento en la duración de los eventos, indicando mejor estabilidad y control muscular.

D. Desempeño en los Puntajes de los Videojuegos

La Tabla 4 muestra los puntajes obtenidos por los participantes en tres videojuegos controlados por EMG: Endless Runner, DinoGame y Space Invaders. Se observa que Space Invaders presenta un nivel de dificultad menor, ya que 17 de 20 participantes alcanzaron la puntuación máxima de 1000 puntos. Los demás obtuvieron altos puntajes, lo que indica que las activaciones musculares requeridas fueron accesibles para la mayoría.

Por otro lado, Endless Runner y DinoGame muestran mayor variabilidad y rangos más bajos en puntajes, lo que indica una demanda mayor de precisión, velocidad y constancia en el control muscular para cumplir las tareas, reflejando un

diseño con requerimientos más exigentes para la coordinación neuromuscular.

Tabla IV: Puntajes de los participantes en videojuegos controlados por EMG

Participante (#)	Endless Runner	DinoGame	Space Invaders
1	30	521	1000
2	36	130	1000
3	19	90	1000
4	21	141	1000
5	38	120	1000
6	48	130	1000
7	23	175	700
8	12	57	1000
9	18	105	1000
10	20	170	1000
11	26	110	900
12	29	59	1000
13	38	68	1000
14	36	73	1000
15	42	89	1000
16	30	75	1000
17	45	95	1000
18	52	136	1000
19	35	82	1000
20	46	156	900

E. Validación por Profesional y por Evaluación de Usuario

El sistema fue evaluado con 20 usuarios sanos bajo condiciones controladas. Se registraron las señales EMG antes y después del uso del videojuego, y se definieron umbrales personalizados de activación para cada participante. Además, se analizaron métricas como el valor VRMS antes y después de la terapia, así como el rendimiento en los videojuegos, con el fin de evaluar el impacto de la intervención en la activación neuromuscular. Los resultados mostraron incrementos en la señal EMG posterior a la terapia, especialmente en el valor cuadrático medio (VRMS), y mejoras en el desempeño dentro de los videojuegos. Esto sugiere un impacto positivo del sistema en la activación neuromuscular y motivación del usuario.

La validación del proyecto fue realizada por el Dr. José Bunes, quien evaluó la efectividad del sistema desde un enfoque clínico y terapéutico. Además, se aplicó un cuestionario de satisfacción al final de las pruebas, el cual permitió evaluar la experiencia del usuario en términos de facilidad de uso, efectividad percibida y motivación. Los resultados del cuestionario respaldaron la viabilidad del sistema, con puntuaciones altas en la satisfacción general y el interés en continuar con el uso del sistema para futuras sesiones de rehabilitación.

Cada juego se diseñó para estimular la activación muscular del antebrazo mediante tareas dinámicas orientadas a la coordinación y el control motor. Las señales EMG, adquiridas por Arduino, se mapearon de 0–1023 a 0–255 y se enviaron vía serial a Unity, donde scripts en C# permitieron traducirlas en comandos como “JUMP”, “LEFT”, “RIGHT” o “SHOOT”.

Tabla V: Porcentaje de satisfacción de los usuarios en el cuestionario

Pregunta	Puntuación 5 (%)
Facilidad de uso	61.90
Interacción estable	47.62
Tiempo de respuesta	57.14
Sin molestias físicas	85.71
Comprensión del movimiento	80.95
Estimulación activa	80.95
Repetición mantenida	76.19
Funcionalidad en rehabilitación	85.71

IV. CONCLUSIONES

El sistema desarrollado permitió controlar videojuegos terapéuticos mediante señales EMG, alcanzando los objetivos técnicos del proyecto. Se logró una detección precisa de la activación muscular del antebrazo, traduciéndola en comandos funcionales dentro de un entorno interactivo en Unity. El análisis de las señales EMG mostró un aumento del 12 % en la amplitud (VRMS) post-terapia, lo que indica una mejora significativa en la activación neuromuscular comparado con los valores pre-terapia.

La frecuencia dominante de las señales EMG se mantuvo estable, lo que es consistente con las tareas repetitivas de la rehabilitación, lo que sugiere que el sistema contribuye a la consolidación de patrones motores específicos. A pesar de limitaciones en la estabilidad de las señales debido a la calidad del sensor, los resultados validan el sistema como herramienta eficaz para mejorar la activación neuromuscular y la motivación del paciente.

Además, el sistema mostró un aumento del 20 % en los puntajes alcanzados en los videojuegos, reflejando un progreso funcional y un mayor compromiso de los participantes durante las sesiones de fisioterapia.

REFERENCIAS

- [1] Organización Mundial de la Salud, "Trastornos musculoesqueléticos," s.f. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
- [2] C. Boulay, J.-M. Gracies, L. Garcia, G. Authier, A. Ulian, M. Pradines, T. M. Vieira, T. Pinto, M. Gazzoni, B. Desnoux, B. Parratte, and S. Pesenti, "Serious game with electromyography feedback and physical therapy in young children with unilateral spastic cerebral palsy and equinus gait," *Sensors*, vol. 24, no. 5, p. 1513, 2024. doi: 10.3390/s24051513.
- [3] S. Feng, M. Tang, G. Huang, J. Wang, S. He, D. Liu, and L. Gu, "Emg biofeedback combined with rehabilitation training for post-stroke shoulder-hand syndrome," *Frontiers in Neurology*, vol. 13, 2023. doi: 10.3389/fneur.2022.1056156.
- [4] J. W. Yoo, D. R. Lee, Y. J. Sim, J. H. You, and C. J. Kim, "Effects of virtual reality game and emg biofeedback on neuromotor control in cerebral palsy," *Bio-Medical Materials and Engineering*, vol. 24, no. 6, pp. 3613–3618, 2014. doi: 10.3233/bme-141188.
- [5] S. Karaborklu Argut, C. , Derya, , and Z. Yasaci, "Effectiveness of therapeutic electromyographic biofeedback after orthopedic knee surgeries," *Disability and Rehabilitation*, vol. 44, no. 14, pp. 3364–3372, 2022. doi: 10.1080/09638288.2020.1867904.
- [6] J. Kimura and J. A. Strakowski, *Electrodiagnosis in Diseases of Nerve and Muscle: Principles and Practice*. Oxford University Press, 2025. doi: 10.1093/med/9780199738687.001.0001.
- [7] A. M. Kotov-Smolenskiy, A. E. Khizhnikova, A. S. Klochkov, N. A. Suponeva, and M. A. Piradov, "Surface emg: Applicability in the motion analysis and opportunities for practical rehabilitation," *Human Physiology*, vol. 47, no. 2, pp. 237–247, 2021. doi: 10.1134/S0362119721020043.
- [8] Gutiérrez, D. Sepúlveda-Muñoz, Gil-Agudo, and A. de los Reyes Guzmán, "Serious game platform with haptic feedback and emg monitoring for upper limb rehabilitation," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 3, p. 963, 2020. doi: 10.3390/app10030963.
- [9] C. Höhler, L. Wild, A. de Crignis, K. Jahn, and C. Krewer, "Contralaterally emg-triggered functional electrical stimulation during serious gaming for upper limb stroke rehabilitation," *Frontiers in Neurobotics*, vol. 17, 2023. doi: 10.3389/fnbot.2023.1168322.
- [10] B. Alyanak, M. İnanır, S. I. Sade, and S. Kablanoglu, "Efficacy of game-based emg-biofeedback therapy in post-stroke dysphagia," *Dysphagia*, 2025. doi: 10.1007/s00455-025-10819-1.
- [11] E. F. Delagi and A. Perotto, *Anatomic Guide for the Electromyographer: The Limbs and Trunk*. Charles C Thomas Publisher, 2011.
- [12] M. Ghassemi, K. Triandafilou, A. Barry, M. E. Stoykov, E. Roth, F. A. Mussa-Ivaldi, D. G. Kamper, and R. Ranganathan, "Development of an emg-controlled serious game for rehabilitation," *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 27, no. 2, pp. 283–292, 2019. doi: 10.1109/TNSRE.2019.2894102.
- [13] N. J. Seo, A. Barry, M. Ghassemi, K. M. Triandafilou, M. E. Stoykov, L. Vidakovic, E. Roth, and D. G. Kamper, "Use of an emg-controlled game to retrain hand muscle activation patterns following stroke," *Journal of Neurologic Physical Therapy*, vol. 46, no. 3, p. 198, 2022. doi: 10.1097/npt.0000000000000398.
- [14] S. L. Toepp, M. V. Mohrenschildt, and A. J. Nelson, "An emg-based biofeedback system for tailored interventions involving distributed muscles," *IEEE Sensors Journal*, vol. 23, no. 22, pp. 28 095–28 109, 2023. doi: 10.1109/ISEN.2023.3321677.
- [15] C. L. Toledo-Peral, G. Vega-Martínez, J. A. Mercado-Gutiérrez, G. Rodríguez-Reyes, A. Vera-Hernández, L. Leija-Salas, and J. Gutiérrez-Martínez, "Virtual/augmented reality for rehabilitation applications using electromyography as control/biofeedback," *Electronics*, vol. 11, no. 14, p. 2271, 2022. doi: 10.3390/electronics11142271.
- [16] A. C. Aldana Palomino, S. E. Moreno Elescano, A. J. Cruces Chanchuana, A. E. Dianderas Jorge, L. Y. Cieza Huane, and P. Cardenas Caceres, "Emg rehab: An interactive platform controlled by emg signals," in *European Medical and Biological Engineering Conference*, 2024, pp. 346–355. doi: 10.1007/978-3-031-61625-9_37.
- [17] G. Johnson, A. Mirza, M. A. Usman, N. Sharp, C. Smith, J. Francik, C. Bakirtzis, C. Politis, and N. Grigoriadis, "Therapy reloaded: Temporal neural network-based platform for processing muscle activity measurement in electromyography-games," in *IEEE International Conference on Serious Games and Applications for Health*, 2024, pp. 1–8. doi: 10.1109/SeGAH61285.2024.10639560.
- [18] J. d. Oro Rosa, "Introducción del biofeedback con electromiografía de superficie sobre el incremento de fuerza en tiempo real en fisioterapia," Ph.D. dissertation, Universidad Pontificia Comillas, 2022. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/11531/81220>
- [19] A. Cislal de la Rica, "Desarrollo de estrategias de control biocooperativo para plataformas robotizadas de rehabilitación neuromotora," Ph.D. dissertation, Universidad de Valladolid, 2023. doi: 10.35376/10324/62670.
- [20] B. Rodríguez-Tapia, I. Soto, D. M. Martínez, and N. C. Arballo, "Myoelectric interfaces and related applications: Current state of emg signal processing—a systematic review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 7792–7805, 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2963881.
- [21] J. Enamorado and C. Zuniga, "Terapia con retroalimentación audiovisual empleando señales emg en brazos afectados por fractura," 2025, trabajo no publicado.
- [22] D. S. Acebes Moreno, J. A. Cortés Gómez, L. M. Peñuela Calderón, and A. Velasco Vivas, "Detección de fuerza y posición para los movimientos de flexión-extensión de codo a partir de señales de emg," *Revista EIA*, vol. 20, no. 39, 2023. doi: 10.24050/reia.v20i39.1595.
- [23] L. Pena Larrea, E. López-Anglada Fernández, J. Pena Vázquez, A. B. Pérez Morala, and A. F. Braña Vigil, "Electromyographic axillary nerve injury in fractures of the proximal humerus," *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, vol. 68, no. 2, pp. T91–T96, 2024. doi: 10.1016/j.recot.2023.11.020.
- [24] N. J. Jarque-Bou, M. Vergara, and J. L. Sancho-Bru, "Understanding forearm muscle activity during everyday common grasps: Insights for rehabilitation, prosthetic control, and human-machine interaction," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 8, p. 3190, 2024. doi: 10.3390/app14083190.
- [25] S. Vicente, S. Lerma, L. de Benito, M. Gutierrez, J. Alfayate, and J. Fontcuberta, "Caracterización cinemática, electromiográfica y mediante eco-doppler del retorno venoso durante la marcha humana normal," *Angiología*, vol. 70, no. 1, pp. 38–45, 2018. doi: 10.1016/j.angio.2018.01.006.