



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**SISTEMA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA
FUNCIÓN MOTORA EN LA TRAYECTORIA DE EXTREMIDAD SUPERIOR**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Electrónica y Automatización

AUTOR: Roberth Steven Núñez Jácome

TUTOR: Eduardo Rodrigo Torres Santos

Quito - Ecuador

2022

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Roberth Steven Núñez Jácome con documento de identificación N° 1721711115 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 31 de marzo del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'STEVEN NÚÑEZ', is written over a horizontal line. The signature is stylized with large loops and a prominent 'S'.

Roberth Steven Núñez Jácome

1721711115

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Roberth Steven Núñez Jácome con documento de identificación No. 1721711115, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Sistema de inteligencia artificial para la evaluación de la función motora en la trayectoria de extremidad superior“, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 31 de marzo del año 2022

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'STEVEN NÚÑEZ', is written over a horizontal line. The signature is stylized with loops and is positioned above the printed name and ID number.

Roberth Steven Núñez Jácome

1721711115

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eduardo Rodrigo Torres Santos con documento de identificación N° 1713654604, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: SISTEMA DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN MOTORA EN LA TRAYECTORIA DE EXTREMIDAD SUPERIOR, realizado por Roberth Steven Núñez Jácome con documento de identificación N° 1721711115, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 22 de marzo del año 2022

Atentamente,



Ing. Eduardo Rodrigo Torres Santos, MSc.

1713654604

Sistema de inteligencia artificial para la evaluación de la función motora en la trayectoria de extremidad superior.

1st Roberth Steven Núñez Jácome
Ingeniería Electrónica y Automatización
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
rmunezj@est.ups.edu.ec

2nd Eduardo Rodrigo Torres Santos
Ingeniería Electrónica y Automatización
Universidad Politécnica Salesiana
Quito, Ecuador
etorres@ups.edu.ec

Resumen—La evaluación de la rehabilitación de la función motora en la actualidad no posee una manera cuantificable de medir su progreso, ya que el especialista médico utiliza actividades diarias que pueda realizar el paciente o tablas con rangos para medir el avance de la rehabilitación. Por esta razón, para la medición de la rehabilitación tradicional es un desafío en la parte de la precisión del progreso. Es de este modo, que la tecnología busca resolver este problema a partir de una de las ramas más relevantes que posee la cual es la inteligencia artificial. El propósito de esta investigación es desarrollar un sistema de inteligencia artificial para la evaluación de la movilidad y extracción de la trayectoria de una extremidad superior, específicamente la trayectoria del recorrido del conjunto de codo y hombro. Asimismo, se plantea el uso del lenguaje de programación JAVA para proporcionar todas las herramientas necesarias en la detección de los puntos clave del cuerpo gracias al uso de visión artificial a partir de la librería de inteligencia artificial OpenCV y el uso combinado de la tecnología NVIDIA cuDNN con la Arquitectura Unificada de Dispositivos de Cómputo (CUDA).

Abstract—The evaluation of motor function rehabilitation currently does not have a quantifiable way to measure its progress, since the medical specialist uses daily activities that the patient can perform or tables with ranges to measure the progress of rehabilitation. For this reason, for traditional rehabilitation measurement is a challenge in the accuracy part of progress. It is in this way that technology seeks to solve this problem from one of the most relevant branches that it has, which is artificial intelligence. The purpose of this research is to develop an artificial intelligence system for the evaluation of the mobility and extraction of the trajectory of an upper extremity, specifically the trajectory of the elbow and shoulder joint. Likewise, the use of the JAVA programming language is proposed to provide all the necessary tools in the detection of the key points of the body thanks to the use of artificial vision from the OpenCV artificial intelligence library and the combined use with NVIDIA cuDNN deep learning, with the Compute Unified Device Architecture (CUDA).

Index Terms—Visión artificial, Java, OpenCV, CUDA, trayectoria

I. INTRODUCCIÓN

El accidente cerebrovascular es un problema médico grave que muchos países se han enfrentado durante mucho tiempo.

Según las estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 2021, el número de personas que sufren las consecuencias de la interrupción del flujo sanguíneo a una parte del cerebro (ictus), existe un aumento anual global de 15 millones de accidentes por año [1] [2]. Las secuelas que se presentan son disfunción motora de las extremidades, disfunción sensorial de las extremidades, disfagia, etc.

Una de las desventajas al momento de realizar la rehabilitación para restaurar la función motora en las extremidades, es en la cual el médico a cargo se limita a observar de acuerdo a su criterio la postura de rehabilitación de los pacientes con accidente cerebrovascular y posterior llena formularios de escalas con una medición cualitativa y puntaje cuantitativo de la recuperación del mismo [3]. Es así que, de lo dicho anteriormente las herramientas utilizadas para la medición son: índice de Barthel (IB), las actividades instrumentales de la vida diaria (IADL), el cuestionario portátil corto sobre el estado mental (SPMSQ) o la escala de accidentes cerebrovasculares de los NIH (NIHSS), como una medida del rendimiento de la rehabilitación para comparar las diferencias antes y después de la rehabilitación con la finalidad de evaluar la capacidad de las actividades de la vida diaria (AVD) de los pacientes con accidente cerebrovascular [4].

Por otra parte, un correcto proceso de rehabilitación debe contar con máquinas de última generación y atención a largo plazo por parte del personal médico, lo que es un proceso de rehabilitación costoso, inconveniente y que requiere mucho tiempo para los pacientes con accidente cerebrovascular que pierden la disfunción motora en los miembros superiores [5].

Debido a que la disfunción del movimiento de las extremidades es la más común cuando se sufre un accidente cerebrovascular han surgido varios estudios relacionados con este tema. Por ejemplo, [6] creo un método para generar un movimiento pélvico personalizado durante un ciclo de marcha basado en el algoritmo de Regresión de Vector de Soporte (SVR). De lo cual los resultados obtenidos se basan en mayor parte en los sensores del movimiento, dejando en discrecionalidad la correcta posición del ser humano. Además, que la metodología mostrada es abstracta .

En la misma rama, [3] propone un sistema de detección de trayectoria utilizando Inteligencia artificial y un modelo en 3D del ser humano a través de sensores de movimiento, mientras que [7] y [8], proponen una optimización de la trayectoria de rehabilitación de miembros superiores basada en algoritmo genético inmunológico artificial, en la cual utiliza un sensor Kinect para detectar los movimientos. Estos proyectos consiguen una evaluación en función de la correcta posición del cuerpo. No obstante, los materiales empleados son costosos, particularmente los sensores Kinect.

El propósito del estudio reportado en este artículo es desarrollar un sistema inteligente a través de una red de cámaras IP que evalúe la rehabilitación de la extremidad superior de un paciente por el seguimiento de la trayectoria. Es así, que este artículo se enfoca principalmente en el diseño e implementación de un algoritmo de inteligencia artificial mediante una arquitectura de programación web con Backend y Frontend que va a estar destinada a una estación de trabajo con la finalidad de evaluar su funcionalidad a través de pruebas experimentales en pacientes de rehabilitación dentro de un entorno controlado.

II. ARQUITECTURA Y METODOLOGÍA

A. Backend y Frontend

Esta investigación se basa en una arquitectura con un Frontend y un Backend. El desarrollo de la parte del Frontend se planteo en el framework Flutter por la facilidad de ser multiplataforma. La Tabla I muestra los distintos tipos de desarrollo de aplicaciones que puede compilar flutter.

TABLA I
TIPO DE APLICACIONES QUE PUEDE CREAR FLUTTER.

Aplicaciones multiplataforma de Flutter	
1	Aplicaciones de escritorio para Windows
2	Aplicaciones de escritorio para Linux
3	Aplicaciones Web
4	Aplicaciones móviles

Por otra parte, el Backend se desarrollo en el lenguaje de programación Java con Spring Boot debido a la factibilidad de seguir patrones arquitectónicos dentro de un proyecto de Software robusto [9]. Es así, que dentro del Backend se plantea una arquitectura de REST API gracias a que permite la interacción con los servicios web [10]. Dentro de la misma parte del Backend se planteo el uso de la librería OpenCV la cual va a estar encargada de la parte de visión con inteligencia artificial [11]. Es de esta manera, que dentro de la librería OpenCV se planteo el uso de la tecnología NVIDIA CUDA/ NVIDIA CUDNN para la mejora del rendimiento del proyecto [12]. En la Figura 1, se observa la estructura del Backend del proyecto.

Se propuso el uso de la tecnología NVIDIA CUDA debido al fuerte requerimiento del CPU que se debe de realizar para procesar los frames de video de cada terapia de sesión. De este modo para el desarrollo de esta investigación se noto una clara diferencia de núcleos entre el procesador i7 9700k con

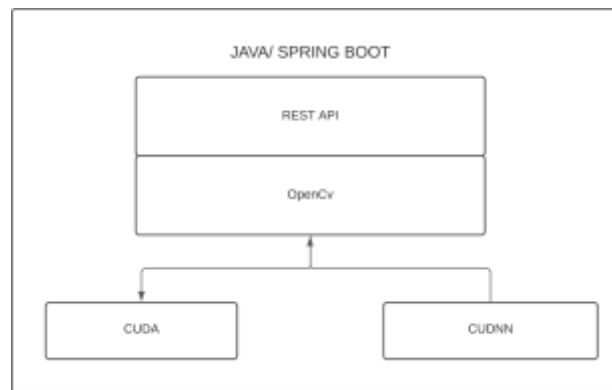


Fig. 1. Desarrollo del Backend de la investigación

8 núcleos y una tarjeta de video NVIDIA GTX 1070 con 1920 núcleos. No obstante, se menciona que para utilizar los núcleos de la tarjeta de video, es necesario compilar a mano la librería OpenCV generando un archivo con extensión .jar. La Tabla II indica las especificaciones de dos tarjetas de video NVIDIA con núcleos CUDA

TABLA II
COMPARACION DE ESPECIFICACIONES DE TARJETAS GRAFICAS NVIDIA GTX 1070 VS GTX 1080

	GTX 1080	GTX 1070
<i>Codename</i>	GP 104	GP 104
<i>CUDA Cores</i>	2560	1920
<i>Base Frequency (MHz)</i>	1607	1506
<i>Boost Frequency (MHz)</i>	1733	1683
<i>Texture Units</i>	160	120
<i>ROPs</i>	64	?
<i>Memory Bus</i>	256-bit	256-bit
<i>Mem.Size</i>	8GB GDDR5X	8GB GDDR5
<i>Mem.Data Rate (Gbps)</i>	10Gbps	8Gbps
<i>IDP</i>	180W	150W
<i>Power Connectors</i>	Single 8-Pin	Single 8-Pin
<i>Transistor Count</i>	7.2bn	7.2bn
<i>Manufacturing Process</i>	TSMC 16nm	TSMC 16nm

B. Detección de los puntos

Para la detección de los puntos se plantea una estructura combinada entre la librería OpenCV con un conjunto de datos de detección (dataset) de objetos a gran escala. Entre los dataset mas importantes se destacan los proyectos de COCO y MPI debido a la gran cantidad de detección de objetos y puntos que contienen estas bases de datos [13].

Dentro de la librería COCO, se define un estándar de puntos con los cuales se puede trabajar dependiendo de la aplicación que se realice. La Figura 2 presenta la detección de los puntos que identifica la librería COCO en el ser humano .

Para el fin de esta investigación se realizo las combinaciones de los siguiente puntos : 1,1, 1,2, 1,5, 5,6, 2,3. Estos puntos son escogidos para el futuro análisis en videos y en un proceso en tiempo real con respecto a la generación del ángulo y posición relativa al hombro y codo. La Figura 3 muestra los puntos de



Fig. 2. Detección de los principales puntos dentro de la base de datos COCO

relevancia para el caso de investigación identificados en un paciente de rehabilitación.

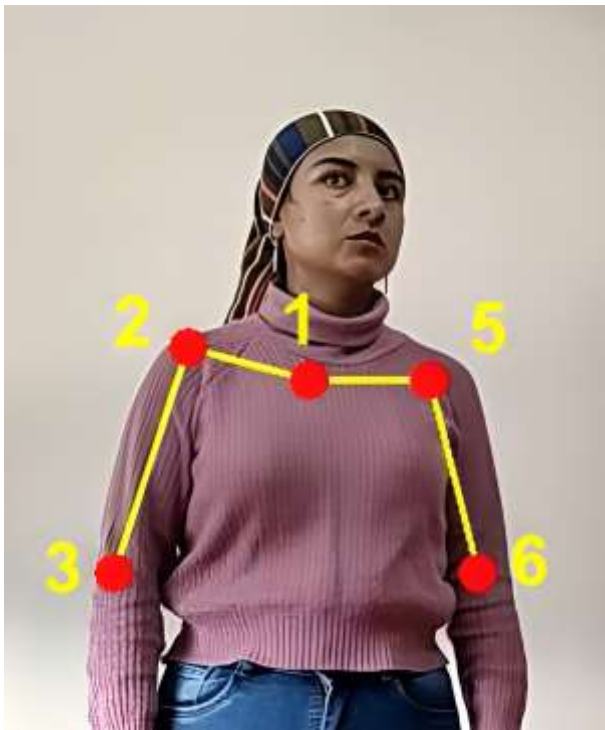


Fig. 3. Unión de los puntos de las extremidades superiores

C. Detección Multicámara

Se emplea 3 cámaras IP las cuales van a dar una una perspectiva diferente de los puntos y los ángulos de la formación de los brazos [14]. La primera cámara va a mostrar la detección de los puntos en un plano frontal. La segunda y tercera cámara se encuentran ubicadas a un ángulo de 30° en la parte izquierda y derecha de la personas respectivamente. Esto se debe a que cada cámara va a enfatizar los puntos del brazo que se desea analizar en relación a los demás puntos de detección de los

membros superiores. Las Direcciones IP de cada cámara se encuentran en la Tabla III.

TABLA III
DIRECCIONES IP RESPECTIVAS PARA CADA CÁMARA

Cámaras	Dirección IP
Cámara Frontal	192.168.1.110
Cámara izquierda a 30°	192.168.1.100
Cámara derecha a 30°	192.168.1.101

Por otra parte en la Figura 4 se puede observar los distintos planos que proyectan las cámaras IP respectivamente.



Fig. 4. Planos de las cámaras IP

D. Procesamiento del vídeo y generación de trayectoria

El procesamiento del video es ejecutado a través de un método denominado RealTime. Este método, es encargado de procesar inmediatamente cada frame capturado de la entrada de video de una sesión de rehabilitación. De hecho, que la estructura del funcionamiento del método RealTime consta de la siguiente manera: Se tiene un capturador de video desde la ruta o URL de la cámara IP. Posterior a la obtención del video se plantea la captura de cada frame de video. En este caso se planteo 10 frames por cada segundo de video. Asimismo, posee una infraestructura capaz de almacenar en una carpeta de procesados o no a cada frame que se este procesando.

Por otro lado, dentro del método RealTime existe un sub-proceso para el análisis de cada frame en procesamiento. Es de esta manera, que en la Figura 5 muestra un diagrama de flujo del procesamiento de cada frame de video.

E. Base de datos en la Nube

Al tener un planteamiento de grabación de 10 hits o frames por segundo en una sesión entre 20 a 30 minutos y tener un aproximado de 10 sesiones, la cantidad de datos generados por sesión supera un aproximado de 54 000 hits por sesión. Es de esta manera, que al ser datos grandes, se plantea el uso de un servicio en la nube denominado Firebase en específico el servicio Firestore. La Figura 6 indica la base de datos en Firebase para el almacenamiento de los Frames de cada video.

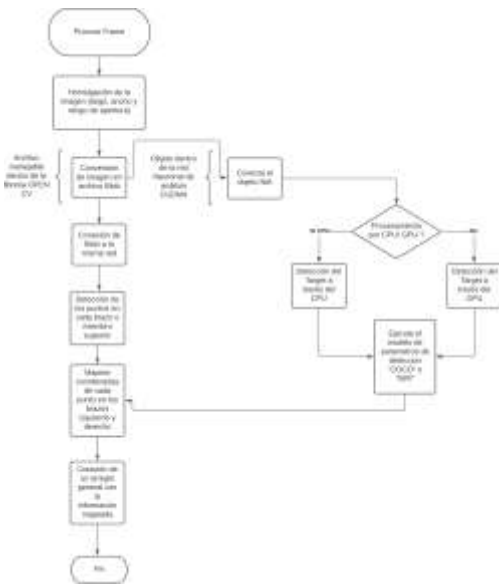


Fig. 5. Diagrama de flujo para el proceso de análisis de cada Frame de video



Fig. 7. Nombres de los puntos de detección

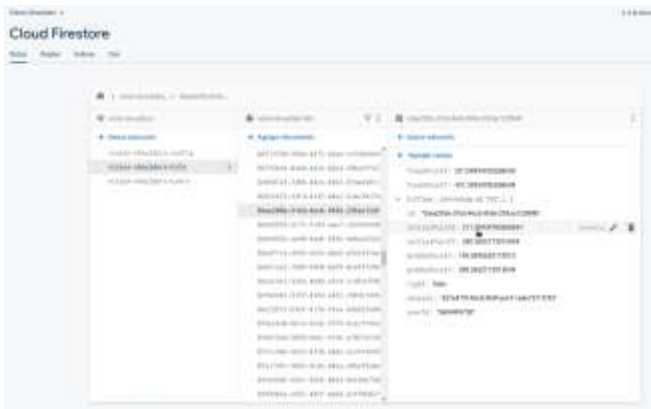


Fig. 6. Base de datos en Firebase

Por otra lado, los datos que se almacenan en la nube van a ser las coordenadas en el eje x y el eje y de los puntos detectados de cada brazo. Es así, que el initialPoint va a ser el punto detectado en el pecho, el middlePoint el punto detectado en el hombro y el finalPoint el punto detectado en el codo. De hecho, en la Figura 7 se puede apreciar los nombres de cada punto de detección para la investigación.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Por derechos de información confidencial que no deben ser divulgados por compromisos institucionales, los nombres de los pacientes y la entidad médica no serán relevantes en esta investigación. Es así que cada paciente tendrá un identificador. Dentro de la entidad médica se escogen a 5 personas diagnosticadas que tenían planificadas sesiones de rehabilitación bajo las siguientes características:

- Personas en el rango de edad de 25 a 50 años.

- Personas que necesiten rehabilitación en su brazo derecho.
- Personas sin lesiones ni problemas pre existentes relacionados.
- Pacientes que tengan agendadas al menos 10 sesiones de rehabilitación

Del grupo seleccionado de pacientes, se utiliza los 3 que recibieron las terapias completas. La Tabla IV detalla las características de los pacientes observados.

TABLA IV
CARACTERÍSTICAS DE LOS PACIENTES

CI	Identificador	Género	Edad	Sesiones	Agenda
0604499798	Paciente X	Maculino	28	15	9:30 AM pasando un día
0503510414	Paciente Y	Femenino	29	10	11:00 AM todos los días
0602814451	Paciente Z	Femenino	47	18	3:00 PM 1 vez por semana

A partir de la información planteada, se procede a analizar hasta la sesión número 10 con el fin de homogeneizar los datos obtenidos de cada paciente. Las figuras 8 y 9 muestran los eventos o movimientos del miembro superior vs la distancia en píxeles que existe entre el suelo y el codo del paciente. Es por esta razón que las mediciones son realizadas en un entorno controlado en el cual todos los pacientes deben de estar de pie en un mismo lugar previamente establecido. De la misma manera, se menciona que 580 unidades equivalen a 94 [cm] de altura. Debido al planteamiento del sistema se establece un umbral para cada paciente acorde a la altura que posea. Se toma como ejemplo el caso del "paciente X" en el cual se debe de superar una cantidad mayor de 900 unidades de píxeles para una rehabilitación acorde a su caso. En la Figura 8 se muestra la primera sesión del "paciente X" de rehabilitación.

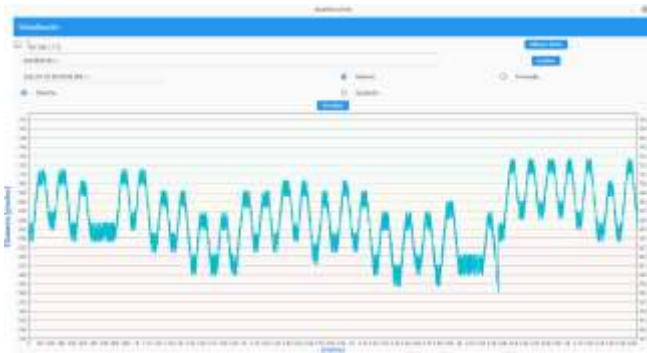


Fig. 8. Primera sesión de rehabilitación del "paciente X"

El espectro de movimiento que posee el "paciente X" antes de realizar fisioterapia tiene un rango entre 700 a 730 unidades de píxeles. Esto significa que el movimiento entre el conjunto de codo y hombro que realiza en comparación a la apertura del codo no supera un ángulo de 45°.

Por otra parte, en la Figura 9 muestra la sesión número 10 del paciente X.



Fig. 9. Sesión numero 10 de rehabilitación del paciente X

Como se observa en la Figura 9, el paciente X logra sobrepasar el espectro de las 900 unidades en la sesión 10. Esto significa en primer lugar que el paciente X logra una apertura aproximada a 90° en cada sesión. En segundo lugar que presenta una progresión en comparación a la primera sesión. Por tanto, el profesional decide reducir la cantidad de sesiones a 12 de las 15 agendadas, lo cual indica una ganancia directa al usuario, pues no tuvo que asistir a 3 reuniones innecesarias.

Considerando que comparar simplemente la primera gráfica con la última no permite una visualización global del avance del paciente, se hace uso de los 2 métodos de seguimiento disponibles en la herramienta.

A. Análisis de avance por método de máximo espectro

Al considerar en conjunto todas las sesiones del paciente y retirando la data atípica, este método marca los 2 espectros más altos alcanzados en cada sesión. Esto permite, realizar un análisis de las sesiones ya cumplidas, así como estimar el

futuro avance que tendr'ia el paciente. Es de esta forma, que se procede a analizar la gráfica tomando como ejemplo el mismo paciente X.

En la Figura 10, se puede notar que el avance en la primera sesión es mucho más pronunciado que en las última sesión. De hecho, la primera sesión alcanzó un espectro de 730.34 unidades de píxeles mientras que en las últimas logró 904.94, es decir, un avance de 174.6 unidades de píxeles. Si a esto se hace una analogía en porcentaje se tiene 23.91 % de mejora en 10 sesiones.

B. Análisis de avance por método promedio

En este caso, después de retirar los datos atípicos, la estimación se realiza con el promedio de todas las mediciones de una sesión para proyectar así el comportamiento de las siguientes. Por apreciación se procede con el análisis de cada paciente.

El análisis promedio del "paciente X" posee un comportamiento diferente al método de máximo espectro. De hecho, el médico afirma que al incluir todas las marcaciones y no solo las más altas la curva varía por períodos de descanso o más lentos que presenta el usuario durante la sesión. Es así, que el gráfico indica que el paciente X tiene una mejora de un 13%. Este resultado se puede visualizar en la Figura 11.

Por otra parte, dentro del caso del paciente Y, mantiene una tendencia de crecimiento acelerado en las primeras sesiones que desacelera gradualmente hasta aplanar la curva de avance, en este caso se tiene un 11% de progreso. La Figura 12 representa el análisis promedio del paciente Y

Al igual que con el paciente Y, el paciente Z mantiene la tendencia de aceleración inicial, se tiene una mejora de un 13%. Esto se ve reflejado dentro de la gráfica 13.

C. Análisis de resultados por parte del fisioterapeuta

El médico especifica que el gráfico es de utilidad para identificar que tan bien están realizando los ejercicios los pacientes, dado que al tener varios descansos o varias mediciones bajas durante la sesión afectarán en la proyección de la gráfica y provocará que difiera como en el caso del paciente X, mientras que los otros 2 pacientes mantuvieron concordancia.

El médico validó sesión por sesión a todos los pacientes dado que mencionó que normalmente un paciente tiene períodos de bajo rendimiento durante las sesiones y que estos no se veían reflejados en la Figura 10 de máximo espectro, pero sí en el método promedio como se reflejan en las Figuras 11,12,13. Por lo cual se concluye que los 3 tipos de gráficas se complementan y son importantes para un correcto seguimiento.

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo de un Sistema de inteligencia artificial para la evaluación de la función motora en la trayectoria de extremidad superior. Al realizar la implementación se observa que la trayectoria que sigue el miembro superior permite al especialista de la salud determinar de forma eficiente el progreso de la rehabilitación del paciente.

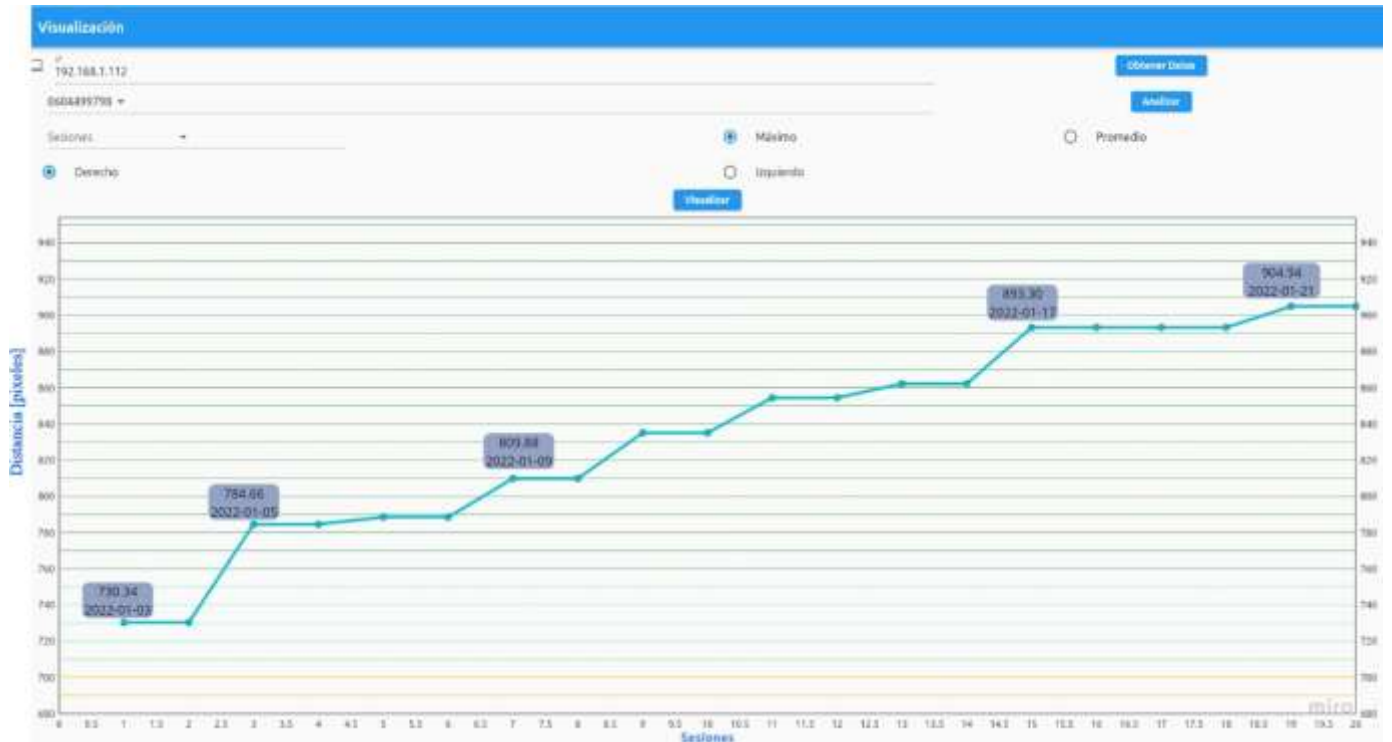


Fig. 10. Avance completo paciente X por método de máximo espectro



Fig. 11. Análisis promedio paciente X

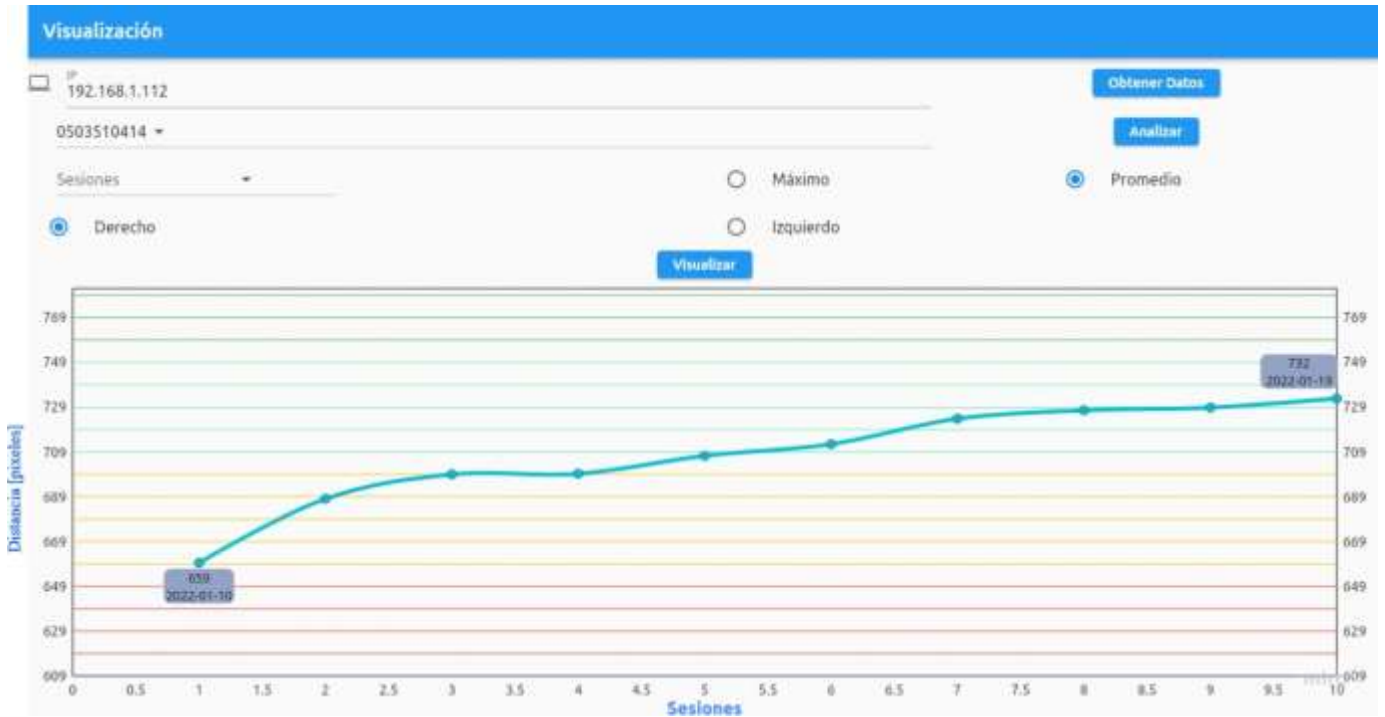


Fig. 12. Análisis promedio paciente Y

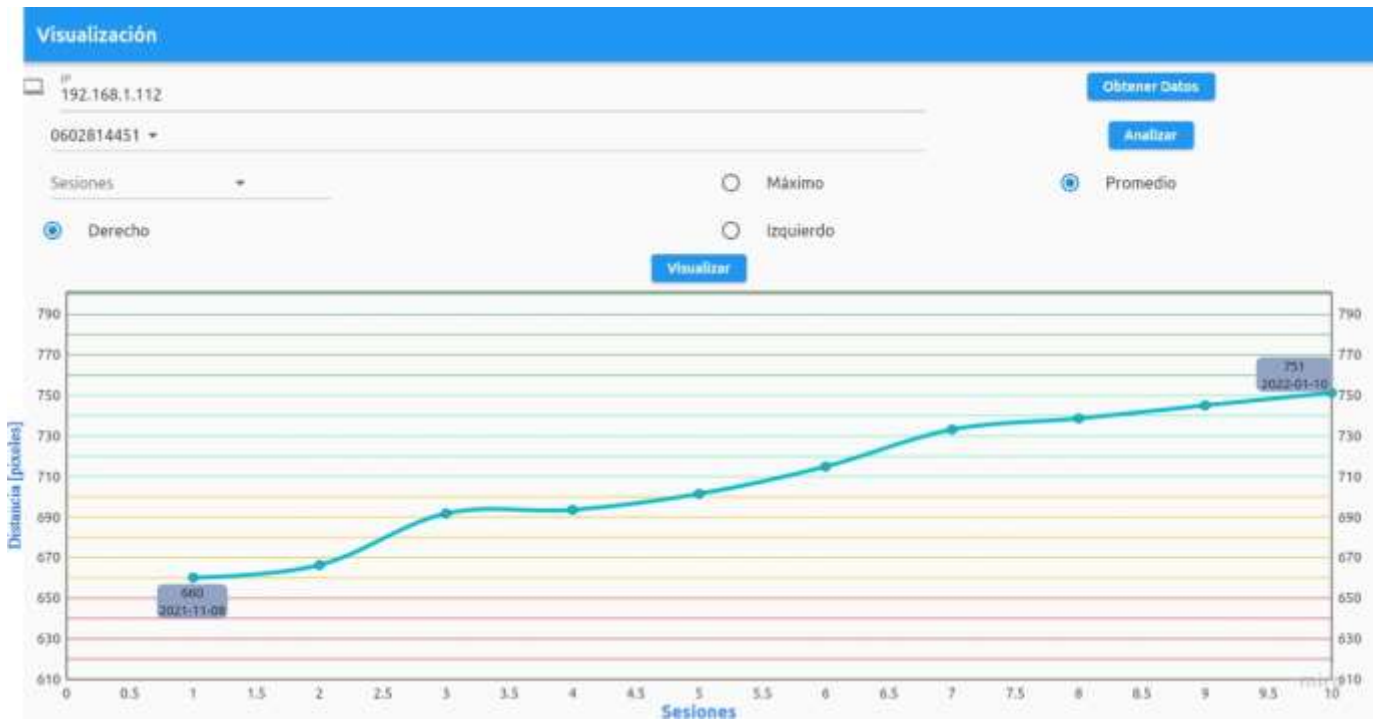


Fig. 13. Análisis promedio paciente Z

Los resultados de la implementación mostraron que se puede realizar una correcta evaluación de la función motora utilizando la trayectoria que emerge en las sesiones de rehabilitación permitiendo así, tener una nueva alternativa a la tradicional, reducir los costos y utilizar software independiente en un entorno controlado.

El resultado del comportamiento de las gráficas por los métodos existentes dentro del sistema realizado determino que existe un correcto análisis con un porcentaje de exactitud mayor al 90%. Gracias a esto se puede tener análisis mas exactos del progreso de una persona que necesite rehabilitación para una extremidad superior.

Por otro lado, se menciona que la precisión de la detección de los puntos a través de la red de cámaras para la generación de la trayectoria tendrá un porcentaje de error menor al 3%. Esto va a depender de la cámara IP que se este usando. No obstante, este valor se puede reducir con la ayuda de un entorno controlado o específico y el uso de tecnología de mayor calidad.

REFERENCES

- [1] T. Truelsen, S. Begg, and C. Mathers, "The global burden of cerebrovascular disease," pp. 1–3, 6 2018. [Online]. Available: <https://www.who.int/healthinfo/statistics/bodcerebrovascular.pdf>
- [2] W. H. Organization, "Leading causes of death in europe: fact sheet noncommunicable diseases," 2018. [Online]. Available: <http://www.euro.who.int/>
- [3] W. J. Chang, J. P. Su, L. B. Chen, C. H. Hsu, C. P. Lin, T. C. Yang, M. C. Chen, and Y. K. Ou, "Bodytracker: A deep learning based 3d limb trajectory tracking system for rehabilitation," *2019 IEEE 8th Global Conference on Consumer Electronics, GCCE 2019*, pp. 383–384, 2019.
- [4] N. Norouzi-Gheidari, M. F. Levin, J. Fung, and P. Archambault, "Interactive virtual reality game-based rehabilitation for stroke patients," *2013 International Conference on Virtual Rehabilitation, ICVR 2013*, pp. 220–221, 2013.
- [5] L. H. Lugo-Agudelo, P. A. Castro-García, A. Mejía-Mejía, B. C. Cano-Restrepo, D. A. Vélez-Jaramillo, and H. I. García-García, "Determinantes de los costos de la atención y la rehabilitación de personas lesionadas en accidentes de tránsito en medellín, colombia," *Revista Gerencia y Políticas de Salud*, vol. 15, pp. 176–189, 2016.
- [6] D. Guan, "Pelvic trajectory analysis for lower limbs rehabilitation robot," *Proceedings of 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2019*, pp. 2002–2005, 2019.
- [7] X. Zhu, J. Wang, and X. Wang, "Upper limb rehabilitation trajectory optimization based on artificial immune genetic algorithm," *Proceedings of the 2015 27th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2015*, pp. 1598–1603, 2015.
- [8] X. Wang, X. Li, J. Wang, and T. Luo, "A kinect-based trajectory capturing and tracking scheme for upper-limb robot-aided rehabilitation," *2017 IEEE 7th Annual International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, CYBER 2017*, pp. 249–254, 2018.
- [9] D. Landman, A. Serebrenik, and J. J. Vinju, "Challenges for static analysis of java reflection-literature review and empirical study." Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 7 2017, pp. 507–518.
- [10] F. Sohan, C. Anslow, and M. Robillard, "A study of the effectiveness of usage examples inrest api documentation," *IEEE Symposium on Visual Languages and Human - Centric Computing*, pp. 1–9, 2017.
- [11] B. Calva and W. Rodas, "Diseno y desarrollo de un sistema inteligente basado en vision artificial y aplicaciones moviles para el monitoreo y deteccion de caidas en adultos mayores," pp. 9–10, 11 2021. [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21295>
- [12] N. Sunitha, K. Raru, and N. Niranjana, "Performance improvement of cuda applications by reducing cpu-gpu data transfer overhead," *IEEE EXPLORE*, 2017.
- [13] T.-Y. Lin, M. Maire, S. Belongie, L. Bourdev, R. Girshick, J. Hays, P. Perona, D. Ramanan, C. L. Zitnick, and P. Dollár, "Microsoft coco: Common objects in context," 5 2018. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1405.0312>
- [14] P. Hidalgo and R. Narváez, "Implementacion de un sistema de gestion de la informacion relacionada con el control de la asistencia de recurso humano de la empresa, y el registro de asistencia provisto por un biometrico con reconocimiento de imagen utilizando una camara ip," pp. 22–25, 9 2017.