

Nombre del proyecto	iREHAB: Sistema inteligente de Rehabilitación usando un Exoesqueleto para recuperar Habilidad motora en discapacidades post-ACV, usando señales Biológicas del paciente
Nombre investigador Principal	Julián David Colorado Montaña.
Convocatoria	Convocatoria fortalecimiento de capacidades regionales de investigación en salud pública.

Introducción

El ataque cerebro vascular (ACV) es la segunda causa de muerte e incapacidad en el mundo [1], presentando anualmente alrededor de 100-200 casos por cada 100.000 habitantes [2]. El trastorno motor es una de las alteraciones más comunes entre los pacientes luego de sufrir un ACV el cual afecta directamente el movimiento y la funcionalidad de las extremidades inferiores y/o superiores. Cerca del 80% de los pacientes presentan deterioro de las extremidades superiores después de un ataque cerebrovascular [3]. Este deterioro es un impedimento para que el paciente realice diferentes actividades de la vida diaria (ADL, por sus siglas en inglés), lo cual afecta en gran medida la independencia del paciente y puede producir discapacidad a largo plazo.

Los procedimientos de rehabilitación se centran en la recuperación (total o parcial) de las funciones motoras. Principalmente, se enfocan en la ejecución de terapias para mejorar el movimiento articular, el tono muscular y la plasticidad cerebral. Actualmente, la rehabilitación robótica está teniendo gran interés, pues permite realizar terapias de trabajo intensivo, altamente repetitivo y con la confiabilidad en la ejecución de los movimientos, lo cual mejoraría el proceso de rehabilitación.

Generalmente, los mecanismos robóticos que se utilizan como apoyo en labores de rehabilitación para movilidad articular ofrecen asistencias pasivas o activas, por medio del uso de órtesis, prótesis, guantes actuados o exoesqueletos [4]. Las terapias activas tienen en cuenta la intención del movimiento que genera el paciente con el fin de realizar una asistencia dinámica. La intención de movimiento es obtenida a partir del análisis de **señales de electromiografía (EMG)** generadas por la actividad eléctrica de los músculos involucrados [5].

Las señales EMG, además de ser usadas para la detección de movimiento, también permiten evaluar de manera cuantitativa la condición motora del paciente en cada terapia con el propósito de que **la asistencia sea progresiva**. De esta manera, se pueden analizar los desórdenes motores generados por los ACV. Recientes estudios sugieren que los pacientes después del ACV deben realizar diferentes tipos de intervenciones terapéuticas de acuerdo al **progreso de su estado motor** [6]. Con el fin de aplicar estrategias de tratamiento adecuadas para las personas después del ACV, es importante entender las deficiencias producidas por el ACV y el progreso logrado a través de la terapia de la rehabilitación. Por ejemplo, Chae et al. adquirió señales EMG de los flexores y extensores de la muñeca de 26 sobrevivientes de ACV durante la flexión y extensión isométrica de la muñeca para encontrar la relación entre la debilidad muscular posterior del miembro, co-

Protocolo experimental

contracción y medidas clínicas de la deficiencia física del miembro superior [7]. En su investigación, descubrieron que la fuerza de la contracción muscular era significativamente mayor en la extremidad no afectada y el grado de co-contracción fue significativamente mayor en la extremidad afectada. Adicionalmente, la debilidad muscular y el grado de co-contracción se correlacionaron significativamente con el deterioro motor y la discapacidad física en la extremidad superior con hemiplejía. Con estas medidas del estado motor del paciente, se pretende conocer el progreso en las distintas etapas de la rehabilitación. Esto permitiría modificar el movimiento del exoesqueleto de rehabilitación, de manera que adapte sus trayectorias tanto al movimiento como al progreso del paciente.

Por lo tanto, en este trabajo se formula la siguiente pregunta: ¿Es posible generar trayectorias de movimiento de ejercicios de rehabilitación de la mano que se adapten a la condición motora actual del sujeto a partir del análisis de señales de EMG de individuos sanos?

Debido a que en esta investigación no se trabajará con personas con ACV, se busca simular el comportamiento muscular de estas bajo distintos niveles de fatiga muscular. La fatiga muscular puede causar cambios en los patrones de movimiento de las personas, además causa cambios en el comportamiento eléctrico de los músculos fatigados. El propósito de esta investigación, es analizar cómo cambian los patrones de movimiento de la mano y el comportamiento eléctrico de los músculos del antebrazo bajo distintos niveles de fatiga. Adicionalmente, se diseñará un control de un exoesqueleto que tenga en cuenta la intención y el nivel de fatiga del sujeto, para soportar de manera activa su movimiento. Nuestro propósito es realizar un primer acercamiento a un exoesqueleto robótico, que en el futuro pueda ser utilizado en rehabilitación de miembro superior en pacientes con ACV.

Diseño del protocolo experimental

Debido a que es necesario generar fatiga en los músculos de los participantes, y con el fin de no generar daños o lastimar a los participantes, este protocolo se basa en el protocolo experimental de un estudio aprobado por la junta de revisión institucional de la Universidad de Michigan (HUM00095995), en el cual se estudiaron los **efectos de la fatiga muscular** de las extremidades superiores proximales y distales en movimientos repetitivos [8].

- **Selección de Participantes:** Se invitará a participar a 10-15 personas que no presenten un impedimento en la movilidad de la mano y el antebrazo. A cada participante se le presentará y explicará el protocolo y se le pedirá por escrito su **consentimiento informado** para la participación en el experimento.
- **Procedimientos y Equipos:** Mediante este protocolo se busca realizar la adquisición sincronizada de trayectorias cartesianas de la mano por medio de video y de señales EMG superficiales del antebrazo. Estos datos serán tomados de sujetos sanos mientras efectúan distintos ejercicios de rehabilitación (Figura 1). Este experimento no involucra procedimientos invasivos.

Protocolo experimental

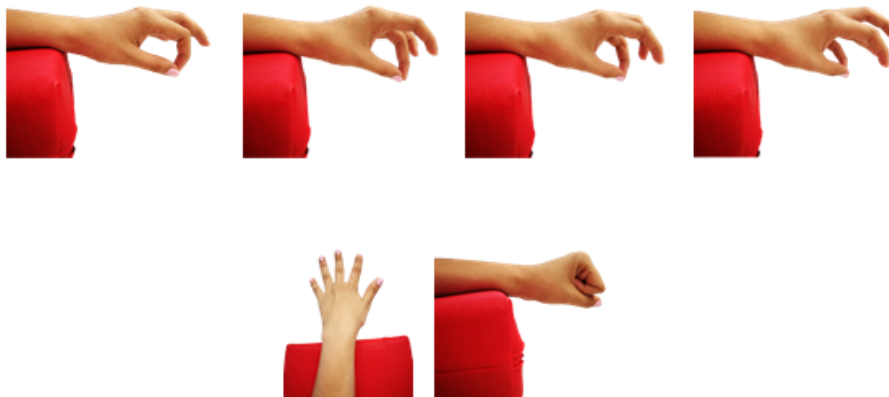


Figura 1. Ejercicios de interés [11]

1. Adquisición de las trayectorias con el sistema VICON:

Para esta adquisición se utiliza un sistema de captura de movimiento VICON. Este sistema de captura consta de cámaras infrarrojas las cuales permiten el seguimiento de puntos específicos (marcadores). Nexus [9] es el software que permite la adquisición de los datos y la construcción de un modelo de cuerpos rígidos para la adquisición.

El número de cámaras es un parámetro de selección importante para realizar una adquisición adecuada. Principalmente, depende del volumen de captura de movimiento y del movimiento que se requiera capturar. Para hacer seguimiento de los movimientos de la mano se recomienda utilizar de 5 a 8 cámaras [10]. Después de diferentes pruebas se seleccionó la siguiente configuración con 6 cámaras (Fig. 2).

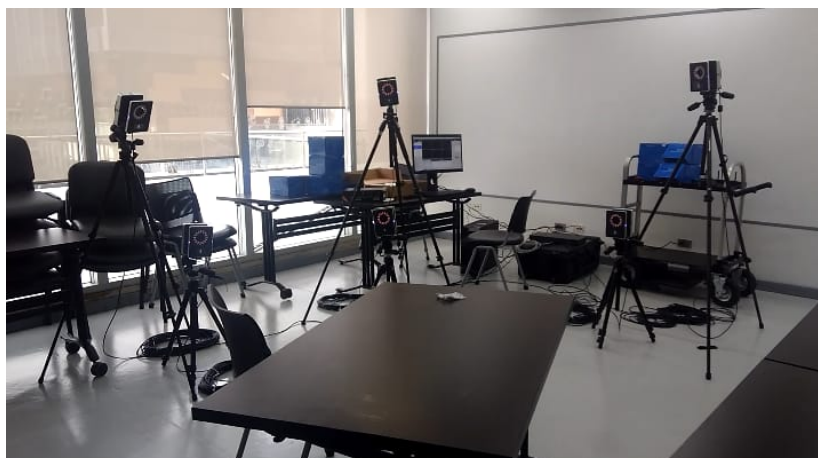


Figura 2. Configuración de cámaras

Protocolo experimental

Generalmente para la captura de movimiento de una cadena de cuerpos rígidos articulados, se requiere que en cada cuerpo haya por lo menos dos marcadores. En este proyecto, se seleccionaron marcadores de 4 mm de diámetro, con una distancia mínima entre ellos, del doble del tamaño de los marcadores, dada esta restricción, no es posible posicionar marcadores en todos los segmentos de los dedos. Adicionalmente, al realizar pruebas se evidenció que la adquisición debía realizarse para cada dedo por separado. La posición seleccionada se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Ejemplo de la posición de los marcadores para el dedo pulgar y el dedo anular [12]

2. Adquisición de las señales EMG:

Para esta adquisición, se utilizará el sensor Myo armband, que consiste en una manilla con un arreglo de 8 sensores diferenciales para adquirir señales EMG (Fig. 4). Los electrodos son posicionados alrededor del antebrazo, capturando la actividad eléctrica de los músculos encargados de los movimientos de los dedos. Esta posición permite obtener la información necesaria para detectar la intención de movimiento y analizar la condición motora del sujeto durante los ejercicios de rehabilitación.

Protocolo experimental

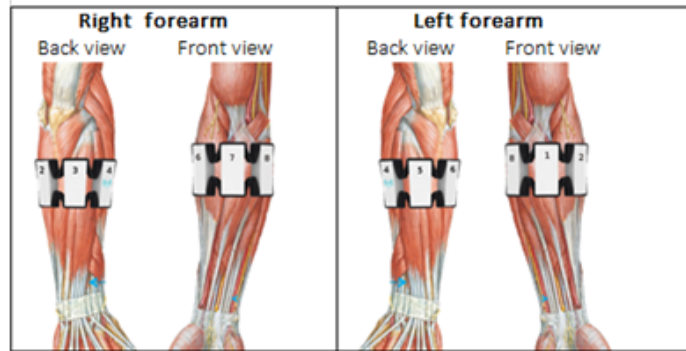


Figura 4. Posición de los electrodos (Imagen de [11])

3. Niveles de fatiga

El objetivo de la adquisición de las señales EMG es relacionar la condición motora de los músculos del antebrazo de sujetos sanos con parámetros de trayectorias de movimiento de los dedos de la mano, adquiridos con el VICON. La condición motora se determina, principalmente, a partir de las medidas de debilidad, co-activación y nivel de activación muscular. Por su parte, los parámetros de trayectorias de movimiento son la velocidad, la duración, y la amplitud máxima y mínima de la flexión y extensión de los dedos de la mano.

Para relacionar la condición motora con los parámetros, es necesario definir niveles de condición muscular. Se definen 3 niveles de condición muscular:

1. En el nivel 1, los músculos no tienen fatiga, por ende, se espera que, en este nivel, la co-activación sea baja, la debilidad baja y el nivel de activación sea alto.
2. El nivel 2, es un nivel de fatiga medio. En este nivel la co-activación y la debilidad deben aumentar con respecto al nivel uno mientras que el nivel de activación debe disminuir.
3. El nivel 3, es un nivel de fatiga alto. La co-activación y la debilidad deben ser altas y el nivel de activación tener una amplitud baja.

Protocolo Experimental

El protocolo consta de dos sesiones espaciadas una semana. En cada sesión se realiza el siguiente procedimiento:

Preparación:

1. Realizar el montaje y la calibración de las cámaras: cámaras conectadas, visualización en Nexus y ajuste adecuado del usuario en el área de trabajo. En el brazo derecho en una posición estática de reposo.
2. Configurar los parámetros de adquisición en el software de adquisición de Myo Armband: frecuencia de muestreo y los voltajes mínimo y máximo de entrada.

Protocolo experimental

3. Posicionar los electrodos siguiendo la Figura 4, únicamente en el brazo derecho. Se le pide al voluntario que retire los accesorios de sus brazos y se limpia el brazo con alcohol. Se verifica la posición de los electrodos con una señal de prueba.
4. Posicionar los marcadores en el dedo al que se le realiza la captura de movimiento.
5. Diseñar el modelo de cuerpos rígidos: Se realiza una toma del movimiento, y Nexus permite la definición de los cuerpos y la unión de los mismos.
6. Adquirir las trayectorias de la mano. Los datos son adquiridos a una frecuencia de 100 Hz. Para cada marcador, se obtiene la posición espacial (x,y,z) en cada instante de tiempo a lo largo de la trayectoria.
7. Adquirir en paralelo las señales EMG con 4 canales, durante cada uno de los movimientos.
8. Para la sincronización, dado que los programas para la adquisición de las trayectorias y de las señales EMG requieren de distintos sistemas operativos, la sincronización se realizará con la detección en las señales de un movimiento fuerte de abducción de la muñeca. Es decir, al inicio de cada toma de datos, se le pide al voluntario que realice el movimiento de abducción de la muñeca y a continuación inicie con el protocolo experimental.

Protocolo:

9. En el primer nivel, se le pide al sujeto que realice 12 repeticiones de cada ejercicio de rehabilitación y que lo mantenga durante 2 segundos. Entre repeticiones del gesto, la mano debe estar en reposo durante 2 segundos. Para cada movimiento, debe extender el dedo correspondiente al ejercicio a la mayor amplitud que pueda y luego realizar el ejercicio en el tiempo indicado por un video guía. En la Figura 5 se describe el diagrama de tiempos.
10. Para el nivel dos, se debe hacer un ejercicio de fatiga distal, al inicio y entre movimientos. El ejercicio de fatiga distal, causa fatiga en los músculos extrínsecos de dedos y muñecas. El brazo derecho se pone en una posición estática de reposo y se le pide al sujeto que apriete el dispositivo ilustrado en la Figura 5 a una frecuencia de 1 Hz durante 54 segundos. Para el ejercicio de fatiga distal, los tiempos y la frecuencia del mismo, se siguió el protocolo de fatiga distal diseñado en el estudio de fatiga muscular mencionado anteriormente [8].
11. Para el nivel 3, se suprime el reposo (Fig. 5).

Protocolo experimental

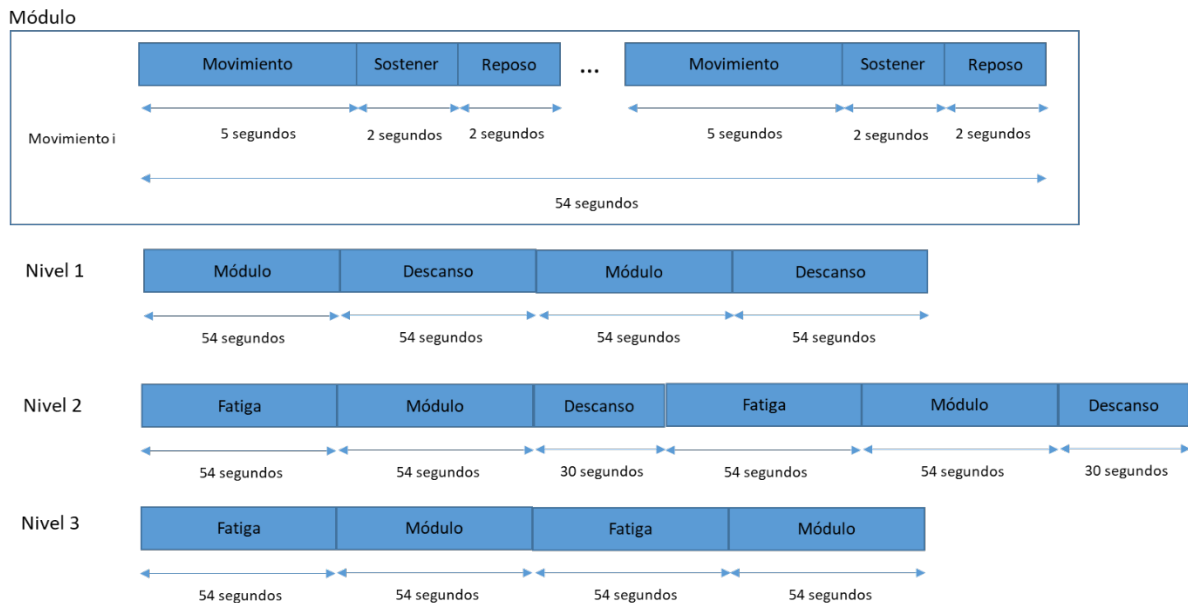


Figura 5. Protocolo de adquisición

Efectos secundarios

Los participantes pueden presentar agotamiento muscular después de participar en la investigación.

Riesgos

El estudio se cataloga como investigación de mínimo riesgo según la RESOLUCIÓN No 008430 de 1993 del Ministerio de Salud de Colombia.

Confidencialidad

No compartiremos la identidad de los participantes en la investigación. La información que recopilamos de este proyecto de investigación se mantendrá confidencial. Se anonimizará la información sobre la identidad del voluntario y sus datos personales.

Bibliografía:

- [1] B. J. Hernández, P. Benjumea, and L. Tusó, "Indicadores del desempeño clínico fisioterapéutico en el manejo hospitalario temprano del accidente cerebrovascular (ACV)"; Physical Therapy clinical performance indicators in the early hospital management cerebrovascular attack (CVA)"; Indicadores," *Rev.cienc.salud (Bogotá)*, vol. 11, no. 1, pp. 7–34, 2013.
- [2] A. G. Thrift *et al.*, "Global stroke statistics," *Int. J. Stroke*, vol. 12, no. 1, pp. 13–32, Jan. 2017.
- [3] S. M. Hatem *et al.*, "Rehabilitation of Motor Function after Stroke: A Multiple Systematic Review Focused on Techniques to Stimulate Upper Extremity Recovery," *Front. Hum. Neurosci.*, vol. 10, no. September, pp. 1–22, 2016.
- [4] P. Maciejasz, J. Eschweiler, K. Gerlach-Hahn, A. Jansen-Troy, and S. Leonhardt, "A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation," *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 11, no. 1. pp. 1–29, 2014.
- [5] P. Polygerinos, K. C. Galloway, S. Sanan, M. Herman, and C. J. Walsh, "EMG Controlled Soft Robotic Glove for Assistance During Activities of Daily Living," pp. 55–60, 2015.
- [6] N. Hogan *et al.*, "Motions or muscles? Some behavioral factors underlying robotic assistance of motor recovery," *J. Rehabil. Res. Dev.*, vol. 43, no. 5, p. 605, 2006.
- [7] J. Chae, G. Yang, B. K. Park, and I. Labatia, "Muscle Weakness and Cocontraction in Upper Limb Hemiparesis: Relationship to Motor Impairment and Physical Disability," *Neurorehabil. Neural Repair*, vol. 16, no. 3, pp. 241–248, Sep. 2002.
- [8] J. C. Cowley and D. H. Gates, "Proximal and distal muscle fatigue differentially affect movement coordination," *PLoS One*, vol. 12, no. 2, pp. 1–18, 2017.
- [9] "Nexus Motion Capture Software/VICON". [Online]. Available: <https://www.vicon.com/products/software/nexus>. [Accessed: 22-Nov-2017].
- [10] Vicon, "Vicon advanced motion capture - props," pp. 1–18.
- [11] C. Castiblanco, S. Ortman, I. Mondragon, C. Alvarado-Rojas, J. Colorado. 2019. Myoelectric Pattern Recognition of Hand Motions for Stroke Rehabilitation. Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering (*Submitted*).
- [12] V. Arteaga, C. Castiblanco, I. Mondragon, J. Colorado and C. Alvarado-Rojas. 2019. EMG-driven hand model based on the classification of individual finger movements. Biomedical Signal Processing and Control Journal (*Submitted*)



Protocolo experimental

PARTE II: Consentimiento Informado

Al firmar este Consentimiento informado, reconozco lo siguiente:

- He leído atentamente la información anterior (o me la han leído) y he considerado su contenido.
- He tenido la oportunidad de hacer preguntas sobre los procedimientos, los beneficios potenciales y los riesgos asociados con las pruebas de captura de EMG que estoy a punto de someterme (o un paciente, que es menor de edad, está a punto de someterse si soy un tutor legal de un paciente menor de edad).
- Todas mis preguntas han sido respondidas satisfactoriamente y he tenido el tiempo adecuado para tomar mi decisión voluntaria e informada de dar mi consentimiento para participar en esta investigación a la que doy mi firma firmando este Consentimiento informado a continuación.

Nombre completo: _____

Firma: _____

Fecha (dd/mm/yyyy): ____/____/____