

EXOESQUELETO COLABORATIVO PARA ASISTENCIA EN TERAPIAS DE REHABILITACIÓN DE MANO

Matías Llamazares, Fernando Valenciaga, Fabricio Garelli

Grupo de Control Aplicado (GCA), Instituto LEICI (UNLP-CONICET), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires, Argentina, 1900.

E-mail: matiasllamazares18@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La disminución en la movilidad, pérdida de sensibilidad, entumecimiento, o parálisis (parcial o completa) en alguna extremidad presente en personas que hayan sufrido algún accidente, posean una lesión de origen traumática, o aquellas que hayan sido víctimas de un accidente cerebrovascular, dificulta gravemente la calidad de vida de una persona. Cuando la incapacidad impacta sobre el tren superior la motricidad de muchos grupos musculares se ven afectadas al mismo tiempo. El efecto que tiene sobre este es imposibilitar en muchos casos el desarrollo independiente de tareas simples tales como alcanzar objetos distantes, manipular y sostener objetos con la mano, realizar agarres de pinza, precisión, palmar.

En torno a esto, por mucho tiempo los tratamientos fisioterapéuticos se han enfocado en contrastar la experiencia adquirida del profesional con el respaldo de la anatomía humana para puntualizar el tratamiento y perseguir la mejora del paciente. Con el correr de los años, se agregó a este conjunto, el uso de la tecnología como herramienta.

La aplicación de instrumentos tecnológicos puede ser muy provechosa tanto para el paciente como para el terapeuta. Para el desarrollo del trabajo nos centramos en dispositivos de asistencia motora, tales como los exoesqueletos. Estos pueden potenciar las funciones motrices voluntarias del paciente para realizar cierto tipo de tareas o bien ser la estructura encargada de inducir movimientos sobre alguna articulación o extremidad. Estimular de manera programada y controlada zonas lesionadas favorece el proceso de regeneración de tejidos agilizando los resultados. En casos tales como los accidentes cerebrovasculares, en donde el paciente puede sufrir hemiplejias o parálisis parciales que incapaciten ciertas zonas de su cuerpo, este tipo de dispositivos resulta útil para evitar que los músculos se atrofién, que los tendones o ligamentos se deterioren debido a la falta de movilidad y que la integridad del paciente disminuya rápidamente con el pasar del tiempo.

En este trabajo se describe el desarrollo de un primer prototipo de un exoesqueleto y un sistema de control para la rehabilitación de una mano que pueda ser útil en terapias de rehabilitación bajo la supervisión de un kinesiólogo, pero también ofrecer una plataforma simple para que pueda ser manipulado de manera autónoma o bajo el comando de una persona no necesariamente especializada.

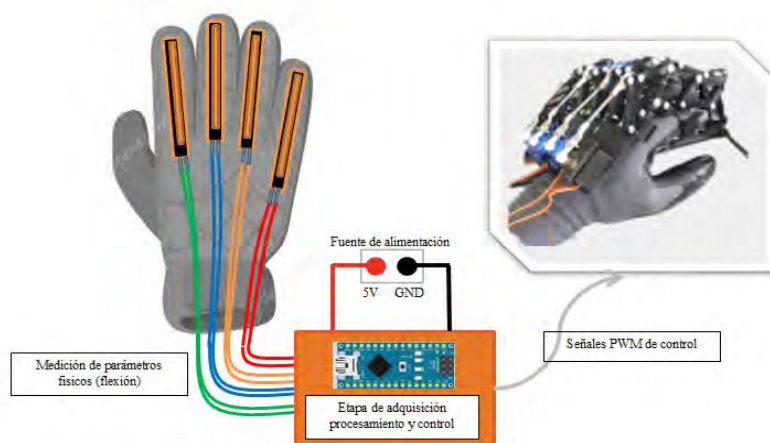
DISEÑO DEL PROTOTIPO

La mano es una estructura sumamente compleja en comparación con otras estructuras del miembro superior, no solo en cuanto a lo anatómico sino también en lo funcional. En efecto, constituye una herramienta sumamente útil y prácticamente imprescindible para desarrollarnos de manera independiente.

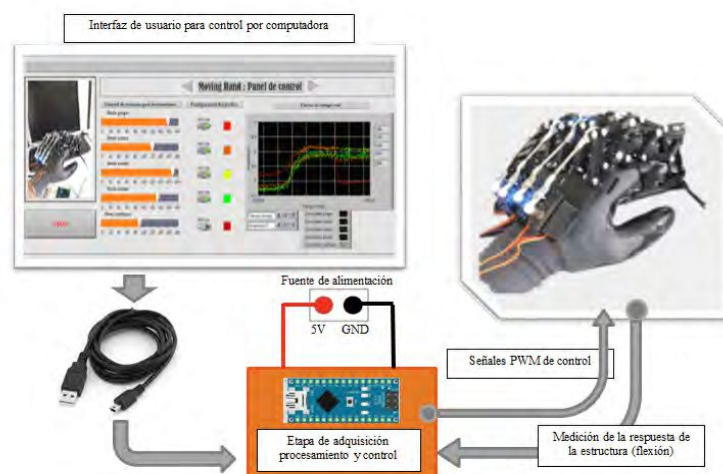
Las acciones motrices están contempladas dentro de la ciencia que las estudia, la biomecánica. Para describir los movimientos que se pueden desarrollar con las manos es necesario tener presente la formación y anatomía de la misma. Este análisis es necesario como punto de partida y al mismo tiempo como una forma de contraste que permita verificar

lo fiel que resulte ser el prototipo implementado. En este trabajo se diseña una estructura que pueda aprovechar los centros de desplazamiento para lograr la flexión y extensión de los dedos. El diseño del prototipo busca también mantener libre la palma para que el paciente, siempre que pueda, sea capaz de sentir los objetos que está manipulando.

ESQUEMA GENERAL DEL DESARROLLO



Los bloques de la izquierda representan la etapa de medición y adquisición (guante de control), en el centro se encuentra el Arduino quien tendrá el papel inteligente dentro del sistema y a la derecha se puede ver la estructura con la cual se inducirán los movimientos de forma independiente a cada uno de los dedos.



En esta imagen se puede ver el sistema pero controlado por medio de la interfaz de usuario. La lectura del esquema es de izquierda a derecha, pero a causa de que existe un retorno de información, puede leerse de derecha a izquierda.

DESARROLLO DE GUANTE DE CONTROL INSTRUMENTADO

Uno de los métodos de control del exoesqueleto consiste en un guante instrumentado con sensores de flexión mediante el cual se instruirá a la estructura para que desarrolle los movimientos de manera controlada. Esta etapa permite la adquisición de la información con la que se controlarán los motores asociados a la estructura. El/la fisioterapeuta es quien realiza los movimientos con su mano y el guante, mediante los sensores, provee de esta información al sistema para que pueda ser capaz de accionar intentando replicarlos de manera dinámica y logrando un efecto de espejo en el accionar.

A cada dedo va asociado un sensor. Lo particular de los sensores utilizados es que están contruidos para ofrecer un valor de resistencia variable en función de la flexión, es decir que responden a las variaciones de posición que presenten los dedos con variaciones de resistencia eléctrica, la cual modula una señal de tensión al alimentarse con una fuente externa. Cabe destacar, igualmente, que cada sensor no es capaz de responder de manera independiente a los movimientos de cada una de las falanges, sino que la respuesta estará asociada a variaciones de flexión.

La Figura 1 muestra el guante de comando del prototipo con los cuatro sensores de flexión y su conexión a una placa de electrónica digital programable.

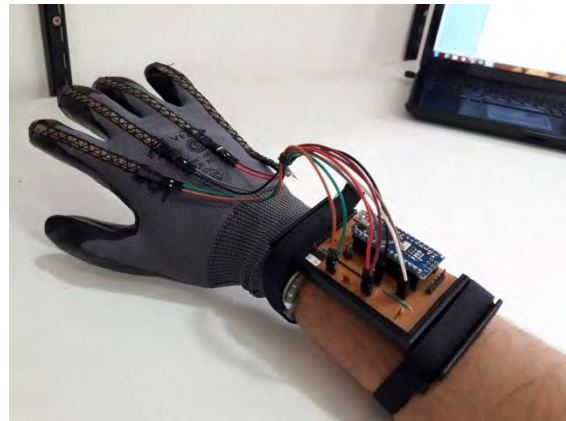


Figura1. Instrumentación del guante y conexión al sistema de adquisición

INTERFAZ DE CONTROL POR COMPUTADORA

La interfaz de control ofrece una forma de control un tanto más directo que el guante instrumentado, es decir que no necesita de la colaboración activa del fisioterapeuta. Desde el panel o interfaz gráfica se puede operar cada uno de los servomotores encargados de mover la estructura en un rango de 0 a 180°, pudiendo así controlar la posición de cada dedo de manera independiente. Con el fin de aprovechar la información provista por los sensores, se agregó a la interfaz la posibilidad de ver en un gráfico la forma de onda resultante luego de mover de manera controlada la estructura. Esta característica permite tanto al paciente como al fisioterapeuta ir evaluando el avance del tratamiento o rehabilitación a partir de las señales generadas.

Las figuras 2 muestran la interfaz de usuario y su interacción con el exoesqueleto desarrollado.

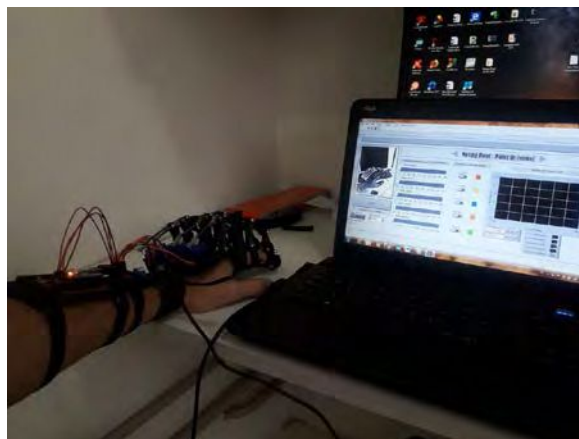


Figura 2. Esquema de control de la plataforma por medio de la interfaz de usuario

MECANISMO DE ACCION y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Como sistema de conversión rotacional-lineal se utilizó un mecanismo biela manivela. Cada motor se asocia a la estructura por medio de una barra de empuje, la cual tiene un desplazamiento relativo de $2R$, siendo R el radio de la pala.

El exoesqueleto está formado por un conjunto de piezas impresas en 3D que recubren tanto a cada uno de los dedos, como también a la parte dorsal de la mano.

La primera parte resulta ser la manivela del sistema o bien el empuje principal, es decir, es el acople primario entre el servomotor y la estructura y se encarga de transferir de manera horizontal toda la fuerza desarrollada en la pala del actuador.

La segunda parte se diseñó de forma tal que reciba el empuje producido por la manivela y, respecto de un punto de apoyo fijo sobre la base metacarpiana, desarrollara desplazamiento angular.

El conjunto de piezas que sirven de nexo entre el acople descrito anteriormente y cada una de las cubiertas falángicas, se diseñaron para aprovechar el principio centro virtual de movimiento. Al utilizar este concepto de rotación virtual se logró diseñar una estructura con mayor adaptabilidad y no tan personalizada. Las cubiertas falángicas se diseñaron bajo las mismas premisas.

SISTEMA DE ACTUACION

La elección de usar servomotores como dispositivos de actuación ofrece, además de un control en la posición del eje, la capacidad de desarrollar una magnitud de fuerza considerable que puede usarse para inducir los movimientos sobre cada uno de los dedos.

El control de los motores se hace variando el ciclo de trabajo de una señal PWM generadas mediante Arduino. La señal con la que trabaja el servo es producto de algún movimiento realizado desde el guante de control o bien, es el resultado de un control directo desde la interfaz gráfica, en donde se controlan tanto la velocidad del movimiento como la posición.

Cada servomotor está asociado a la estructura de cada uno de los dedos, pudiendo efectuar movimientos independientes de estos. La Figura 4 muestra la disposición de los motores y las manivelas asociadas a cada uno de ellos.



Figura 4. Disposición de los servomotores para formar el conjunto de actuación

PROTOTIPO Y ENSAYOS

Hasta el momento el prototipo desarrollado cuenta con capacidad para trabajar con cuatro de los cinco dedos, índice, medio, anular y meñique. Por el formato del diseño, cada uno cuenta con 4 grados de libertad activos (respecto del dorso de la mano) y 8 grados de libertad pasivos en donde el movimiento queda determinado por la acción sobre el grado activo.

En cuanto a lo constructivo, la estructura está impresa en 3D con material PLA color negro. La sujeción a la mano se realiza por medio de velcros. Algo a aclarar en este punto es que se necesita de la asistencia de otra persona para su colocación en pacientes que no dispongan de un uso coordinado de su mano a tratar.

El diseño de las cubiertas falángicas ofrece una mayor adaptabilidad a los pacientes, ya que fue diseñado teniendo presente las dimensiones promedio de las distintas falanges, a lo largo, a lo ancho y a lo alto.

La secuencia de movimiento se puede controlar de dos maneras, mediante el guante de control o bien desde la interfaz.

Una primera versión consistió en el desarrollo de la estructura de un dedo y todo el sistema de control asociado para lograr los mismos objetivos que se plantearon para este prototipo. Aquella versión fue probada en una persona con hemiplejía a causa de un ACV, logrando resultados muy satisfactorios ya sea desde lo funcional como desde lo anímico (Figura 5, cuadro izquierdo). Si bien no se relevó información, la experiencia permitió verificar la efectividad del prototipo en esa primera etapa.

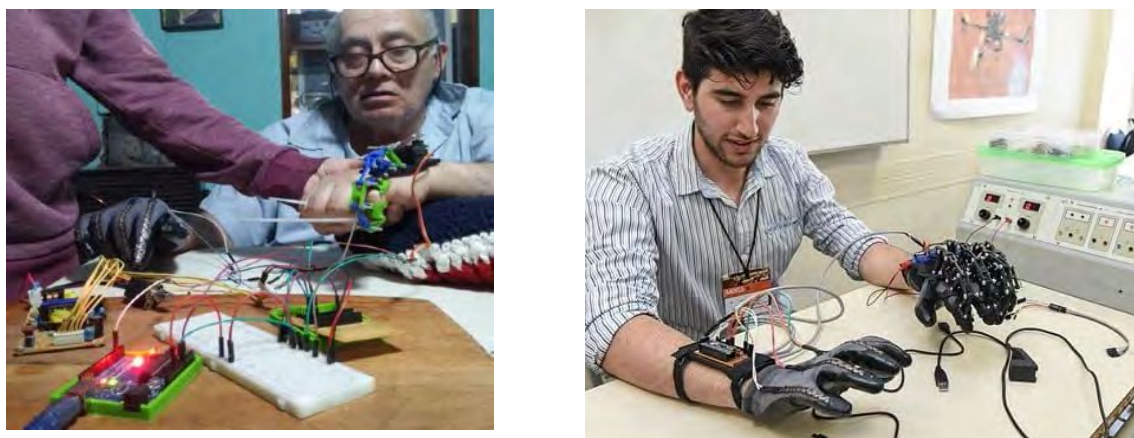


Figura 5. (izq) Versión preliminar del exoesqueleto. (der) Versión final del prototipo

Los resultados obtenidos al evaluar el prototipo final arrojaron que el tiempo de respuesta de la estructura fue satisfactorio. Bajo la acción exigente de flexión y extensión rápida de dedo desde el guante de control se verificó un tiempo total de acción de 30 milisegundos en promedio. Además, se observó que la estructura sigue sin problemas la posición del dedo hasta alcanzar su límite mecánico

Con la interfaz gráfica se pudo desarrollar movimientos independientes llevando al límite mecánico el exoesqueleto. Si bien las acciones que se efectúan desde las barras deslizantes o *sliders* virtuales influyen directamente en la posición del servomotor, la estructura de acople aprovecha esto y permite excursiones hasta el límite mecánico. En ambos casos se observó que los movimientos desarrollados se manifiestan en mayor magnitud en torno a las articulaciones interfalángica proximal e interfalángica distal. Los ensayos de agarre que se hicieron fueron los llamados prensión palmar (en donde interviene

los dedos como si fuesen un gancho haciendo uso de la palma como tope), presión digitopalmar y presión pentadigitales (pero manipulando voluntariamente el dedo pulgar).

CONCLUSIONES

En este trabajo se desarrolló un primer prototipo de exoesqueleto para rehabilitación de la mano y su movilidad. El mismo puede ser manipulado tanto desde un guante instrumentado por parte de un fisioterapeuta, como a partir de una interfaz gráfica desde la PC. Esta última permitiría que el profesional provea al paciente de una rutina de ejercicios conforme avance el tratamiento. El prototipo fue probado con éxito experimentalmente, inicialmente en una persona con problemas de modalidad y luego en personas sanas. Como trabajo futuro queda planteado abordar el control avanzado de la estructura para controlar no solo la amplitud y velocidad de movimiento, sino también la fuerza que el mecanismo le ejerce a cada dedo a fin de poder graduar en forma segura el avance de los tratamientos.

BIBLIOGRAFIA

- [1] L. TESTUT Y A. LATARJET, "Anatomía humana", TOMO PRIMERO OSTEOLOGIA - ARTROLOGIA – MIOLOGIA.
- [2] Ministerio de Sanidad y Consumo de España- ORDEN SCO/846/2008, de 14 de marzo, por la que se aprueba y publica el programa formativo de la especialidad de Medicina Física y Rehabilitación.
- [3] Andrés Felipe Ruiz Olaya (2008). Sistema robótico multimodal para análisis y estudios en biomecánica, movimiento humano y control neuromotor (Tesis doctoral). Universidad Carlos III de Madrid, España.
- [4] Grupo Vita. Ejercicios de rehabilitación para dedos y manos. http://www.traumazaragoza.com/traumazaragoza.com/Documentacion_files/Rehabilitacio%C%81n%20de%20los%20dedos%20de%20la%20mano.pdf
- [5] FESTO. Exohand. Recuperado de https://www.festo.com/PDF_Flip/corp/Festo_ExoHand/en/files/assets/basic-html/page-2.html
- [6] López Doménech, L.M. (2009). Dispositivo Robótico para el Control de Falanges Durante la Rehabilitación Mediante FNP.
- [7] S.C. Enriquez, Y. Narváez, O.A. Vivas, J. Diez, F.J. Badesa, J.M. Sabater, N. Garcia-Aracil . SISTEMA ROBOTICO DE TIPO EXOESQUELETO PARA REHABILITACION DE LA MANO (Artículo). Universidad del Cauca, Colombia. Universidad Miguel Hernández de Elche, España.