

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ADAPTABLE DE CONTROL PARA UNA ÓRTESIS ROBÓTICA UTILIZADA EN FISIOTERAPIA

**Manuel Alejandro Valencia Bravo<sup>1</sup>**

**Jose Miguel Calvache Daza<sup>2</sup>**

[1] [alevalencia@javerianacali.edu.co](mailto:alevalencia@javerianacali.edu.co)

[2] [josemiguel@javerianacali.edu.co](mailto:josemiguel@javerianacali.edu.co)

## Resumen

El presente trabajo muestra el diseño, desarrollo y construcción de un sistema de control prototipo para el manejo de una órtesis de extremidades superiores, así como los demás desarrollos e investigaciones pertinentes para la obtención de un sistema completo que permita, en futuros proyectos externos a este, el uso con fines terapéutico de este sistema.

El objetivo de este proyecto es obtener un sistema de control para una órtesis robótica desarrollada en otro proyecto diferente a este. Para esto se planteó obtener un modelo matemático que describa el arco de movilidad articular de dicho elemento, desarrollar el firmware para el microcontrolador que será el encargado de realizar el proceso de control de la órtesis y además una interfaz gráfica, amigable para que pueda ser controlada por el usuario fisioterapeuta.

Se realizaron 2 prototipos antes de llegar al final, en el cual se tuvo en cuenta todas las falencias de los anteriores llegando así a un prototipo portable, que tiene una interfaz de usuario amigable, cuenta con conexión inalámbrica, el procesamiento de los datos se realiza directamente en el microcontrolador, tiene bajo consumo de energía y permite controlar la terapia desde cualquier otro dispositivo móvil.

Se realizó un asesoramiento con dos profesionales en el área de la fisioterapia y se obtuvo la respectiva realimentación, encontrando posibilidades de mejora aplicables a posibles proyectos futuros y concluyendo que el sistema diseñado es adecuado para controlar una órtesis debidamente desarrollada y probada bajo las normativas vigentes.

## Introducción

Los seres humanos utilizan las manos para la gran mayoría de las actividades del diario vivir, sin embargo, existen personas que se ven afectadas por motivos físicos, sensoriales o psicológicos generando limitaciones en su movilidad. Existen clasificaciones según la parte muscular en la que se encuentre la limitación, en este caso se hablará especialmente de las personas que cuentan con una limitación en las extremidades superiores, más específicamente en sus manos. Comúnmente las personas con limitaciones en su movilidad recurren a terapias para recuperar parcial o totalmente dicha movilidad en las extremidades afectadas, no obstante, cada vez se está buscando tecnificar más este campo, desarrollando elementos robóticos y sistemas de control especializados.

El presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un sistema que pueda apoyar las técnicas usadas en la fisioterapia de las extremidades superiores, entendiéndose como fisioterapia la disciplina que procura desarrollar, mantener y restaurar el máximo movimiento y capacidad funcional de las diferentes partes del cuerpo de una persona a lo largo de su vida. Para esto, es necesario modelar matemáticamente la órtesis usada y diseñar e implementar el sistema de control en cuestión.

Una de las características principales de estas terapias es que, para lograr resultados más efectivos y rápidos, se requiere que el paciente ejerza determinados movimientos de manera repetitiva y constante, empero, lograr este cometido no siempre es tarea fácil, ya que muchas veces la fatiga, el cansancio o la debilidad muscular en la extremidad del paciente evitan que se logren las series necesarias o que las rutinas sean ejecutadas correctamente.

Es esta problemática, y la posibilidad de resolverla a través de la electrónica la que causó el interés para que éste trabajo se realizara. Por otra parte, desde el ámbito profesional, desarrollar una interfaz simple para que el usuario interactúe con el sistema desarrollado a través de un sistema IoT, fue uno de nuestros intereses, pues este tipo de sistemas son los que gobernarán el día a día de nuestro futuro.

## Fundamentación teórica



### ***Figura 1. Diagrama de bloques del sistema***

La solución diseñada, cuyo diagrama se encuentra evidenciado en la figura 1, consta de la órtesis (1) impresa en 3D, la cuál es la encargada de mover físicamente las articulaciones distales superiores del usuario. Esta órtesis es movilizada por el servo actuador elegido (PQ12-63-12-P) (2), el cual a su vez es controlado por el PID implementado en el microcontrolador elegido (ESP32) (3) y la ayuda de otros elementos de control y potencia requeridos en el proceso de control, por último este microcontrolador debe solicitar los parámetros de la terapia a través de una interfaz gráfica y la ayuda de un computador, el cual será el que efectuará la conexión con el microcontrolador, permitiendo a su vez que otros dispositivos conectados a su misma red puedan acceder a la interfaz de control de la terapia (esta última característica es propia de la solución final diseñada). Cabe destacar que para este desarrollo se hizo uso de la teoría de control, el manejo de microcontroladores y electrónica, así como técnicas y programas usados en el IoT.

Después de consultar la bibliografía pertinente, por ejemplo, los artículos (4) y (5), se corroboró el gran potencial de las terapias asistidas robóticamente y se definió la estructura de la terapia propuesta. El sistema permitirá que el usuario pueda realizar de manera controlada el movimiento completo de uno de sus dedos, es decir una flexión y extensión completa de las articulaciones de la extremidad superior distal, el control que se menciona hace referencia a que se podrá configurar la velocidad de este movimiento, el número de repeticiones (donde cada repetición se refiere a una flexión y una extensión), el ángulo máximo que alcanzará en cada flexión y el tiempo de descanso entre cada repetición.

La manera en que el usuario (paciente que usará el dispositivo) ingresará estos parámetros (definidos previamente por el profesional encargado) será a través de la interfaz gráfica diseñada en Node-RED (6) y la transmisión de datos con ayuda del broker Mosquitto (7).

## **Resultados**

En el prototipo final se realizó la conexión de los datos mediante un broker MQTT (Mosquitto) y una herramienta de programación gráfica (Node-RED) que nos permite, mediante WiFi, enviar datos desde un computador en el cual se encuentren instalados los programas (los cuales no ocupan gran almacenamiento ni capacidad de procesamiento debido a que se ejecutan en segundo plano). Así, el fisioterapeuta tiene la potestad de parametrizar la terapia y realizar el monitoreo junto con la asistente de terapia virtual "BILLIE", que brindará información del estado actual de la terapia a medida que se ejecute. Los únicos requerimientos son que el fisioterapeuta o el centro de terapia tenga bajo su poder una conexión WiFi estable e Internet para acceder desde otros dispositivos que se encuentren conectados a la misma red, teniendo en cuenta que el computador principal es el único que debe contar con los programas instalados y mediante una dirección Ipv4 pública los demás pueden acceder a la interfaz.

Se realizaron pruebas de funcionamiento como se evidencia en la figura 2. Teniendo un éxito rotundo en el proceso de control.

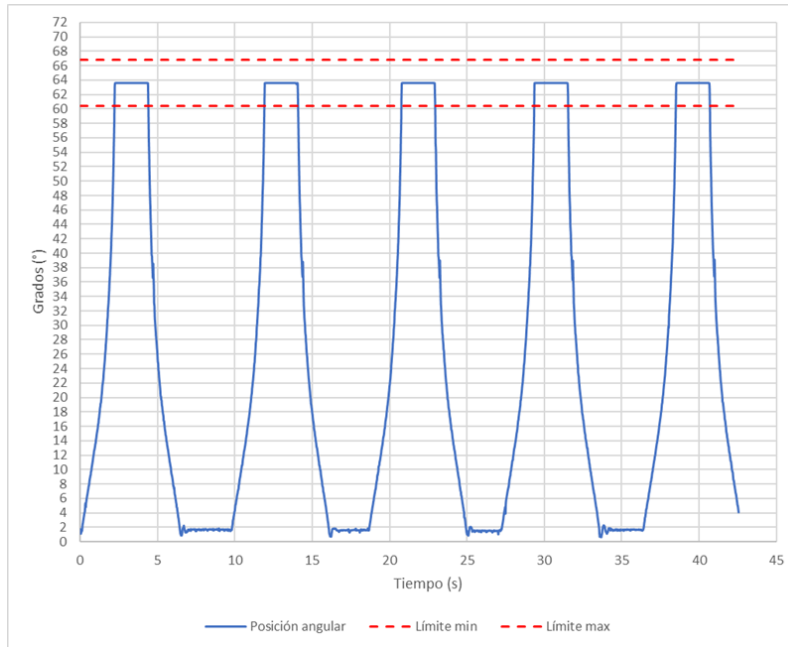


Figura 2. Gráfica de movimiento de una terapia simulada. Setpoint 63°, tiempo de descanso 2 segundos, Velocidad rápida. 5 repeticiones.

La interfaz gráfica se diseñó como se encuentra en la figura 3.

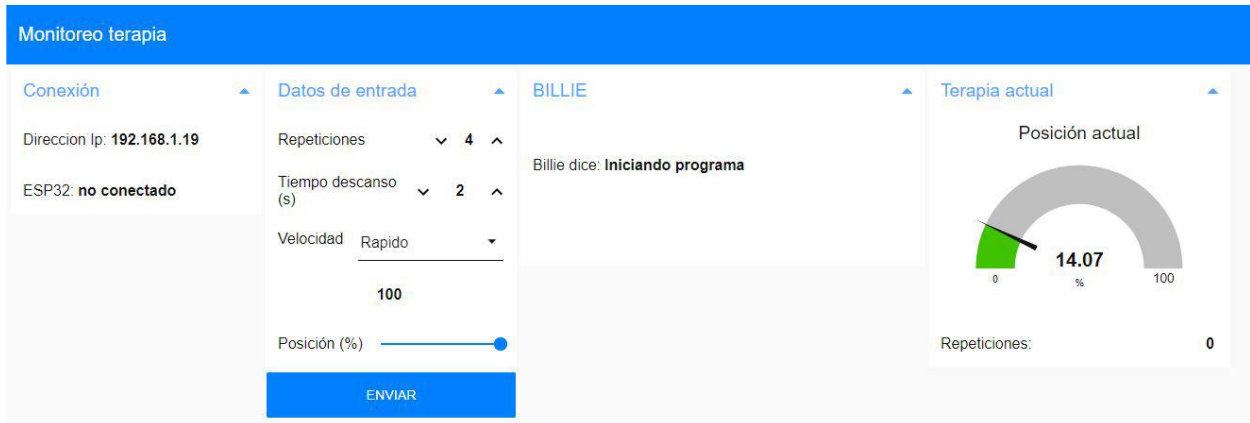


Figura 3. Interfaz gráfica diseñada

## Conclusiones y discusión

El objetivo principal que se logró con esta tesis es el de aportar al desarrollo y tecnificación de la fisioterapia a través de la electrónica, ya que las técnicas de fisioterapias tradicionales presentan los ya mencionados problemas de repetibilidad inherentes al proceso mismo de las terapias.

Específicamente, el aporte principal de este trabajo consiste en el diseño e implementación de un sistema de control para una órtesis robótica utilizada en fisioterapia, así como el desarrollo de una interfaz que permita a un paciente interactuar fácilmente con dicho sistema.

A través de las recomendaciones y opiniones que se recibieron de parte de las profesionales en el área respectiva de salud que se entrevistaron, se infirió que nuestra órtesis física no posee un diseño ergonómico y funcional que pueda ser usado por un paciente, debido a problemas de medidas, diseño y composición, sin embargo, esta órtesis es útil para mostrar el funcionamiento del sistema electrónico y los controles de la interfaz gráfica.

Por las anteriores razones concluimos que nuestro sistema electrónico es óptimo para ser utilizado en el proceso de fisioterapias haciendo uso de una órtesis debidamente diseñada y que cumpla criterios de ergonomía y funcionalidad. Esto debido a que puede ser alimentado con una fuente externa al computador como una batería o pila, puede ser manejado remotamente desde cualquier dispositivo móvil con conexión a la red WiFi del controlador, y se pueden obtener datos en todo momento, lo cual es ideal para futuras mejoras en las que se quiera monitorear los avances de la fisioterapia.

## Referencias

1. *Sistema de rehabilitación inteligente y progresivo para terapia articular de la mano por. Julian David Colorado Montano, Catalina Alvarado Rojas, Alexánder Martínez Álvarez.* ISSN: 1548-0992, sep. de 2018.
2. **ACTUONIX.** <https://www.actuonix.com/Actuonix-PQ-12-P-Linear-Actuator-p/pq12-p.htm>. [En línea]
3. **ESPRESSIF.** <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32/overview>. [En línea]
4. *Effects of upper limb robot-assisted therapy on motor recovery of subacute stroke patients: A kinematic approach.* **S. Mazzoleni, M. C. Carrozza, P. Sale, M. Franceschini, F. Posteraro, M. Tiboni.** págs. 1-5, s.l. : IEEE 13th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), 2013.
5. *Robot-assisted mirroring exercise as a physical therapy for hemiparesis.* **Kim., J. Kim y J.** págs. 4243-4246, s.l. : 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in, 2017.
6. **Morrison, J. Paul.** <https://nodered.org/>. *Node-RED: Low-code programming for event-driven.* [En línea] 2020.
7. **Eclipse Foundation.** <https://mosquitto.org/>. [En línea]