



Jornadas de Robótica y Bioingeniería

Sesión: Bioingeniería

Desarrollo de un exo-traje para la rehabilitación de miembro superior

Jara, C.A.* , Arias, S., Bolaños, B.D., Barrientos, A., Úbeda, A.

Grupo Human Robotics, Universidad de Alicante, Carretera de San Vicente del Raspeig, s/n, 03690, Alicante.

Citar artículo: Jara, C.A., Arias, S., Bolaños, B.D., Barrientos, A., Úbeda, A. 2023. **Desarrollo de un exo-traje para la rehabilitación de miembro superior**

Jornadas Nacionales de Robótica y Bioingeniería 2023, 259-266. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.74896>

Resumen

La gran existencia de personas con discapacidades congénitas y/o adquiridas forman en la sociedad actual española un número significativo de dependientes. Estos pacientes carecen de la autonomía suficiente para vivir una vida independiente. Las actividades de la vida diaria son, en muchos casos, difíciles de lograr para un paciente con algún tipo de discapacidad leve o moderada. Este gran número de personas con discapacidades físicas en los últimos años y el posterior crecimiento de la demanda de programas de rehabilitación eficaces está disparando el mercado de los exoesqueletos con finalidades médicas en todo el mundo. Estos dispositivos están evolucionando cada día, y las versiones modernas de los exoesqueletos han evolucionado en lo que se denominan exo-trajes (exo-suit), dispositivos vestibles capaces de adaptarse a cualquier usuario, más ligeros y versátiles. Este artículo presenta el prototipo de un exo-traje para la asistencia y rehabilitación de miembro superior. Se describen tanto la arquitectura hardware como software del sistema, presentando además unas pruebas de usabilidad del dispositivo.

Palabras clave: asistencia y rehabilitación, exo-traje, miembro superior.

Paper Title in English, Bold Style

Abstract

The high prevalence of individuals with congenital and/or acquired disabilities constitutes a significant number of dependents in today's Spanish society. These patients lack sufficient autonomy to lead an independent life. Daily activities are often difficult to accomplish for patients with mild to moderate disabilities. The increasing number of individuals with physical disabilities in recent years and the subsequent rise in demand for effective rehabilitation programs are fueling the market for medical exoskeletons worldwide. These devices are evolving each day, and modern versions of exoskeletons have transformed into what are known as exosuits (exo-suits), wearable devices capable of adapting to any user, lighter and more versatile. This article presents the prototype of an exosuit for the assistance and rehabilitation of the upper limb. Both the hardware and software architecture of the system are described, along with usability tests of the device.

Keywords: assistance and rehabilitation, exo-suit, upper limb.

*Autor para correspondencia: carlos.jara@ua.es

Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0)

1. Introducción

El ritmo de vida actual, tanto sociocultural como tecnológico, ha desembocado en un aumento de enfermedades y padecimientos que afectan las capacidades físico-motrices de los individuos. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), las enfermedades cerebrovasculares son de las más importantes causas de discapacidad y afectan seriamente la calidad de vida del individuo, siendo su espectro de afectaciones muy amplio. Esto ha originado en los últimos años el desarrollo de productos para auxiliar al paciente a recuperar o ayudar en la movilidad y la fortaleza de las extremidades superiores afectadas. Entre ellos se encuentra el exoesqueleto, dispositivos robóticos que permiten asistir y rehabilitar mediante una estructura de eslabones rígidos acoplada al miembro del paciente.

En la actualidad, existen multitud de empresas que poseen exoesqueletos comerciales, tanto para la rehabilitación (rehabilitation exoskeleton) de pacientes, como la de aumentar la capacidad de fuerza de los usuarios (augmentative exoskeleton). La mayoría de estos exosqueletos emplean aproximaciones basadas en eslabones rígidos y suelen poseer una estructura pesada y poco portable. Sin embargo, los exoesqueletos están evolucionando a una versión más ligera y adaptable al usuario, con menos eslabones rígidos, con más seguridad en los movimientos y más inteligentes. A estos dispositivos se les denomina exo-trajes (exo-suits). Esta aproximación es mucho más ergonómica que su alternativa rígida, aunque su actuación y diseño puede ser más compleja si se trabaja sobre múltiples articulaciones.

Este artículo describe el desarrollo de un prototipo de exo-traje para la rehabilitación y asistencia del miembro superior. El artículo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 describe el estado del arte de dicha tecnología; la Sección 3 explica las distintas partes que componen el dispositivo; la Sección 4 muestra una serie de pruebas de usabilidad con el dispositivo y sus resultados; finalmente, algunas conclusiones y trabajos futuros se describen en la Sección 5.

2. Estado del arte

Los exoesqueletos, a diferencia de los manipuladores robóticos que interactúan con los humanos mediante el efector final, cubren las extremidades de las personas en una o más articulaciones, y se mueve sincrónicamente con ellas. Por lo tanto, los exoesqueletos plantean unos desafíos en el diseño de mecanismos, actuación y sensorización, fabricación y desarrollo del sistema de control, que requieren una comprensión profunda de la anatomía humana, el control motor y la biomecánica del cuerpo humano.

Centrándose en los exoesqueletos de extremidades superiores, se pueden distinguir los dispositivos de asistencia, de rehabilitación y de aumento de fuerza. Para esta sección, se van a describir tanto los exoesqueletos rígidos como los exo-trajes más importantes de la actualidad en las áreas de rehabilitación y asistencia.

2.1. Exoesqueletos de asistencia y rehabilitación

Los exoesqueletos para asistencia son los que proporcionan asistencia necesaria al operador humano para realizar actividades de la vida diaria. Como muchos exoesqueletos de miembros inferiores que generalmente proporcionan trayectorias de marcha predefinidas, los sistemas de exoesqueleto de las extremidades superiores para la asistencia ayudan a terminar el resto de las trayectorias si los operadores humanos no son capaces de lograrlas, por ejemplo, extendiendo la mano para tomar una taza de café. Debido a la gran variabilidad de tareas y adecuación del exoesqueleto a las mismas, no se han desarrollado muchos exoesqueletos en esta área, si lo comparamos con los de rehabilitación. Entre ellos, cabe destacar los exoesqueletos HAL (Cyberdyne Inc, 2020), ABLE (Garrec *et al.*, 2008) y el MYOPRO (Benjamin *et al.*, 2017).

Los exoesqueletos para rehabilitación permiten acelerar el proceso de rehabilitación en pacientes que pierden parte del movimiento y capacidad de su extremidad superior como imposibilidad de levantar los brazos, espasticidad, manipulación y sinergia anormal. Estos dispositivos permiten realizar tareas de rehabilitación de múltiples GDL. Como exoesqueletos para rehabilitación de miembro superior más destacados en los últimos años, se puede incluir a REHABOT (Hu *et al.*, 2011), ETS-MARSE (Rahman *et al.*, 2015), EXO-UL SERIES (Shen and Rosen, 2019), ORTE (Espinoza *et al.*, 2017) y SMA exoskeleton (Copaci *et al.*, 2017).

2.2. Exo-trajes

Este dispositivo también se conoce como exoesqueleto portátil suave, con un diseño para que sean compatibles tanto los actuadores como la estructura del dispositivo. El exo-traje tiene como ventaja una mayor portabilidad y un bajo consumo de energía, manteniendo el cumplimiento de estos dispositivos: aumentar la fuerza muscular y asistir en las actividades de la vida diaria.

Adicionalmente, al no estar fabricados de metal, estos dispositivos cuentan con la ventaja de brindar mayor elasticidad mecánica en su estructura cinemática, además de conectar de forma más eficiente la extremidad del cuerpo con el sistema de actuación del dispositivo.

Con este dispositivo de rehabilitación, se obtiene un mejor contacto del actuador con el sistema musculo esquelético para que el soporte mecánico esté más sujeto a la demanda de la persona y no tanto al mecanismo de la estructura del exo-traje, lo cual es útil en cuanto a la biomecánica del miembro superior, ya que da un soporte de estructura adecuado y se necesita del actuador para que se genere una mayor fuerza o torque en las articulaciones (Masi *et al.*, 2018).

En Chiaradia *et al.*, 2018, se muestra el desarrollo de un exo-traje como plataforma para investigación. Este dispositivo, reduce el esfuerzo muscular asociado con la flexión movimientos trabajando en paralelo con los músculos

de su usuario mediante una serie de sensores. Este dispositivo ha sido una referencia fundamental del principio de funcionamiento del prototipo desarrollado y descrito en este artículo

3. Descripción del sistema

Para el prototipo desarrollado, se han utilizado materiales termoplásticos (PLA), y flexibles para ayudar en la rehabilitación y asistencia de los movimientos. El exo-traje está compuesto por un sistema de accionamiento integrado para realizar el movimiento del codo (flexión-extensión) por medio de poleas y cables (tipo bowden) para proporcionar asistencia en el brazo. En la parte del actuador, posee un sistema moto-reductor que ha sido seleccionado en base a una serie de simulaciones del sistema. Finalmente, en la parte software, el sistema de accionamiento es controlado mediante ROS Control mediante unas librerías para su integración en sistemas portables.

El diseño del prototipo se basa en un enfoque bio-inspirado, tomando como modelo la anatomía y el movimiento del codo humano (Lessard *et al.*, 2018). A continuación, se describen cada una de las partes mencionadas: el sistema de accionamiento (hardware) y la configuración y control del motorreductor (software).

3.1. Sistema de accionamiento

Para la elaboración del prototipo se ha requerido de un análisis de requisitos y necesidades, donde es importante seleccionar componentes y dispositivos adecuados para garantizar un rendimiento confiable y óptimo.

3.1.1. Diseño CAD

Hay muchos programas CAD (Diseño Asistido por Computadora), que consiste en un programa de diseño y dibujo de precisión utilizado en todas las ramas de ingeniería, porque facilita la generación, modificación y optimización de un diseño o una serie de piezas complejas en un modelado 3D.

Este proceso se ha llegado a determinar en la elaboración del prototipo que fuera capaz de cumplir eficazmente la recuperación de codo con movimientos pasivos de flexo-extensión y un bosquejo inicial de cada una de las piezas que lo complementan.

El diseño de un prototipo de miembro superior es un proceso completo que requiere de un enfoque sistemático y de herramientas adecuadas. Una de las herramientas más utilizadas en la industria del diseño es el software Inventor, que permite a los diseñadores crear modelos en 3D de alta calidad. Además, incluye una amplia gama de características, como la parametrización, el diseño de piezas, ensamblajes, herramientas de simulación, análisis, y la creación de documentación detallada de los diseños, todo esto garantiza que el diseño mecánico sea óptimo.

A continuación, en la Figura 1, se muestra el diseño funcional del prototipo, donde se puede observar el sistema de

accionamiento colocado en espalda del usuario, que acciona mediante un sistema de polea-cable a una órtesis pasiva colocada en el brazo afectado. El sistema genera un movimiento de flexión-extensión en la órtesis para dar asistencia y/o rehabilitación al miembro superior.

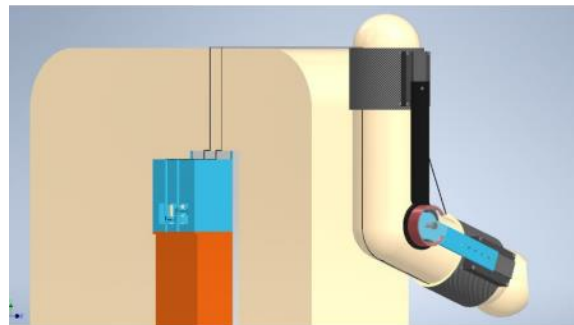


Figura 1: Vista isométrica del diseño final acoplado a la órtesis

3.1.2. Impresión y construcción

Para este primer prototipo, se han impreso las piezas del sistema de accionamiento mediante la tecnología FDM (Fused Deposition Modeling). Para ello, se han exportado las piezas del modelo CAD a archivos tipo STL, y mediante el software PrusaSlicer se genera el modelo por capas de acuerdo con unas características en la velocidad y calidad de impresión 3D. En la figura 2, se muestra las configuraciones de la impresión 3D por medio del software.

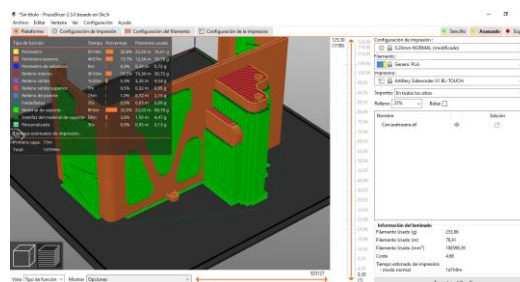


Figura 1. Software PrusaSlicer para impresión 3D.

Una vez impresas todas las piezas del diseño, se realiza el ensamble físico utilizando pasadores, tornillos y accesorios de motor. En la Figura 3, se muestra el ensamble completo de todas las piezas que conforman el prototipo, donde se puede observar el sistema de accionamiento (caja blanca) con la salida de los cables *bowden* que se acoplan a la órtesis para generar el movimiento. El sistema de poleas, que mediante una pieza en forma de eje conectado al moto-reductor proporciona y recoge el cable, se muestra en la Figura 4.

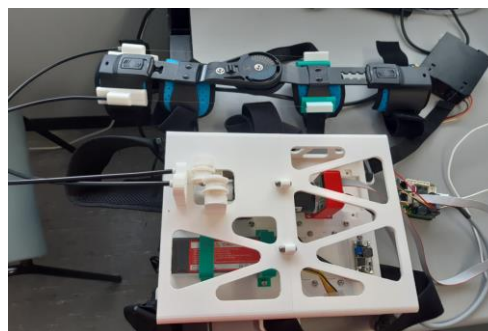


Figura 2. Ensamble mecánico del prototipo de las piezas impresas.

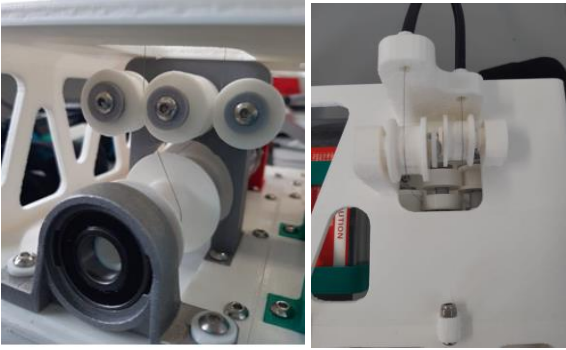


Figura 4. Sistema de poleas y eje para generar el movimiento mediante cable bowden

3.2. Configuración y control del motorreductor

A partir de los datos obtenidos de par y velocidad máxima de una simulación dinámica en los movimientos de flexión-extensión (Girma *et al.*, 2021), se determina que una buena elección de motor es el siguiente:

- **Motor (Maxon Motor):** EC 45 flat Ø43.5 mm, brushless, 50 Watt modelo V1 (with Hall sensors).

Además, comparado con los motores de CC y CA, los motores EC tienen una mayor eficiencia debido a su control electrónico y que no tienen escobillas, evitando chispas y aumentando la vida útil del motor (Figura 5).

Los motores EC también pueden funcionar a velocidades más altas y tienen una fabricación más automatizada, lo que reduce sus costes. Este modelo es especialmente adecuado para espacios reducidos y está disponible con diferentes opciones de sensores y accesorios como reductores y encoders.

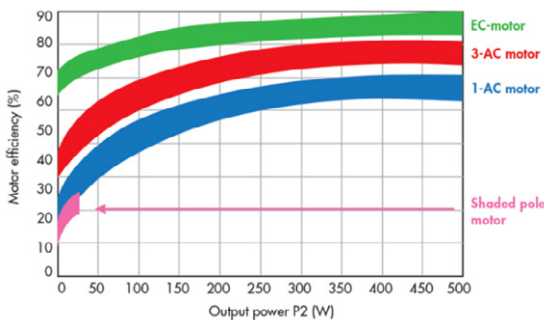


Figura 5: Comparación de la eficiencia del motor de un motor EC, un motor de CA de inducción trifásico, un motor de inducción de CA monofásico

El uso de motores eléctricos para impulsar cargas directamente no siempre es adecuado, ya que giran demasiado rápido y no son capaces de entregar suficiente par por sí solos. Para resolver esto, se utilizan reductores de velocidad que convierten parte de la velocidad en par efectivo, lo que permite que la potencia producida por el motor se utilice de manera eficiente. Existen diferentes tipos de reductores de velocidad con diferentes relaciones y capacidades de par en el mercado, y es esencial seleccionar el adecuado para maximizar el rendimiento y la eficiencia al tiempo que se reduce el costo total.

En este caso, siguiendo los resultados de las simulaciones se ha elegido el siguiente reductor:

- **Reductor (Maxon Motor):** Planetary Gearhead GP 42 C Ø42mm, 3.0–15.0 Nm.

Este modelo ofrece una alta capacidad de torque, alta eficiencia de transmisión de potencia, compacidad y bajo juego, lo que lo hace idóneo para la aplicación dada y cumple con los requisitos mencionados.

Finalmente, para proporcionar información precisa sobre la posición y el movimiento del motorreductor se ha decidido hacer uso de un encoder MILE 256–2048 ppv con 2 canales y con line driver.

3.2.1. Configuración

La configuración del motor es una de las etapas más importantes en el proceso de diseño y construcción de un exoesqueleto robótico. Para este proceso se ha utilizado el software EPOS Studio en un ordenador conectado a la EPOS4.

En primer lugar, se debe conectar el motor al controlador EPOS4. Para ello, se deben seguir las instrucciones del manual del motor y del controlador para conectar los cables correctamente.

A continuación, se selecciona el tipo de motor y las especificaciones técnicas del mismo, como la tensión nominal, la corriente nominal, la resistencia y la inductancia, que se pueden encontrar en el manual del motor.

Después de introducir los datos del motor, se procede a la configuración de los parámetros de control. Estos dependerán del uso específico del motor en el exoesqueleto y deben ser cuidadosamente ajustados para asegurar un rendimiento óptimo.

Tabla 1: Datos de la configuración del motor

Pestaña	Parámetros
Motor	-Motor Type: EC Motor -Nominal Current: 1500 mA -Torque constant: 36 mNm/A -Thermal time constant widening: 28.8s -Max speed: 6250 rpm -Number of pole pair: 8
Gear	-Absolute reduction: 113:1 -Direction of rotation: Same -Max continuous input speed: 8.000 rpm
Sensors	-Connector: X5-Encoder (On motor shaft) -Nº pulses: 1024 pulses/rev -Type: Encoder without index (2-channel) -Polarity: maxon
Commutation	-Type: Sinusoidal commutation

	-Sensor: X4+X5+Digital Encoder
Regulation	-Current: PI Controller -Velocity: PI velocity controller -Position: PID position controller -Main Sensor: X4-Digital Hall sensors
Limits	-Max continuous current: 1500 mA -Max output current: 2500 mA -Max acceleration: 3000 rpm -Max profile vel: 6250 rpm

3.2.2. Calibración

Tras realizar la configuración del motor es necesario proceder con su calibración. Esta calibración permite ajustar los parámetros del motor y del controlador para que el movimiento del brazo sea preciso y se adapte a las necesidades del usuario.

Para realizar la calibración de un motor Maxon con una EPOS4 usando EPOS Studio Software, se debe seleccionar el motor a calibrar en la interfaz del software.

El siguiente paso es ejecutar la función de "autoajuste" del motor, que permite al software identificar automáticamente los parámetros del motor y ajustarlos para obtener el mejor rendimiento. Durante el proceso de autoajuste, el motor gira a diferentes velocidades y cargas, y el software mide su respuesta para ajustar los parámetros del controlador.

3.2.3. Control del motorreductor

El primer paso para realizar el control del motorreductor es conectar el controlador EPOS4 a ROS. Para este proceso se ha utilizado un paquete llamado "[eposx hardware](#)" (Eposx Hardware, 2023).

Con este paquete, se pueden enviar comandos de control de posición, velocidad y torque a los motores y sistemas de accionamiento a través de ROS, lo que permite controlar la velocidad y la posición de los motores de forma precisa y en tiempo real. Además, el paquete proporciona retroalimentación actual sobre el estado de los motores y sistemas de accionamiento, lo que permite monitorear y ajustar el rendimiento de estos.

Una vez conectada la EPOS a ROS se desarrolla un control de velocidad que implementa una trayectoria de movimiento polinómica. Este tipo de trayectorias se utiliza comúnmente en robótica y control de movimiento para mover un objeto desde una posición inicial a una posición final de manera suave y controlada.

El programa está escrito en Python y, como se ha comentado anteriormente, utiliza el framework de ROS (Robot Operating System) enviando comandos de velocidad mediante topics a al controlador del motor EPOS4 a través del puerto USB.

La función principal del programa es una función que recibe varios parámetros que definen la posición, velocidad y aceleración inicial y final, así como el tiempo de inicio, finalización de la trayectoria y el step. La función utiliza estos parámetros para calcular los coeficientes de un polinomio de quinto grado que describe la trayectoria de movimiento deseada.

Una vez que se calculan los coeficientes, se utiliza el polinomio para generar una lista de velocidades que se publican a través del canal "/velocity_controller/command". Esta lista de velocidades se genera en dos partes: la primera parte mueve el motor desde su posición inicial hasta la posición final en una dirección, y la segunda parte mueve el motor desde la posición final hasta la posición inicial en la dirección opuesta.

Además, el programa utiliza la biblioteca de Python NumPy para realizar los cálculos matemáticos de la función principal y la biblioteca Matplotlib para visualizar los resultados.

4. Pruebas de usabilidad

A lo largo del desarrollo del prototipo se han realizado una serie de pruebas experimentales respecto al hardware y software dando lugar a un continuo perfeccionamiento de este. El dispositivo fue probado en una serie de pruebas de uso con el equipo puesto en un usuario sano. La Figura 6 muestra el exo-traje montado sobre el usuario, en el momento de las pruebas de usabilidad.



Figura 6. Exo-traje puesto sobre un usuario sano

4.1. Hardware

4.1.1. Diseño de piezas

El proceso de impresión de piezas en 3D es largo y pueden ocurrir varios problemas durante o después de la ejecución. Estos problemas se pueden dividir en fallas de diseño y fallas de impresora. En esta sección se verán los diferentes errores que ocurrieron.

- **Espesor de las piezas:** uno de los problemas comunes que ha ocurrido durante el proceso de impresión en 3D es el grosor incorrecto de las piezas.
- **Resistencia:** esto puede deberse a una mala elección de los materiales de impresión, una mala configuración de la impresora o un diseño defectuoso.
- **Configuración del software:** la configuración del software es un factor crítico que puede afectar la calidad de las piezas impresas en 3D. Una mala configuración del software puede causar problemas de impresión.
- **Rediseño de piezas:** el rediseño de piezas ha sido necesario ya que han ocurrido problemas durante el proceso de impresión o un mal funcionamiento en el ensamble mecánico.

4.1.2. Pruebas de accionamiento

Una vez establecido un primer modelo y comprobada su viabilidad, se lleva a cabo un diseño más elaborado y cercano al diseño final.

- Como primera prueba el sujetador del motor no cumplía con los requerimientos planteados se opta por mejorar el diseño.
- En la segunda prueba para la unión con la órtesis, los cables inicialmente diseñados en el carrete pasan por los conductos de la carcasa y subiendo por el hombro hasta unirse a la órtesis, para un mejor funcionamiento se rediseña una serie de topes entre la ortesis y la carcasa para permitir que el cable pueda transitar por estos conductos.
- En la tercera parte el cable presenta fallas. En un inicio este era de 2mm trenzado en acero inoxidable no flexible, por ello se optó por buscar un cable resistente de menor diámetro a 0.5 mm de material flexible para que al momento de realizar los movimientos de flexo-extensión los hiciera de forma óptima.
- En la cuarta parte, debido al cambio del diámetro del cable, se opta cambiar el sistema de poleas para que este no se escape.
- Finalmente, el soporte del motor vuelve a presentar fallas debido a que se realizan pruebas ya en la persona cambiando la orientación del prototipo en vertical, por lo que se rediseña la pieza quedando el prototipo funcional.

4.2. Software

4.2.1. Pruebas de calibración

La calibración de un motor es un proceso fundamental para asegurar que el motor funcione de manera precisa y eficiente.

Un motor que no esté calibrado adecuadamente puede experimentar problemas como una respuesta inadecuada a los

comandos de control de velocidad, un consumo excesivo de energía, una reducción en la vida útil del motor o incluso la falla del sistema completo en el que se utiliza.

Para asegurar que esto no ocurra, se han realizado algunas pruebas con el EPOS Studio para comprobar que la calibración se ha realizado correctamente.

A continuación, se muestra en la siguiente figura una de las pruebas de control de velocidad en la que se le aplica al motor un perfil trapezoidal que tiene como velocidad objetivo 2000 rpm, una aceleración de 500 rpm/s y una deceleración de 1000 rpm/s.

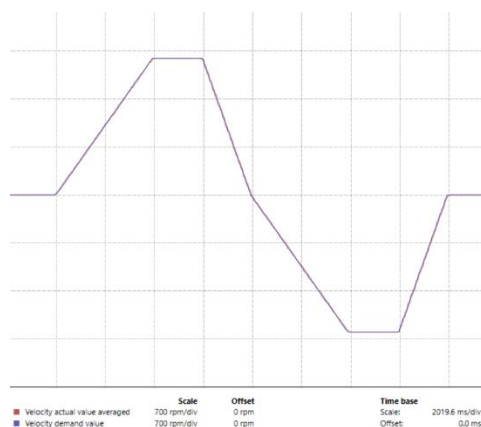


Figura 7: Prueba de calibración del motorreductor

Como se puede observar el motorreductor sigue correctamente las velocidades a alcanzar, dando por hecho una correcta calibración.

4.2.2. Pruebas de control

Una vez todo conectado de manera correcta y funcional y realizado el código de control se procede a llevar a cabo una serie de pruebas para observar y comprobar el funcionamiento.

Primero, se han tenido que determinar los límites de movimiento de la articulación mediante el uso del código creado. Tras diversas pruebas, se determina que una flexión y una extensión completa del brazo equivalen a dos vueltas del conjunto motor/reductor.

Finalmente, se han realizado diversas pruebas para determinar cuál es el tiempo más adecuado para realizar el movimiento del brazo, ya que se busca un movimiento de este a una velocidad intermedia.

5. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se ha descrito el desarrollo de un prototipo de un exo-traje para la rehabilitación de miembro superior. Se ha mostrado el diseño mecánico, así como las pruebas de usabilidad realizadas para la reingeniería del dispositivo. Como trabajos futuros, se pretende realizar pruebas de concepto a usuarios con alguna afectación motora en el miembro superior.

Referencias

- Benjamin, E.J., Blaha, M.J., Chiuve, S.E., Cushman, M. et al., (2017) Heart disease and stroke statistics-2017 update. American Heart Association, Circulation, 135.
- Chiaradia, D., Xiloyannis, M., Antuvan, C. W., Frisoli, A. Masia, L. (2018) Design and embedded control of a soft elbow exosuit, IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft), pp. 565-571.
- Copaci, D., Cano, E., Moreno, L., Blanco, D. (2017) New Design of a Soft Robotics Wearable Elbow Exoskeleton Based on Shape Memory Alloy Wire Actuators. Applied Bionics and Biomechanics, 2017.
- Cyberdyne Inc., H.A.L., 2020. <https://www.cyberdyne.jp/english/>.
- Epos Hardware, 2023, https://github.com/yoshito-n-students/eposx_hardware.
- Espinoza R. et al. (2017) ORTE-Sistema Robotizado para la rehabilitación del miembro superior. Jornadas Nacionales de Robótica, 2017.
- Garrec, P., Friconeau, J.P., Measson, Y., Perrot, Y., (2008) ABLE, an innovative transparent exoskeleton for the upper-limb, in: IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robotics and Systems (IROS), pp. 1483-1488.
- Girma, D. L., Moncada, S. I., Izquierdo, D. M., Angulo, I. N., Jara, C. A. (2021) Diseño y simulación del sistema de actuación de un exotraje para la rehabilitación y asistencia del miembro superior. XI Congreso Iberoamericano de Tecnologías de Apoyo a la Discapacidad (IBERDISCAP).
- Hu, J., Lim, Y.J., Ding, Y., Paluska, D., Solocheck, D. et al., (2011) An advanced rehabilitation robotic system for augmenting healthcare, in International Conference on IEEE Engineering Medicine and Biology Society (EMBS), pp. 2073-2076.
- Lessard, S., Pansodtee, P., Robbins, A., Trombadore, J. M., Kumiawan, S., & Teodorescu, M. (2018). A Soft Exosuit for Flexible Upper-Extremity Rehabilitation. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, 29, 834-842.
- Masia, L., Hussain, I., Xiloyannis, M., Pacchierotti, C., Cappello, L., Malvezzi, M., & Prattichizzo, D. (2018). Soft wearable assistive robotics: exosuits and supernumerary limbs.
- Rahman, M.H., Rahman, M.J., Cristobal, O.L., Saad, M., Kenn'e, J.P., Archambault, P.S., (2015) Development of a whole arm wearable robotic exoskeleton for rehabilitation and to assist upper limb movements, Robotica. 33, pp. 19-39.
- Shen, Y., Rosen, J. (2019) EXO-UL upper limb exoskeleton system, Wearable Robotics: Systems and Application, Elsevier, 2019.



© 2019 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution CC BY-NC-SA 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-ncsa/4.0/deed.es>).