

## **Algoritmo de metodología para desarrollar dispositivos mecatrónicos como ayuda a personas con distrofia muscular**

Methodology algorithm to develop mechatronic devices to help people with muscular dystrophy

Lely Adriana Luengas C.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Piloto Colombia, Bogotá, Colombia

\*Cra.9 #45A-44, Bogotá, Bogotá, Colombia. 571+ 2324122. [lely-luengas@upc.edu.co](mailto:lely-luengas@upc.edu.co)

### **RESUMEN**

El avance tecnológico permite desarrollar equipos tecnológicos y ayudas técnicas que apoyen el tratamiento dirigido a un paciente.

**Objetivo:** Generar un algoritmo para desarrollar dispositivos mecatrónicos como ayudas técnicas para personas con discapacidad física.

**Métodos:** Se tomó como base una clasificación del diseño de estudio de tipo descriptivo, para la propuesta de una metodología de diseño e implementación de dispositivos de ayuda técnica en personas con distrofia muscular. La propuesta hace referencia al conjunto de técnicas, procedimientos y soportes documentales empleados en el diseño de sistemas de ayuda técnica, donde se integran aspectos diversos de tal forma que el proceso global sea lógico y comprensible.

**Resultados:** El diseño obtenido comprende el desarrollo de cuatro metodologías, que inician con el proceso investigativo, luego el dispositivo mecánico, después el sistema electrónico y finaliza con el sistema de comunicación. Se dan pautas para generar cada uno de los componentes del sistema y lograr obtener un dispositivo funcional. El diseño fue probado con resultados favorables.

**Conclusiones:** En el área de rehabilitación física, se combinan los conocimientos médicos con los ingenieriles para obtener soluciones tecnológicas que facilitan las labores a personas con discapacidad física. El diseño desarrollado, al contar con un conjunto ordenado de operaciones sistemáticas y una serie de pautas específicas para la ejecución de actividades, donde se cursan una serie de etapas, permite solucionar el tipo de problemas de referencia.

**Palabras clave:** Ayudas técnicas; Rehabilitación médica; Exoesqueleto

## **ABSTRACT**

The technological advance allows developing technological equipment and technical aids that support the treatment directed to a patient.

**Objective:** Generate an algorithm to develop mechatronic devices as technical aids for people with physical disabilities.

**Methods:** A descriptive study design classification was used as a basis for the proposal of a methodology for the design and implementation of technical assistance devices in people with muscular dystrophy. The proposal refers to the set of techniques, procedures and documentary supports used in the design of technical assistance systems, where diverse aspects are integrated in such a way that the overall process is logical and understandable.

**Results:** The design obtained includes the development of four methodologies, which begin with the investigative process, then the mechanical device, then the electronic system and ends with the communication system. Guidelines are given to generate each of the components of the system and achieve a functional device. The design was tested with favorable results.

**Conclusions:** In the area of physical rehabilitation, medical and engineering knowledge are combined to obtain technological solutions that facilitate the work of people with physical disabilities. The developed design, having an ordered set of systematic operations and a series of specific guidelines for the execution of activities, where a series of stages are taken, allows solving the type of reference problems.

**Keywords:** Technical aids; Medical rehabilitation; Exoskeleton

## **Introducción**

La rehabilitación física tiene efecto positivo en la movilidad articular y general de individuos físicamente impedidos, lo que conlleva a mejorar la calidad de vida <sup>(1)</sup>. También ayuda en el control del dolor y en la mejora de la función del órgano o sistema afectado <sup>(2)</sup>. Los efectos beneficiosos del ejercicio y la actividad física en numerosos aspectos de la salud son hoy en día conocidos y aceptados. En personas con enfermedades donde se ve afectada la movilidad, el ejercicio y un estilo de vida físicamente activo la mejoran y contribuyen positivamente a la prevención de diversas enfermedades crónicas como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, entre otros.

Existen diferentes causas que impiden el movimiento muscular en una persona, una de ellas es la distrofia muscular, enfermedad donde los músculos voluntarios del cuerpo se vuelven más y más débiles y, poco a poco, van dejando de funcionar.

No existe un tratamiento médico que permita detener el progreso de la enfermedad, pero existen ayudas tecnológicas que permiten a las personas con discapacidad mejorar sus habilidades para ayudarlos a vivir de forma autónoma y participar en sus sociedades <sup>(3)</sup>.

Actividades tan sencillas como levantar el brazo para comer o cepillarse los dientes, son un reto para las personas con distrofia por la disminución de fuerza y la falta de movilidad, entre otros aspectos; sin embargo, la tecnología asistida ha desarrollado múltiples opciones para mejorar la calidad de vida de estos pacientes.

En países de ingresos bajos o medianos, solo entre el 5% y el 15% de las personas que necesitan dispositivos y tecnologías de apoyo tienen acceso a ellos. La producción es escasa y con frecuencia de poca calidad. Hay insuficiencia de personal capacitado para administrar la facilitación de dichos dispositivos y tecnologías, especialmente a nivel rural. En muchos lugares donde el acceso sería posible, los costos son prohibitivos<sup>(4,5)</sup>.

En la Convención sobre los derechos de las personas con discapacidad (artículos 20 y 26), la resolución WHA58.23 de la Asamblea Mundial de la Salud y las Normas Uniformes sobre la igualdad de oportunidades para las personas con discapacidad se subraya la importancia de los dispositivos de apoyo. Se pide a los estados que promuevan el acceso a los dispositivos y las tecnologías de apoyo a un costo asequible y que proporcionen capacitación a las personas con discapacidad y a los profesionales y el personal que trabajan en los servicios de habilitación y rehabilitación<sup>(4)</sup>.

El diseño y desarrollo de los productos de apoyo permite tener sistemas que se complementan para asegurar unos entornos, productos y servicios que facilitan la autonomía personal en tareas básicas e indispensables como comer. Además, ayudan en el entrenamiento de músculos y al desarrollo cerebral<sup>(6)</sup>.

La rehabilitación física requiere de máquinas donde el paciente se ejercita, tradicionalmente han sido máquinas robustas que se encuentran ubicadas en consultorios o centros de rehabilitación, pero se ha visto que los pacientes encuentran estos espacios fríos y aburridos, por ello se han desarrollado nuevos equipos y sistemas. Los investigadores de varias disciplinas se encuentran diseñando equipos junto con protocolos que permitan a los pacientes realizar los ejercicios de rehabilitación desde su hogar, a la vez que son supervisados continuamente. De esa forma, un especialista del área de la salud supervisa el avance actual de la persona y establece nuevas rutinas de rehabilitación de forma remota, además se podrán almacenar los datos en una base de datos para hacer seguimiento y extraer conclusiones del desempeño de las terapias sobre la persona. Las máquinas desarrolladas deben ser atractivas para el usuario, así como funcionales, de manejo intuitivo, bajo costo, entre otros requerimientos<sup>(4)</sup>.

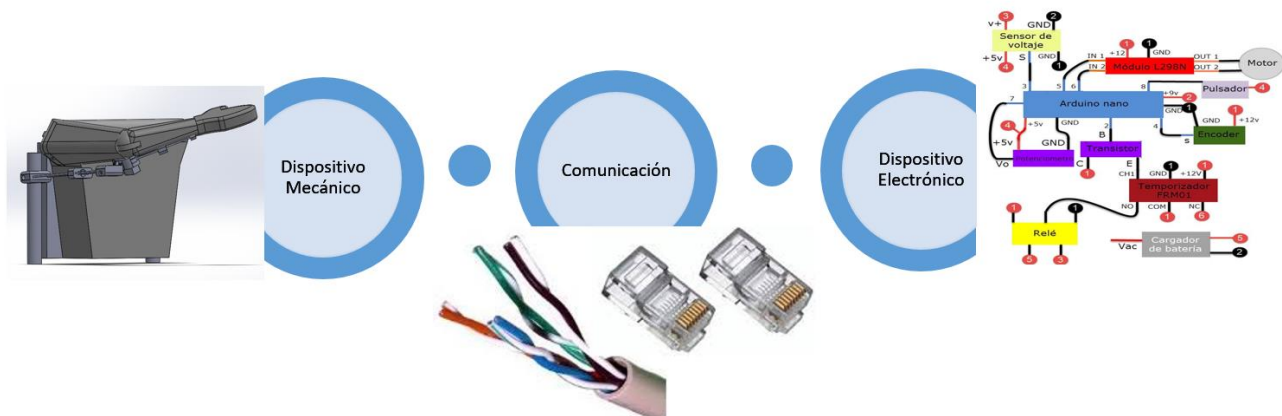
La integración sinérgica de procesos mecánicos, microelectrónica y procesamiento de la información abre nuevas posibilidades para el diseño de procesos así como para su control automático. Como las interrelaciones durante el diseño juegan un papel importante, la ingeniería simultánea tiene que tener lugar desde el principio. La mecatrónica, como ingeniería que permite la integración entre diferentes disciplinas, resulta óptima en el momento de generar soluciones hardware-software, donde se tienen mecanismos, controlados electrónicamente y con sistemas de comunicación<sup>(7, 8, 9)</sup>. Para obtener resultados satisfactorios se requiere un diseño sistemático, de allí que este trabajo propone un algoritmo de metodología para desarrollar dispositivos mecatrónicos como ayudas técnicas para personas con discapacidad física.

## **Métodos**

Los avances tecnológicos actuales presentan una sinergia entre diferentes disciplinas para dar un resultado completo como solución a la necesidad planteada, de allí que, en la obtención de productos o diseños desde la ingeniería, se hace necesario contar con métodos o técnicas para resolver los problemas identificados. El propósito de poseer y aplicar una metodología que permita desarrollar dispositivos para ayudas técnicas, es disponer de un procedimiento racional enfocado al

cumplimiento de un objetivo, o una serie de objetivos, lo que contribuye a fomentar el acercamiento directo a los problemas, activar la creatividad y el entendimiento, facilitar la búsqueda de soluciones óptimas, aplicar correctamente los conocimientos, permitir la compatibilidad de conceptos, métodos y descubrimientos de varias disciplinas, así como a reducir tiempos, costos y errores.

Los aparatos mecatrónicos como ayudas técnicas tienen tres partes fundamentales: parte mecánica, parte electrónica y el sistema de comunicación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa la relación entre ellos.



**Fig. 1-** Partes fundamentales de un dispositivo mecatrónico para ayuda técnica dirigido a personas con discapacidad.

La maquinaria, parte mecánica que incluye el mecanismo, se encarga tanto de transformar la energía para hacer un trabajo como de realizar el trabajo; la mecánica incluye un conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y empleando energía hacen un trabajo o cumplen una función <sup>(10)</sup>. Esta maquinaria debe ser eficiente, liviana, multitarea, reprogramable electrónicamente, capaz de llevar a cabo una variedad de movimientos o tareas por medios autónomos; esto hace notar, que el diseño de mecanismos es un campo de la microeconomía y la teoría de juegos, donde se considera cómo implementar un sistema que responda con soluciones óptimas a un problema planteado, involucrando múltiples agentes, cada uno con información y aporte a la solución <sup>(11,12)</sup>.

La parte electrónica incluye la combinación de componentes electrónicos organizados en circuitos, destinados a controlar y aprovechar las señales eléctricas. El diseño electrónico permite obtener un circuito ya sea para almacenamiento, transporte o transformación de información. Todo desarrollo electrónico involucra tres partes relacionadas entre sí para un buen funcionamiento: el hardware, el firmware y el software <sup>(13,14)</sup>.

El hardware es el aspecto físico de los dispositivos, son los componentes electrónicos, sensores, actuadores, tarjetas electrónicas, placa de circuitos impresos o PCB (por sus siglas en inglés), entre otros.

El firmware se refiere a las instrucciones o programas permanentes de dispositivos informáticos, esta programación es de muy bajo nivel, se almacena en memorias presentes en los microprocesadores, microcontroladores o sistemas embebidos, la característica es que el usuario común no puede acceder ni alterar los programas.

El software es el conjunto de procedimientos, reglas, documentación y datos que conforman programas y rutinas, están residentes en dispositivos tales como computadoras, teléfonos inteligentes, tabletas, etc. El software permite realizar tareas específicas en estos dispositivos.

En los dispositivos electrónicos, el hardware ejecuta las operaciones indicadas a través de códigos por el firmware, puede ser lectura de sensores, activación de actuadores, almacenamiento de información, recepción y transmisión de datos, por citar algunas; el firmware sigue las órdenes del software, realiza la toma de decisiones según la programación que contiene, interconecta hardware y software, etc.; el software realiza las tareas de procesamiento de datos, visualización de los mismos en una interfaz de usuario, y en general los procesos macro del dispositivo.

El sistema de comunicación permite transferir información de un punto a otro entre circuitos, sistemas electrónicos y mecánicos, lleva a cabo tareas de supervisión y control, es decir, se encarga de transmitir las señales para intercomunicar las diferentes partes de los dispositivos mecatrónicos. Para cumplir su función tiene tres componentes básicos: el transmisor, el canal de transmisión y el receptor.

El transmisor envía el mensaje al canal en forma de señal.

El canal de transmisión o medio es el enlace eléctrico entre el transmisor y el receptor, siendo el puente de unión entre la fuente y el destino.

El receptor recibe del canal la señal deseada.

## **Resultados**

### **Algoritmo propuesto**

El proceso de desarrollo de ayudas técnicas para personas con discapacidad, involucra varias etapas relacionadas entre sí, se tiene el proceso investigativo, el dispositivo mecánico, el sistema electrónico y el sistema de comunicación, como se puede ver en la figura 2. Por lo anterior, se ha desarrollado un algoritmo que reúne la combinación de metodologías para cada etapa: una metodología para el desarrollo del proceso investigativo, otra para el diseño e implementación del dispositivo electrónico, una para el sistema de comunicación y otra para el diseño y desarrollo del dispositivo mecánico.

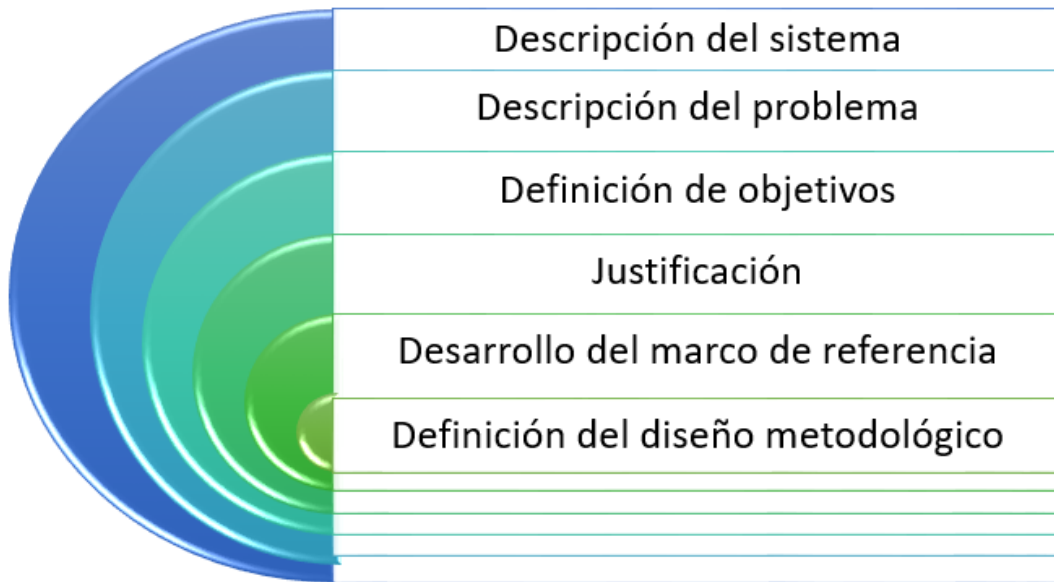


**Fig. 2-** Metodología para la obtención de Dispositivos de Ayuda Técnica dirigidos a personas con discapacidad.

### **Desarrollo del proceso investigativo**

Para la obtención de dispositivos que permitan la correspondencia entre las personas con discapacidad con su medio ambiente, se demanda determinar la tecnología de fabricación teniendo en cuenta las necesidades a cubrir, el tipo de discapacidad, la afectación musculoesquelética, la población objeto (rango de edad, sexo). Como consecuencia, es imperativo tener como primera medida el planteamiento general de la investigación.

La propuesta y desarrollo de dispositivos de ayuda técnica inicia con el estudio del proceso investigativo, donde se establece la necesidad del dispositivo, se plantea el problema a abordar, por qué se quiere realizar, a donde se quiere llegar, se buscan las teorías, conceptos y/o definiciones que sustentan el proyecto, así como el estado del arte del tema del laboratorio. En general, el proceso investigativo se realiza siguiendo los pasos fundamentales que se ven en la figura 3.



**Fig. 3-** Desarrollo del proceso investigativo, la metodología propuesta incluye 6 ítems relacionados entre sí y que son el fondo de la ayuda técnica a implementar.

Descripción del sistema: en este punto se establece el área de investigación de forma clara y meticulosa.

Descripción del problema: donde se especifica el problema detallada y claramente, aquí se establecen los límites del problema.

Definición de objetivos: se determina el alcance del proyecto, a dónde se quiere llegar teniendo en cuenta los resultados esperados y el ámbito donde se situará el desarrollo.

Justificación: se resaltan las motivaciones existentes que permiten el desarrollo y la ejecución del proyecto.

Desarrollo del marco de referencia: construcción del conocimiento previo, revisión de las estructuras teóricas y experiencias existentes mundialmente.

Definición del diseño metodológico: en su conjunto incluye tres fases generales, el diseño y construcción del dispositivo mecánico, la determinación del sistema de comunicación y el diseño y construcción del sistema electrónico.

### **Desarrollo del Sistema Electrónico**

El sistema electrónico del prototipo a desarrollar debe ser descrito, verificable en su funcionamiento mediante la simulación del mismo, para luego llegar a implementar el prototipo físicamente y finalmente validar su funcionamiento. Por ello, se deben seguir los siguientes pasos:

Planificar y organizar las actividades a realizar.

Fijar las particularidades del grupo de trabajo.

Estipular los requerimientos y las especificaciones técnicas del sistema. Esto es la descripción de la idea, puede hacerse uso de un diagrama en bloques, un diagrama de flujo, entre otros.

Establecer los elementos del dispositivo y determinar las herramientas hardware-software a utilizar. Verificar la consecución de los mismos, en cuanto a costo y adquisición.

Diseñar el circuito electrónico, simular y verificar el funcionamiento del diseño.

Implementar físicamente el diseño.

Validar con pruebas la implementación.

Las fases descritas se muestran en la figura 4.



**Fig. 4-** Metodología de diseño para la obtención del Sistema Electrónico.

### **Desarrollo del Dispositivo Mecánico**

Consiste en definir las formas y geometrías fundamentales de la parte mecánica del sistema, también se definen los materiales a utilizar y los procesos de fabricación asociados. Es vital considerar las técnicas y tecnologías a las que se tienen acceso, así como el costo de estas. Esta fase se encarga de proporcionar un esquema general del sistema, sobre el que se puedan analizar de forma eficaz: función, duración, fabricación, montaje, funcionamiento, costes y seguridad.

En la obtención de la parte mecánica del prototipo se presentan frecuentes actividades de análisis y de síntesis y numerosas acciones de verificación, estas tareas se alternan y complementan en todo momento. Es esencial la acertada evaluación de soluciones para poder identificar los errores e ir perfeccionando el diseño continuamente.



Se proponen una serie de actividades en el diseño mecánico, donde se incluye el análisis para clarificar la tarea y determinar las especificaciones mecánicas del prototipo; la obtención de un modelo mediante el diseño, la simulación, evaluación y optimización del mismo, aquí se elaboran los esquemas preliminares y formas de diseño, se evalúan respecto a criterios técnicos y económicos y se selecciona el diseño que más prestaciones otorga; se llega entonces a un esquema preliminar, donde se completa el diseño de las formas, se realiza verificación de errores, efectividad de costo y se listan las piezas de forma preliminar y documentos para la producción; finalmente, se alcanza el esquema final, con detalles finales, dibujos de detalle y completamiento de la documentación. La figura 5 muestra la metodología para el diseño y obtención de dispositivo mecánico.



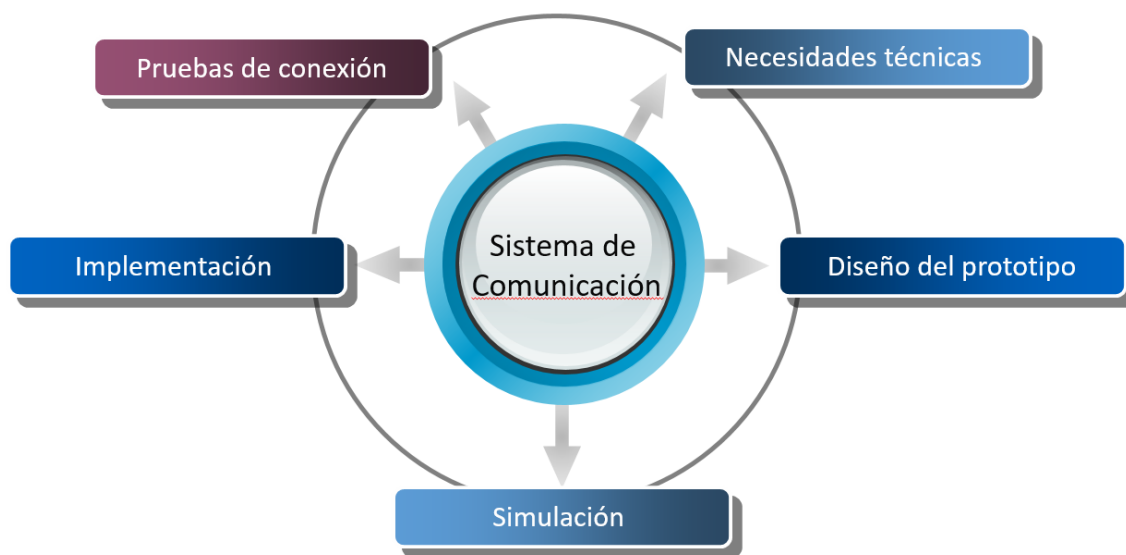
**Fig. 5-** Metodología de diseño mecánico.

Para dar a conocer la propuesta mecánica se utilizan diferentes herramientas como dibujos a escala con las restricciones impuestas por el medio donde se exhibirá el prototipo, diseños preliminares de los elementos y componentes, esquemas con los componentes, software para la evaluación de diseños y documentación del proceso.

## Sistema de Comunicación

Como se explicó, todo sistema de comunicación consta de tres partes, transmisor, canal de comunicación y receptor <sup>(15)</sup>. El diseño de un sistema de comunicación debe considerar el desarrollo óptimo de estas tres etapas para lograr una eficiente comunicación entre todos los componentes del dispositivo, es decir, tener tiempo reducido en la cantidad total de datos transmitidos por unidad de tiempo, baja probabilidad de errores con la pérdida de información o información errónea, proponer la probabilidad de detección de errores para aumentar la eficacia de los controles y asegurar buena conexión.

La metodología propuesta consta de una serie de etapas elementales y básicas a seguir para lograr la obtención del sistema de comunicación, los aspectos desarrollados dentro de cada etapa generan criterios que ayudan a establecer el diseño apropiado. En la figura 6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se dan a conocer las etapas. En primer lugar se tiene una etapa específica donde se puntualizan las necesidades técnicas necesarias dentro de la comunicación en el dispositivo, analizando las características del sistema de transmisión y recepción dependiendo de los dispositivos mecánico y electrónico, el ambiente donde se encuentra, el tiempo de respuesta requerido y la aplicación. En segundo lugar, se realiza el diseño del prototipo del sistema de comunicación, indicando los elementos electrónicos que proveen la solución requerida. En tercer lugar, está la simulación para comprobar el desempeño del diseño realizado, supliendo los posibles errores presentes. En cuarto lugar, se realiza la implementación del hardware y software que realizan la comunicación. En quinto y último lugar se hacen las pruebas de conexión de la parte mecánica con la electrónica y se verifica el comportamiento del sistema; se deben solventar las posibles dificultades que se presenten.



**Fig. 6-** Metodología para obtención del sistema de comunicación de la ayuda técnica.

## Discusión

La propuesta del algoritmo de metodología para el desarrollo de dispositivos mecatrónicos, se aplicó a una primera necesidad, disponer de un sistema mecatrónico que asistiera a personas con discapacidad física, específicamente con distrofia muscular, en el momento de comer. La aplicación de este algoritmo permitió generar dos sistemas: Un primer prototipo de exoesqueleto, que se encuentra en fase de pruebas; un segundo aparato para ejercicios de rehabilitación que se encuentra en la fase de diseño. Se observó que siguiendo la metodología planteada, el tiempo de planificación y obtención de los aparatos se redujo, además se tuvo bajo desperdicio de material y se logró un sistema funcional.

El trabajo conjunto entre ingenieros y personal médico es crucial en el momento de proponer, ejecutar, desarrollar y validar los dispositivos. Por un lado, es imprescindible tener clara la necesidad a abordar, en este momento la información del personal médico es invaluable; por otro lado, conocer las limitaciones de diseño mecánico y electrónico, permite generar soluciones realistas.

La metodología formulada debe ser probada en el diseño de otros mecanismos mecatrónicos, para validar su aplicabilidad.

## Referencias

1. KKvetonová L, Gento Palacios S, Rehurek J. Tratamiento educativo de la diversidad de tipo visual. Madrid: Librería UNED; 2011. 120 p.
2. Stanos SP, McLean J, Rader L. Physical Medicine Rehabilitation Approach to Pain. Vol. 25, Anesthesiology Clinics. 2007. 721–59 p.
3. Sebastián Herranz M, Valle Gallego I, Vigara Cerrato Á. Guía de orientación en la práctica profesional de la valoración reglamentaria de la situación de dependencia: Productos de Apoyo para la Autonomía Personal. Cataluña: Imserso; 2011.
4. WHO. Discapacidad incluidos la prevención, el tratamiento y la rehabilitación. OMS [Internet]; 2005 [citado 5 Nov 2017]. Disponible en [http://www.who.int/disabilities/WHA5823\\_resolution\\_es.pdf](http://www.who.int/disabilities/WHA5823_resolution_es.pdf).
5. Jiménez Buñuales MT, González Diego P, Martín Moreno JM. La clasificación Internacional del funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud (CIF). Rev Esp Salud Pública [Internet]. 2002 Jul-Ago [citado 5 Nov 2017];76(4):271-79. Disponible en: [http://conadis.gob.mx/doc/CIF\\_OMS.pdf](http://conadis.gob.mx/doc/CIF_OMS.pdf).
6. Russell TG. Physical rehabilitation using telemedicine. J Telemed Telecare. 2007;13(5):217–20.
7. Mechatronics: The Unification of Disciplines. Noise Vib Worldw [Internet]. 2006 Mar 7 [cited 2017 Nov 5];37(3):18–9. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1260/095745606777071027>.
8. French MJ. Mechatronics and the Imitation of Nature. Proc Inst Mech Eng Part B J Eng Manuf [Internet]. 1992 Feb 10 [cited 2017 Nov 5];206(1):1–8. Available from: [http://journals.sagepub.com/doi/10.1243/PIME\\_PROC\\_1992\\_206\\_050\\_02](http://journals.sagepub.com/doi/10.1243/PIME_PROC_1992_206_050_02).

9. Sclater N, Chironis NP. Mechanisms and Mechanical Devices Sourcebook [Internet]. 4th ed. New York: McGraw-Hill; 2007 [cited 2017 Nov 3]. 495 p. Available from: [http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Mechanical Engineering Books Collection/THEORY OF MACHINES/MECHANISMS AND MECHANICAL DEVICES 4e.pdf](http://160592857366.free.fr/joe/ebooks/Mechanical%20Engineering%20Books%20Collection/THEORY%20OF%20MACHINES/MECHANISMS%20AND%20MECHANICAL%20DEVICES%204e.pdf).
10. Toulis P, Parkes DC. Design and Analysis of Multi-Hospital Kidney Exchange Mechanisms Using Random Graphs. Games Econ Behav [Internet]. 2015 [cited 2017 Nov 5];91:360–82. Available from: [http://econcs.seas.harvard.edu/files/econcs/files/toulis\\_gamesecon15.pdf](http://econcs.seas.harvard.edu/files/econcs/files/toulis_gamesecon15.pdf).
11. Ma H, Meir R, Parkes DC, Zou J. Contingent Payment Mechanisms to Maximize Resource Utilization. arXiv Prepr arXiv160706511 [Internet]. 2016 [cited 2017 Nov 5]. Available from: [http://econcs.seas.harvard.edu/files/econcs/files/ma\\_16contingent.pdf](http://econcs.seas.harvard.edu/files/econcs/files/ma_16contingent.pdf).
12. Oguntosin VW, Nasuto SJ, Hayashi Y. A Compact Low-Cost Electronic Hardware Design for Actuating Soft Robots. In: 2015 17th UKSim-AMSS International Conference on Modelling and Simulation (UKSim) [Internet]. IEEE; 2015 [cited 2017 Nov 3]. 242–7 p. Available from: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7576551/>.
13. Guzmán T, Aguirre A, Aguiar A, Forster T, Bender W. Sensores Tortuga 2.0: Cómo el hardware y software abiertos pueden empoderar. RED Rev Educ a Distancia [Internet]. 2015 [citado 3 Nov 2017];46. Disponible en: <http://eds.b.ebscohost.com.ezproxy.javeriana.edu.co:2048/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=c549899b-cfd2-4316-bac0-b13817e174d9%40sessionmgr102>.
14. Shannon CE. A mathematical theory of communication. Bell Syst Tech J [Internet]. 1948 [cited 2017 Nov 3];27:379–423. Available from: <http://cm.bell-labs.com/cm/ms/what/shannonday/shannon1948.pdf>.

