

REPORTE DE CASO

Desarrollo de tecnología de asistencia de bajo costo para personas en condición de cuadriplejía. Caso de estudio

Development of low cost assistive technology for quadriplegic people - Case of Study

¹MD. MSc, Universidad Autónoma de Occidente, Programa de Ingeniería Biomédica,

 Wilfredo Agredo R¹,  Sara L. Chilito R²,  César A. Molano V³,
 María A. Ramírez T⁴, *  Andrés F. Zemanate L⁵

²Ingeniera biomédica, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

RESUMEN

³Ingeniero biomédico, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

El desarrollo de tecnología de asistencia para personas en condición de discapacidad permite dar solución a necesidades que, aunque no son consideradas prioridad en las entidades de salud, tienen una gran influencia en la calidad de vida de los afectados. En este caso de estudio se consideran dos personas de 17 y 20 años con trauma raquímedular a nivel de C3 y C4 con clasificación ASIA A, quienes expresaron la necesidad de recuperar la independencia en actividades de entretenimiento, tales como el manejo del celular y el control del televisor. Por consiguiente, se decidió desarrollar dos dispositivos que funcionen como control remoto para el último. Para el diseño y desarrollo de la tecnología se implementó la metodología de diseño de Hans Gugelot, obteniendo como resultado dos dispositivos electrónicos que funcionan mediante pulsadores y comandos de voz que cumplieron satisfactoriamente con su objetivo y que se consideran de bajo costo debido a que no superan los 75 USD.

⁴Ingeniera biomédica, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

Palabras clave: trauma raquímedular, ingeniería biomédica, tecnología de asistencia, dispositivos de bajo costo, rehabilitación.

⁵Ingeniero biomédico, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia

DOI: <http://dx.doi.org/10.28957/rcmfr.v28n2a7>



Recibido:
26 de noviembre de 2018

ABSTRACT

Aceptado:
12 de diciembre de 2018

Correspondencia:
María A. Ramírez T.
maria_a.ramirez_t@uao.edu.co

The development of assistive technology for disabled people allows to give solution to necessities, that even though they are not considered a priority to the health service providers, have a great influence to the patients' quality of life. In this case of study two, 17 and 20 years old, people with spinal cord injury at level C4 and C3, and classification ASIA A, who expressed the necessity to recover independence in their entertainment activities, such as the management of their cellphones and the TV, are considered. Hence, it was decided to develop two dispositive that work as a remote controller for the television. For the design and development of technology, the methodology designed by Hans Gugelot was implemented, obtaining as result two electronic devices which work by pushing buttons and by voice commands, that accomplished with their function and which are considered low cost due to their price (75 USD).

Keywords: Spinal Cord Injury, Biomedical Engineering, Assistive Technology, Low Cost Devices, Rehabilitation.

Conflictos de interés:
Para la realización de este estudio, los investigadores declaran que no cursan con ningún conflicto de interés Particular ni han recibido beneficios económicos ni patrocinios de la industria farmacéutica ni entidades de orden privado o público

DOI: <http://dx.doi.org/10.28957/rcmfr.v28n2a7>



INTRODUCCIÓN

El trauma raquímedular (TRM) es el nombre que se da al conjunto de lesiones que pueden ocurrir en estructuras de la columna vertebral. Las consecuencias motrices y de sensibilidad dependen directamente del nivel al que se encuentre la lesión; así, las causadas en la región cervical son las que mayor cantidad de repercusiones tienen, llegando incluso a dejar a las personas en situación de cuadriplejía¹.

En Colombia, según las estadísticas realizadas por el DANE en 2015, hay cerca de 400.000 personas en situación de discapacidad relacionada con la pérdida de motricidad y sensibilidad en miembros superiores e inferiores², pero solo entre el 5% y el 15% de los casos reportados, los afectados tienen acceso a dispositivos que les ayuden a suplir las diferentes necesidades que puedan manifestar³.

Las entidades prestadoras de servicios de salud solo brindan atención a aquellos requerimientos que están relacionados con el soporte vital y la movilidad de las personas en situación de discapacidad, de manera que dejan de lado necesidades relacionadas con la independencia para la realización de actividades de entretenimiento, relajación o socialización, pues las consideran actividades de ocio. No obstante, este tipo de actividades son muy importantes para la calidad de vida de las personas con TRM, ya que son las más reportadas como necesidades cuando se les realiza la valoración médica⁴⁻⁶.

Por lo anterior, se presenta un estudio de caso con dos escenarios, el cual involucra la información de los pacientes evaluados y su valoración diagnóstica a nivel clínico, y detalla el proceso de desarrollo de dos dispositivos de bajo costo. Estos dispositivos fueron elaborados con el objetivo de brindar mayor autonomía e independencia a las personas en situación de cuadriplejía en una actividad de la vida diaria, como controlar el televisor, considerando que es clave brindarle a los pacientes una atención integral, donde se implementen herramientas tecnológicas novedosas que contribuyan a

su autorrealización y satisfacción, y mejoren su calidad de vida^{5, 6}.

INFORMACIÓN DEL PACIENTE CASO 1

El primer participante es un hombre colombiano de 17 años, soltero y cesante con trauma cervical y lesión de la médula espinal a nivel de C4 con clasificación ASIA A⁷. Dicha lesión fue provocada por un siniestro automovilístico en el 2015. Presenta un cuadro de cuadriplejía con función motora y sensitiva únicamente a nivel de hombros y cabeza, capacidad para hablar y para comunicarse con fluidez, sin variabilidad en el tono de la voz ni cansancio de los músculos vocales. A raíz de la lesión, desarrolló escoliosis dorsolumbar izquierda y presenta espasticidad en rodillas y tobillos, especialmente durante el movimiento de plantiflexión. Se evidencia en él una respuesta exagerada de los reflejos. Tras el suceso traumático, estuvo internado durante algunos meses en una institución hospitalaria donde se le practicó una traqueotomía, con el fin de brindar soporte vital con un ventilador mecánico. Durante su estancia en la institución recibió como donación una silla de ruedas convencional fija, que usó hasta principios del año 2017, cuando le fue entregada una nueva silla de ruedas con iguales características. En septiembre de 2017, solicita la formulación de una silla de ruedas neurológica que propicie su independencia en el acto de propulsión; sin embargo, esta le fue negada. Adicionalmente, recibió un dispositivo de asistencia que le permite tener independencia en el manejo del teléfono móvil, contribuyendo a su interacción con otras personas a través de las redes sociales. Cuenta con servicio de salud domiciliario y asistencia de enfermería en jornada diurna. Su núcleo familiar está compuesto por su abuela materna y su hermano mayor. Su actitud frente a la vida es muy positiva, disfruta de la interacción con las personas e invierte su tiempo en actividades de entretenimiento como ver películas, escuchar música y compartir con su familia y amigos; se caracteriza por un comportamiento divertido. Su disposición para las

terapias físicas es muy buena y lo motiva el deseo de dar continuidad a sus estudios.

INFORMACIÓN DEL PACIENTE CASO 2

El segundo participante es un hombre colombiano de 20 años y soltero, con TRM a nivel de C3 debido a una herida por arma de fuego que le fue ocasionada en el año 2015, lo cual lo obligó a dejar sus estudios y estar cesante. De acuerdo con la Asociación Americana del Trauma Raquimedular, su condición se clasifica como ASIA A, debido a que no cuenta con función motora ni sensitiva por debajo del nivel de la lesión. Tras el suceso traumático, estuvo en coma durante un mes y se le practicó una traqueotomía con el fin de brindar soporte vital con un ventilador mecánico, lo cual lastimó su tráquea. En febrero de 2016, se formuló una silla de ruedas neurológica con sistema basculante, lo cual le permitiría estar más cómodo y un manejo más fácil a su familia, mas esta no fue entregada sino hasta febrero de 2017. Como consecuencia adicional a la lesión, su vejiga e intestinos son neurogénicos porque se le realiza cateterismo cada 7 h; presenta episodios de gastritis y cálculos renales. Con el fin de brindarle la posibilidad de respirar por sí mismo, se le implantó un marcapasos diafragmático en marzo de 2017, lo cual mejoró considerablemente el tono de su voz. Su núcleo familiar está compuesto por su padre, su hermana mayor y su abuela materna. Cuenta con servicio de salud domiciliario y asistencia de enfermería en jornada completa. Su actitud frente a la vida es bastante positiva, disfruta mucho ver partidos de fútbol, así como estar en las redes sociales, donde es bastante activo, por lo cual su principal solicitud consistió en un dispositivo que le brindara autonomía, bien fuera para el manejo del control del televisor o de su celular.

VALORACIÓN DIAGNÓSTICA

Las personas fueron evaluadas por medio de una entrevista en el área de Medicina Física y

Rehabilitación de un hospital nivel 3 de la ciudad de Cali, donde fueron detectadas las principales necesidades físicas; entre las más importantes resalta la imposibilidad de manejar de manera autónoma los diferentes dispositivos de entretenimiento del hogar, como teléfonos celulares y televisores.

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL FUNCIONAMIENTO, DE LA DISCAPACIDAD Y DE LA SALUD (CIF)

Con el fin de utilizar un lenguaje común para describir el estado de salud y la condición de los pacientes con relación a esta, se realizó la clasificación CIF⁸ establecida por Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Cabe resaltar que, debido a que las lesiones de ambos pacientes se encuentran en la misma zona (C3 y C4), la clasificación realizada aplica a ambos casos estudiados. La CIF se presenta a continuación:

Actividades y participación

d4 Movilidad

- d430 Levantar y llevar objetos
- d4301.4 Llevar objetos en las manos, limitación completa
- d445 Uso de la mano y el brazo
- d4452.4 Alcanzar

d6 Vida doméstica

- d650 Cuidado de los objetos del hogar
- d6504.84 Mantenimiento de dispositivos de ayuda, capacidad nula
- d698 Vida doméstica, actividades especificadas como usar la TV

d9 Vida comunitaria, social y cívica

- d920 Tiempo libre y ocio
- d9209 Tiempo libre y ocio, no especificado.

Factores ambientales

e1 Productos y tecnología

- e140 Productos y tecnología para las actividades culturales, recreativas y deportivas.
- e1400+2 Productos y tecnología generales para las actividades culturales, recreativas y deportivas

INTERVENCIÓN TERAPÉUTICA

Frecuentemente, las personas que han sufrido una lesión medular presentan una serie de cambios que van desde lo físico hasta la forma en la que se perciben frente a la sociedad, razón por la cual su calidad de vida se ve afectada negativamente por la pérdida de autonomía para realizar cierto tipo de actividades personales y sociales^{5,6}.

Si bien la rehabilitación es un proceso holístico que comprende la parte física, mental y de bienestar, es pertinente que las entidades prestadoras de servicios de salud vayan más allá del reacondicionamiento físico y las terapias de estimulación muscular o articular, complementando el acompañamiento psicológico con la debida atención a las necesidades de entretenimiento y recreación que contribuyen, en gran medida, a la preservación de la salud mental y del estado anímico de los pacientes frente a la situación de adversidad^{9,10}.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, y debido a que los pacientes involucrados en el presente caso de estudio solo han recibido terapia física y escasas sesiones de intervención psicológica al inicio de su tratamiento, se plantea implementar un tipo de dispositivo de asistencia que brinde un mayor grado de independencia al realizar una actividad de la vida cotidiana como controlar el televisor y así poder generar mayor autonomía en la persona, mejorar su calidad de vida e integrarla un poco más en actividades sociales.

SEGUIMIENTO Y RESULTADOS

Para el desarrollo de los dispositivos se siguió la metodología diseñada por Hans Gugelot¹¹, la cual obedece a las siguientes etapas: la primera consiste en la recolección de toda la información posible que resulte pertinente al caso, como las alternativas de solución propuestas previamente; la segunda es la etapa de investigación, la cual comprende la identificación de las necesidades del usuario, un análisis actual de la situación problema y cualquier aporte relevante para el proyecto; la tercera etapa es de diseño y responde a la exploración de diversos conocimientos científicos y de expertos, y a la implementación de una lluvia de ideas que sirva como referente para la generación de propuestas de solución; la cuarta etapa o etapa de decisión determina la solución de mayor funcionalidad, justificando las decisiones tomadas para la elección; la quinta etapa o etapa de cálculo ajusta la solución a las normas vigentes; la última etapa o etapa de construcción del prototipo involucra la realización de pruebas para comprobar la funcionalidad de la alternativa de solución seleccionada y culmina con su implementación.

Considerando lo anterior, para el desarrollo de los dispositivos se realizó inicialmente la revisión del estado del arte, encontrando dispositivos que tienen una funcionalidad similar a los diseñados pero con un costo más elevado y disponibles en el mercado extranjero. Entre los dispositivos analizados se encuentran el dispositivo *TECLA*, con el cual, mediante conexión *Bluetooth*, el modo *Switch Control* y un botón, las personas con parálisis cerebral pueden manejar una *tablet* o celular accionando el sistema con su cabeza; y el sistema *ONE*, que cumple con la función de permitir el fácil manejo de distintos aparatos electrónicos domésticos mediante la presión de un único botón^{12,13}.

Posteriormente, se realizó la identificación de las necesidades expresadas por los usuarios, partiendo de un problema principal que se basa en la imposibilidad de manejar cualquier tipo de dispositivo electrónico convencional de for-

ma autónoma. Por ello, se establece que se requiere el diseño de dispositivos que aprovechen las capacidades del usuario, tales como el habla y el movimiento de la cabeza, para ejecutar tareas de entretenimiento de forma independiente, específicamente, el manejo de un TV convencional.

Con base en la necesidad identificada se determinaron especificaciones, restricciones y criterios de diseño, con el fin de cumplir con las solicitudes de los usuarios, a partir de las cuales y tras un proceso de comparación por pares, donde se priorizaron los atributos, se obtuvieron los dos conceptos de diseño a seguir:

- **Caso 1:** Diseñar un dispositivo que permita el manejo independiente de un televisor, mediante el uso de comando de voz, a una persona en condición de cuadriplejía, el cual deberá ser *portable, recargable, adaptable e inalámbrico*.
- **Caso 2:** Diseñar un dispositivo que permita el manejo independiente de un televisor, utilizando los movimientos de la cabeza, a una persona en condición de cuadriplejía, el cual deberá ser *práctico, seguro, cómodo y estético*.

A partir de los conceptos definidos, se realizó la generación de alternativas de solución, de manera que surgieron tres para cada caso. Seguidamente, se seleccionaron las dos que cum-

plían en mayor proporción con los criterios de diseño establecidos, según la aplicación de la matriz de proceso de análisis jerárquico (*Analytic Hierarchy Process, AHP*)¹⁴, la cual permite hacer una medición a nivel cuantitativo y cualitativo de lo que se busca en cada alternativa mediante la jerarquización de prioridades. La figura 1 presenta el proceso mencionado.

CONTROL DE TELEVISORES COMANDADO POR VOZ PARA PERSONAS CON TRM

El dispositivo diseñado fue un control comandado por voz integrado en una carcasa adaptable a diversas superficies. La tecnología incluía un módulo de captura y reconocimiento de la voz, un microcontrolador, un sistema de emisión y recepción de la señal, un indicador visual y *software* específico.

Las diversas etapas de implementación del dispositivo están representadas mediante el diagrama secuencial de la figura 2. Inicialmente, se definieron los comandos de voz que se asignarían a cada función del televisor, de modo que el participante pudiese autónomamente encender, apagar y silenciar el televisor, cambiar de canal y establecer la intensidad de volumen deseada. Utilizando un micrófono integrado a un módulo de reconocimiento de voz, se solicitó al participante que mencionara cada comando dos veces, de la forma más similar posible, para almacenarlos en el módulo.

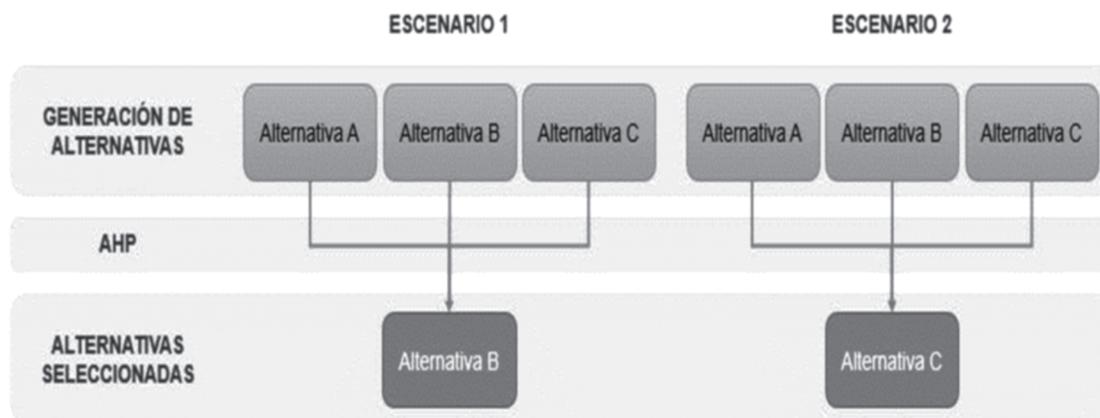


Figura 1. Proceso de selección de las alternativas de solución para cada escenario



Figura 2. Proceso de implementación del control comandado por voz.

Durante la etapa posterior de reconocimiento y procesamiento de los comandos, se utilizó la placa *Arduino* y el *software* open source *Arduino 1.8.5*^{14,15} para asociar cada comando del participante a una función específica del televisor. Para dicha asociación, se realizó una extracción de códigos del televisor empleando un receptor infrarrojo y el emisor infrarrojo integrado en el control original del dispositivo, a través del cual se envía convencionalmente una instrucción para la ejecución de las funciones. Los códigos fueron asignados a los comandos guardados en un programa del *software*.

Con la placa *Arduino* programada y un nuevo emisor infrarrojo conectado a la misma, se verifi-

có la funcionalidad del proceso de recepción de comandos y la comunicación entre el participante y el televisor. Además, se acopló un indicador LED a la placa como herramienta visual para verificar el envío de la instrucción durante el proceso. En esta etapa se constató la correcta captación de los comandos mencionados por el participante, uno a uno; también, se verificó el envío de la instrucción correspondiente a cada comando hacia el televisor y, finalmente, se confirmó el funcionamiento del indicador.

El prototipo final se implementó en piezas de poliestireno de 3 mm de grosor cortadas a láser, con sistema de sujeción de bandas de velcro, un *switch On/Off* y baterías AA (figura 3.B).

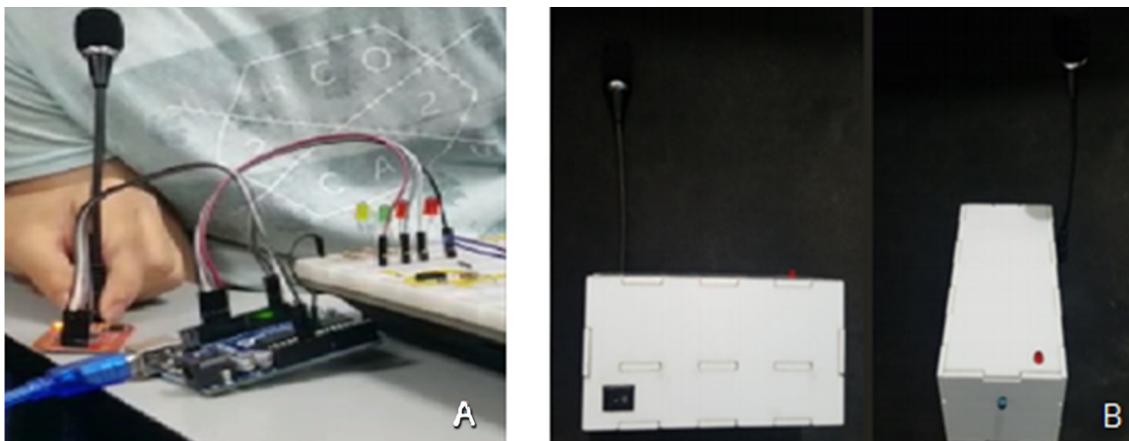


Figura 3. A) Prototipo inicial durante prueba de funcionamiento. B) Prototipo final implementado.

CONTROL REMOTO PARA TELEVISORES ACTIVADO CON MOVIMIENTOS DE LA CABEZA PARA PERSONAS CON TRM

El dispositivo diseñado fue un control remoto que cuenta con 6 botones, conectados a una placa *Arduino* y un diodo LED infrarrojo, los cuales se accionan por pulsación, ubicados sobre una estructura adaptable al descansar cabeza de una silla de ruedas neurológica (figura 4).

La implementación del dispositivo se realizó en diferentes etapas, para las que fue necesario realizar varias visitas al usuario. La primera de ellas estuvo dedicada al análisis del espacio en el que se realiza la actividad, donde se determinaron variables de distancia máxima que habría entre el control y el televisor, el lugar para posicionar la placa electrónica y el infrarrojo, y finalmente la forma y las medidas que debía tener la estructura para acoplarse de la manera más cómoda y funcional al descansar cabeza de la silla de ruedas neurológica.

Posteriormente, se realizó un prototipo en cartón (figura 5.A.) utilizando modelado CAD

en *SolidWorks*¹⁶. Los planos fueron diseñados en *Slicer for Autodesk® Fusion 360™*, las piezas fueron obtenidas por corte láser, y las conexiones electrónicas se realizaron sobre una protoboard.

Durante la segunda visita se obtuvieron los códigos requeridos para la conexión infrarroja y se evaluó el diseño de la estructura. Para la obtención de los códigos, propios del televisor, correspondientes a las acciones de encender, apagar, variar el volumen y cambiar el canal, se usó la placa *Arduino* y su *software* de programación junto a un receptor infrarrojo. Estos códigos se guardaron y se incorporaron en la programación de la placa para ser enviados hacia el televisor cuando se pulse cada uno de los botones y de esta forma se ejecuten las acciones ordenadas. Para la evaluación de la estructura se utilizó el prototipo de cartón, el cual se ubicó en el descansar cabezas de la silla para verificar si las medidas y el diseño eran adecuados. También, se realizaron pruebas de funcionamiento, se analizó si el manejo de los botones seleccionados no representaba un problema para la persona y se probó el funcionamiento del circuito electrónico. Adicionalmente, se tuvo en cuenta la opinión del usuario en cuanto

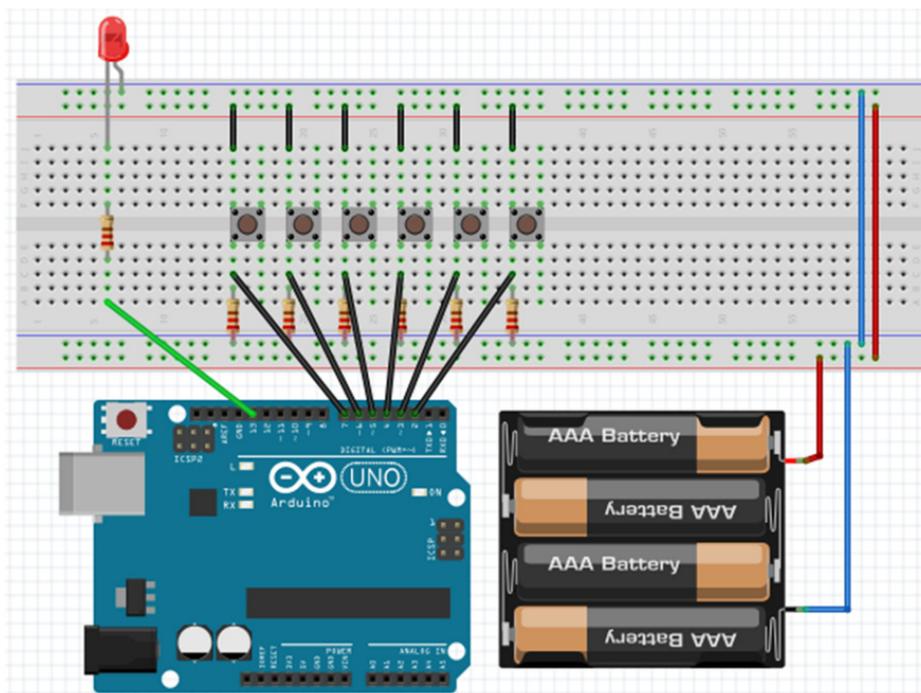


Figura 4. Diagrama de circuito electrónico del control remoto

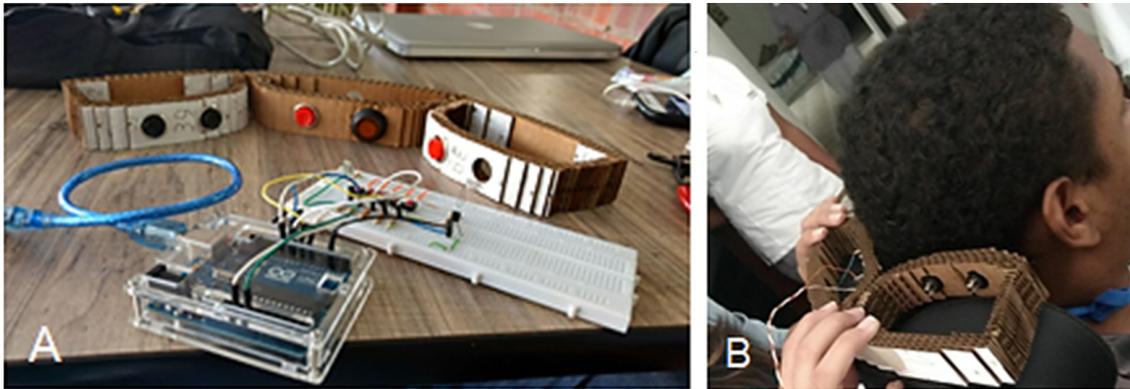


Figura 5. Prototipo funcional en cartón. A) Montaje inicial de circuito y estructura. B) Prototipo en descansa cabezas de silla de ruedas.

a la ubicación y el orden de los botones en la estructura para facilitar su uso.

Posteriormente, se realizaron modificaciones mínimas al diseño de la estructura para lograr un mejor acople al descansa cabeza y se programó la placa *Arduino* de acuerdo con las preferencias de la persona.

Para el prototipo final se implementó una estructura interna de 9 mm de grosor elaborada en MDF, con relleno de Delcron Greña y cubierta de tela Proquitex en color negro, la cual se seleccionó debido a las propiedades antialérgicas para garantizar la integridad de quien haga uso del dispositivo. Se utilizaron botones grandes y fáciles de presionar, iguales a

los utilizados en prototipo, y correas de reata y hebillas tipo *Clic C* para el sistema de sujeción.

El circuito electrónico se protegió dentro de una pequeña caja hecha en MDF de 3 mm, junto con el sistema de alimentación que se encuentra compuesto de 4 baterías AAA recargables. Además, los cables de conexión fueron cubiertos con termoformable para proteger el sistema y reducir los riesgos en su manejo.

Finalmente, se realizó la instalación del dispositivo (figura 6 B) y la prueba de funcionamiento, seguidas por la explicación del manejo al usuario y a las personas involucradas en su cuidado.



Figura 6. A) Dispositivo final. B) Implementación de dispositivo, vista superior. C) Implementación de dispositivo, perspectiva.

DISCUSIÓN

Los dispositivos de asistencia desarrollados cumplieron con el objetivo para el que fueron diseñados, logrando dar a los participantes la oportunidad de tener un manejo autónomo del televisor con funciones básicas como el encendido, el apagado, el cambio del canal y la variación del volumen. Sus costos unitarios de producción no superan el monto de 75 USD, por lo cual pueden ser considerados dispositivos de bajo costo en relación con los dispositivos existentes en el mercado, lo cual permite que un mayor número de personas puedan acceder a este tipo de tecnología.

El control remoto por comandos de voz tiene la capacidad de grabar varios comandos y atribuir una función diferente a cada uno para facilitar el control del televisor si el usuario presenta lesiones mayores que le impidan el manejo de botones. De igual manera, el control remoto manejado con movimientos de la cabeza disminuye el inconveniente de confusión entre comandos a causa del uso de un único botón para realizar todas las funciones al tener varios botones con diferentes funciones asignadas y aprovecha la única estructura corporal con función motora del participante, lo que puede contribuir a que los músculos se mantengan fortalecidos por su uso.

Ambos dispositivos establecen una comunicación inalámbrica; el primero brinda una mayor versatilidad en su posicionamiento sobre diferentes superficies, mientras que el segundo permite su adaptación al cabezal de una silla de ruedas neurológica. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los dispositivos deben estar ubicados de forma que puedan tener contacto directo con el televisor o, de lo contrario, pueden presentarse problemas en la ejecución de sus funciones.

Cabe resaltar que aunque las personas del caso de estudio se encuentran clasificadas dentro de las mismas categorías de la CIF, las alternativas de solución implementadas no deben ser las mismas para ambas, considerando que

debido a la realización de una traqueotomía una de ellas no cuenta con un tono de voz adecuado para manejar comandos de voz; por esto se desarrollaron soluciones personalizadas. Por lo anterior, se deben tener en cuenta siempre las condiciones físicas de cada persona y el entorno en el que se desenvuelve a diario.

Respecto al uso de los dispositivos por parte de las personas se evidenció la necesidad de una etapa de entrenamiento en su manejo, que no superó las 2 horas en ninguno de los casos. De igual manera, esta etapa fue de gran utilidad para definir parámetros de distancia y ubicación de los dispositivos respecto al usuario y el televisor. Posterior a ella, los inconvenientes presentados en el funcionamiento son casi nulos y se encuentran relacionados a factores externos como obstrucción del espacio y distanciamiento del blanco.

PERSPECTIVA DE PACIENTE

Se diseñó una encuesta con el fin de determinar el grado de satisfacción del usuario relacionado con el uso del dispositivo de asistencia de bajo costo entregado, donde se tuvieron en cuenta criterios como: complejidad de uso, comodidad, contribución en la función a suplir y duración de las baterías. Se logró evidenciar que los dispositivos de asistencia cumplen en su totalidad con la función esperada, contribuyendo significativamente con su nivel de independencia para el control del televisor de una manera cómoda y muy fácil de usar; además el tiempo de duración de las baterías fue considerado suficiente, pero con posibilidades de mejora. Finalmente, los usuarios se encuentran satisfechos con las características y beneficios que les brinda el dispositivo de asistencia.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

Se obtuvo la autorización de los pacientes a través de un consentimiento informado en el que se especificó la intención de divulgar y hacer

público el caso clínico correspondiente con propósitos puramente académicos y científicos.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Confidencialidad de los datos

Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos del paciente.

FINANCIACIÓN

Los materiales e insumos empleados para la manufactura de los dispositivos desarrollados fueron completamente financiados por los autores, así como los costos correspondientes a movilidad para las visitas a los participantes en cada caso.

Los servicios de laboratorio requeridos para la manufactura de los dispositivos fueron financiados por la Universidad Autónoma de Occidente.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Wilfredo Agredo Rodríguez. Contribuyó a la concepción de la idea de diseño y a la producción y redacción del artículo candidato a publicación.

Sara Lucía Chilito Rodríguez y César Augusto Molano Valderrama. Contribuyeron al completo desarrollo del caso 1, que condujo a la propuesta de diseño del dispositivo comandado por voz y a la manufactura del mismo. De igual forma, contribuyeron a la búsqueda de información pertinente y relevante que complementa la producción y redacción del artículo candidato a publicación.

María Alejandra Ramírez Torres y Andrés Felipe Zemanate Largo. Contribuyeron al completo desarrollo del caso 2, que condujo a la propuesta de diseño del dispositivo activado con movimientos de la cabeza y a la manufactura del mismo. De igual forma, contribuyeron a la búsqueda de información pertinente y relevante que complementa la producción y redacción del artículo candidato a publicación.

REFERENCIAS

1. Henao-Lema C. Lesiones medulares y discapacidad: revisión bibliográfica/Spinal Cord Injuries and Disabilities: A Review. *Aquichan*. 2010;10(2):157-72.
2. Ministerio de Salud y Protección Social. Sala situacional de las personas con discapacidad (PCD) [Internet]. Noviembre 2017. [Consultado: 20 ene. 2018]. Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/PES/presentacion-sala-situacional-discapacidad-2017.pdf>
3. Organización Mundial de la Salud. Dispositivos y tecnologías de apoyo a las personas con discapacidad [Internet]. [Consultado: 25 may. 2017]. Disponible en: <http://www.who.int/disabilities/technology/es>
4. Hammell K. Exploring quality of life following high spinal cord injury: a review and critique. *Spinal cord*. 2004;42(9):491. DOI: 10.1038/sj.sc.3101636
5. Wood-Dauphinee S, Exner G. Quality of life in patients with spinal cord injury-basic issues, assessment, and recommendations. *Restor Neurol Neurosci*. 2002;20(3, 4):135-49.
6. Nogueira P, Assad S, Larcher M, Spadoti R, Haas V. Sobrecarga do cuidado e impacto na qualidade de vida relacionada à saúde de cuidadores de indivíduos com lesão medular. *Rev Latino-Am Enfermagem* [Internet]. 2012 [Consultado: 10 Abr 2018];20(6). Disponible en: www.redalyc.org DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-11692012000600006>
7. American Spinal Injury Association. International standards for neurological classification of SCI. *Atlanta, GA: American Spinal Injury Association*. 2002.
8. World Health Organization. Clasificación internacional del funcionamiento de la discapacidad y de la salud: CIF. 2001.
9. Franceschini M, Di B, Citterio A, Pagliacci M. Follow-up in persons with traumatic spinal cord injury: questionnaire reliability. *Europa medicophysica*. 2016;42(3):211-8.
10. Loy DP, Dattilo J, Kleiber DA. Exploring the influence of leisure on adjustment: Development of the leisure and spinal cord injury adjustment model. *Leisure Scie*. 2003;25:231-55. <https://doi.org/10.1080/01490400306565>
11. Rodríguez L. *Diseño: Estrategia y táctica*. Edición en español. México: Siglo XXI Editores; 2004.
12. Animal Político. Tecla, el dispositivo creado por un mexicano para que personas con discapacidad usen tablets [Internet]. 2017. [Consultado: 25 may. 2017]. Disponible en: <http://www.animalpolitico.com/2014/07/mexicano-inventadispositivo-para-que-personas-con-discapacidad-usen-tabletas/>.
13. Red Latinoamericana de Diseño. ONE, un control remoto universal para pacientes con discapacidad [Internet]. 2017. [Consultado: 25 May 2017] Disponible en: <http://www.rldiseno.com/one-uncontrol-remoto-universal-para-pacientes-con-discapacidad/>
14. Hurtado T, Bruno G. El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores [tesis de pregrado]. Lima: Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional de San Marcos; 2005.
15. Arduino, Homepage: <http://arduino.cc>.
16. SolidWorks I. Solidworks corporation. *Concord, MA*. 2002.