

Sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz

Mechatronic system for motriz assistance to children with disabilities

GONZALEZ-ISLAS, Juan†*, GODINEZ-GARRIDO, Gildardo y GONZALEZ-ROSAS, Angelina

Universidad Tecnológica de Tulancingo. Camino a Ahuehuetitla 301, colonia las Presas, C.P. 43645 Tulancingo, Hidalgo México

ID 1^{er} Autor: Juan, Gonzalez-Islas / ORC ID: 0000-0002-5631-028, Researcher ID Thomson: I-3392-2018, arXiv Autor ID: MZ7MAG-VRAESY, CVU CONACYT ID: 343166

ID 1^{er} Coautor: Gildardo, Godinez-Garrido / ORC ID: 0000-0002-2190-0660, Researcher ID Thomson: I-4987-2018, arXiv Autor ID: 8GQUZR-P8NFDZ, CVU CONACYT ID: 552521

ID 2^{do} Coautor: Angelina, Gonzalez-Rosas, ORC ID: 0000-0002-5631-0281, Researcher ID Thomson: H-2130-2018, arXiv Autor ID: A6JG8N-XVOGYK, CVU CONACYT ID: 343166

Recibido Septiembre 01, 2018; Aceptado: Diciembre 05, 2018

Resumen

En la actualidad, uno de los problemas sociales en los que la comunidad científica y tecnológica ha centrado su atención es la discapacidad. En este artículo se describe la metodología empleada para el diseño y puesta en marcha de un sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz. El sistema propuesto tiene el objetivo de resolver los problemas inherentes a los sistemas comerciales empleados hoy en día para dicho propósito. El sistema desarrollado está compuesto por una estructura de soporte, subsistemas de soporte de extremidades superiores y torso, un subsistema motriz; y una etapa de comunicación y mando controlada con una aplicación móvil. Inicialmente, el sistema fue diseñado con base en los requerimientos de los especialistas, se modeló en 3D y se realizó un análisis estructural. Posteriormente, se integró y se puso en marcha en el ambiente real. Finalmente, se realizaron pruebas con menores con diferentes tipos de discapacidad y complejión. Los resultados obtenidos por el sistema en las pruebas realizadas, permiten determinar la viabilidad técnica y la factibilidad de utilizar el aparato para asistencia motriz a niños con discapacidad, de manera segura, estable, funcional y ergonómica; y que además disminuye los daños colaterales en el asistente del menor.

Asistencia Motriz, Discapacidad, Sistema Mecatrónico

Abstract

Currently, one of the social problems on which the scientific and technological community has focused its attention is disability. This paper describes the methodology to develop the design and implementation of a mechatronic system for motriz assistance to children with disabilities. The proposed system has the objective of solving the inherent problems to the commercial systems used today for that purpose. The system developed is composed of a support structure, support subsystems of upper extremities and torso, a motor subsystem; and a controlled communication and control stage with a mobile application. Initially, the system was designed based on the requirements of the specialists, modeled in 3D and a structural analysis was developed. Subsequently, it was integrated and put into operation in the real environment. Finally, tests were carried out with children with different types of disabilities and complexions. The results obtained by the system in the tests made, allow to determine the technical feasibility to use the device for motriz assistance to children with disabilities, in a safe, stable, functional and ergonomic way; and that also reduces collateral damage in the minor's assistant.

Motriz Assistance, Disability, Mechatronic System

Citación: GONZALEZ-ISLAS, Juan, GODINEZ-GARRIDO, Gildardo y GONZALEZ-ROSAS, Angelina. Sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz. Revista de Tecnología y Educación. 2018, 2-6: 1-9

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: sack_gi@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2016 vivían en el mundo más de mil millones de personas con alguna forma de discapacidad, cifra que con el paso del tiempo se ha ido incrementando considerablemente. Al 2017, se estimaban aproximadamente 140 millones de personas con discapacidad en la región de las Américas (OPS/OMS, 2017). En este mismo año, en la Organización Panamericana de la Salud (OPS) se lograron avances significativos para mejorar la atención médica a las personas con discapacidad, incorporando además de las áreas de especialidad, a las áreas de recursos humanos y de tecnologías de asistencia. En México, de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), para el 2014 residían en el país más de 7 millones de personas con discapacidad, de los cuales aproximadamente el 2.4% eran niños entre 0 y 4 años. Una de las modalidades de discapacidad con mayor incidencia es la dificultad de motricidad de extremidades inferiores, la cual se reportó en 64.1% de la población en esta condición y de ahí el 36.2% niños entre 0 y 14 años, de acuerdo con los resultados de la Encuesta Nacional de la Dinámica Demográfica 2014, (INEGI, 2016).

Aunque la globalización y los avances tecnológicos como la tecnología adaptativa, han coadyuvado a transitar de manera paulatina hacia una sociedad equitativa e incluyente, para mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad, hace falta mucho por hacer. El bienestar de las personas discapacitadas se verá favorecido en la medida en que las instituciones integren los avances tecnológicos a la vida cotidiana y laboral de este núcleo social (Koon & De la Vega, 2014). Nistal en 2014, ha empleado las Tecnologías de la Información (TIC) para tratamientos de rehabilitación ha logrado reducir el impacto de las condiciones de discapacidad, mejorando las condiciones anómalas ocasionadas por lesiones cerebrales.

En las últimas décadas, la medicina de rehabilitación ha tenido un desarrollo importante, siendo objeto de gran interés en la comunidad médica, científica y tecnológica. Tal y como lo planteamos en el desarrollo de esta investigación mediante el diseño de un sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz.

1. Planteamiento del Problema

La cantidad de personas con algún tipo de discapacidad en el mundo sigue creciendo considerablemente. Esto se debe al aumento de personas con discapacidad, al crecimiento de la población de adultos mayores y al incremento de enfermedades crónico degenerativas, así como a la prevalencia del estado de pobreza en la población (WHO, 2011). Sin embargo, una de las poblaciones más vulnerables y que requieren mayor atención es la niñez.

La discapacidad es una condición que hace que el ser humano enfrente muchas barreras para lograr ser incluido en igualdad de condiciones en la sociedad, en términos de educación, empleo, vida social, política y salud. (OPS/OMS, 2017). Según la OMS los principales obstáculos a los que se encuentran esta población son: Políticas y estándares inadecuados, falta de provisión de servicios y financiamiento, actitudes negativas, problemas con el servicio de entrega, falta de accesibilidad y estadística adecuada.

La atención temprana a las discapacidades del ser humano, permite mejorar su calidad de vida y rehabilitación desde sus primeros años de vida. La marcha es uno de los principales retos dentro de la edad temprana de niños con discapacidad psicomotriz.

Generalmente, en la mayoría de centros de Rehabilitación del país, para la asistencia motriz a niños con discapacidad se emplean andaderas comerciales como las mostradas en la figura 1.



Figura 1 Andaderas comerciales utilizadas para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz

Las andaderas mostradas en la figura 1, son diseños a escala de las empleadas para asistencia motriz de adultos.

Sin embargo, en la práctica dichas andaderas no son utilizadas debido a los problemas inherentes al peso, diseño, ergonomía y estética de las mismas. Lo que implica que estos sistemas sean inseguros, inestables, disfuncionales y no ergonómicos.

Los arcos estructurales de las andaderas no proveen la estabilidad requerida por el sistema, ya que no cuentan con un ángulo de inclinación en las bases, ni un sistema estructural compensatorio del punto de equilibrio, lo que hace que el mecanismo pierda estabilidad debido a la mala ubicación del centro de masa del sistema durante el ciclo de marcha.

En la práctica, otro problema funcional de este tipo de aditamentos es que los usuarios no se apoyan en la parte lateral de la andadera como lo hacen los adultos, sino en la parte frontal, lo que implica que los menores al no tener la fortaleza para sostenerse y trasladar por sí mismos el dispositivo, muy a menudo sufran accidentes y daños físicos y emocionales de consideración.

Para evitar los problemas anteriores, durante la asistencia del ciclo de marcha de los menores con discapacidad en los ambientes de rehabilitación y en el hogar, se requiere de un asistente humano que haga las funciones de traslado y manejo de la andadera; y cuidado y soporte del menor. Por lo que al final, el proceso resulta ineficiente y debido a las condiciones de operación se originan daños colaterales en el asistente.

Finalmente, el diseño propuesto en las andaderas comerciales para asistencia de menores, no ha considerado la estimulación emocional y ergonomía para el usuario, por lo que las vuelve hostiles y limita la colaboración del menor en el proceso de rehabilitación.

Para resolver la problemática planteada, en este trabajo de investigación se propone un sistema mecatrónico controlado con una aplicación móvil para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz, ergonómico, funcional, seguro, estable, que evita los daños colaterales al asistente y que mejora los resultados en el proceso de marcha del paciente.

2. Trabajo Relacionado

En la actualidad, debido a múltiples factores la discapacidad ha tomado demasiada importancia para el mundo. El objetivo de las naciones es transitar paulatinamente hacia una sociedad incluyente y equitativa, que mediante la cultura, infraestructura y tecnología se mejore la calidad de vida de este sector de la población.

En el mercado existen varios tipos de andaderas, las cuales ayudan a moverse a las personas con discapacidad motriz transitoria o estacionaria en extremidades inferiores, derivada por envejecimiento, accidentes o enfermedad. Algunas andaderas comerciales que resuelven parcialmente el problema de subir y bajar escaleras y rampas se presentan en los documentos (US Patente n° US3176700A, 1966), (US Patente n° US3421529A, 1967) A, (US Patente n° US5740825A, 1997) y (US Patente n° US3455313A, 1967). Sin embargo, tienen problemas de traslado y asistencia del usuario.

Recientemente, las andaderas han incorporado ruedas en sus bases delanteras y/o traseras, para facilitar el traslado de las mismas y mitigar el esfuerzo requerido por los usuarios (US Patente n° US4312505A, 1980), (1990 Patente n° US5020560A, USA), (US Patente n° US5800317A, 1994), (US Patente n° US5603517A, 1994). Aunque, se mejora de manera considerable la movilidad del dispositivo, el diseño estructural, la complejidad del armado y transportación, la falta de ergonomía, estabilidad, funcionalidad y seguridad sigue presente, supeditando el funcionamiento del sistema a las capacidades de control y físicas del usuario.

Un problema inherente en el uso de andaderas para asistencia motriz es el transporte de las mismas, de ahí que existe una necesidad de diseñar sistemas modulares, ajustables y reconfigurables como el presentado en (US Patente n° US20140109943A1, 2012).

Todas las andaderas mencionadas, están diseñadas para usuarios que tienen la capacidad de apoyarse sobre la andadera y avanzar, así como trasladarla por sí mismos. Pero en el caso de menores sin esta capacidad estos mecanismos no funcionan, y una opción sería usar sillas de ruedas motorizadas.

Es por ello, que en este trabajo de desarrollo tecnológico se plantea el diseño y puesta en marcha de un sistema mecatrónico motorizado para la asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz, controlado de manera inalámbrica con un teléfono inteligente, seguro, funcional, ergonómico y estable

Metodología

En esta sección se describe a detalle, la metodología empleada para el desarrollo del proyecto. La figura 2 muestra un diagrama a bloques de las etapas del proyecto.

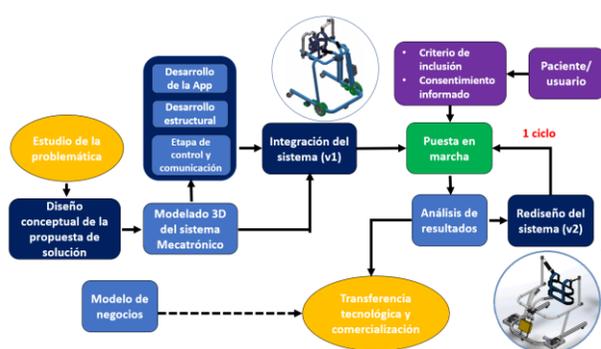


Figura 2 Metodología empleada para el desarrollo del proyecto del sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz

Como se observa en la figura 2, el punto de partida del proyecto es el estudio de la problemática de las andaderas comerciales empleadas para la asistencia a niños con discapacidad psicomotriz en el ciclo de marcha, la cual ya se ha descrito en el planteamiento del problema. La observación se realizó durante varias sesiones del grupo de niños con discapacidad psicomotriz en la etapa marcha inicial, en el área de estimulación temprana en el Centro de Rehabilitación Integral del Estado de Hidalgo (CRIH).

Posteriormente, el equipo de trabajo procedió a realizar una propuesta de solución a los problemas planteados con base en los requerimientos técnicos, fisioterapéuticos y normativos. El diseño conceptual de la solución contempla el proceso de modelado, manufactura y mantenimiento del sistema.

1. Descripción del Sistema

El sistema mecatrónico para asistencia motriz, incorpora motores y ruedas en la base para el traslado automático del paciente y se controla mediante una App.

Se integran dos subsistemas de apoyo y soporte para brindar la seguridad requerida para el usuario. En la figura 3 se muestra el plano de la vista en perspectiva de la versión 1 del sistema en cuestión.

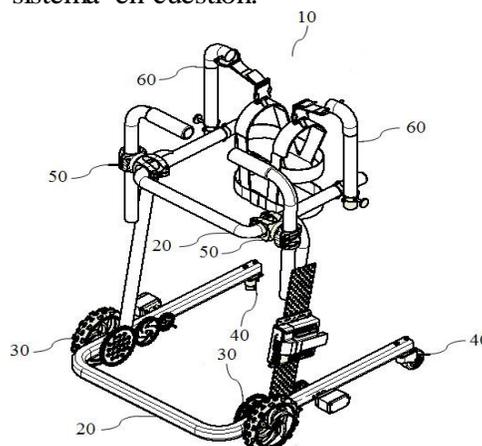


Figura 3 Plano de la vista en perspectiva del sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz

En la figura 3 se presenta el plano de diseño del sistema completo (10) v1, el cual se integra por la estructura (20) que provee el soporte de todo el conjunto; el mecanismo motorizado de transmisión de movimiento (30), ya que hasta ahora no existe un sistema para el mismo propósito que integre un sistema con motores para el traslado del dispositivo.

Para que el conjunto gire 360° en ambos sentidos, se integra un mecanismo de ruedas giratorias (40). Para brindar seguridad y autonomía en sus movimientos al usuario se integra un soporte flexible (arnés) y adaptable a la parte superior del cuerpo del usuario (60). El soporte para las extremidades superiores (50) permite al usuario sostenerse al sistema con sus propias manos, lo que le presta seguridad, confiabilidad y autonomía durante el ciclo de marcha.

A. Modelado 3D

El diseño asistido por computadora (CAD por sus siglas en inglés) es una metodología en la cual la computación es empleada para crear diseños que pueden ser usados en los sectores productivo o social. Muchos productos se pueden diseñar con medidas precisas y el CAD ha evolucionado para facilitar el proceso de manufactura, comprensión y diseño de sistemas, sin tenerlos que desarrollar físicamente, con las implicaciones técnicas y económicas que esto conlleva (Flatworld-Solutions-Pvt, 2018).

En la figura 4 se ilustra la vista explosionada del modelo 3D del sistema v1, generado para la conceptualización y análisis de la interacción de todos y cada uno de los elementos del sistema.

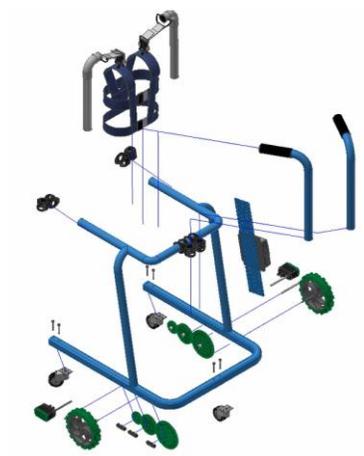


Figura 4 Explosión de la vista en perspectiva del modelo 3D del sistema mecánico para asistencia motriz

Posteriormente, para predecir la reacción del sistema mecánico ante las fuerzas, la vibración, el calor, el flujo de fluidos y otros efectos físicos del mundo real, se realizó un análisis de elemento finito al modelo 3D de la Versión 1.

Después de haber puesto en marcha el sistema v1 y analizar sus prestaciones, se hizo un rediseño para mejorar el desempeño y atender las recomendaciones de los especialistas. En la figura 5 se muestra una vista renderizada de la perspectiva del modelo 3D de la versión 2 del sistema.

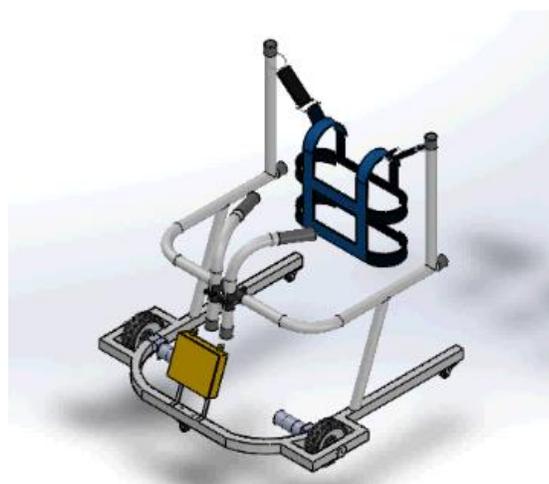


Figura 5 Vista renderizada de la perspectiva del modelo 3D de la versión 2 del sistema

Los principales cambios realizados en la versión 2 consisten en la modificación en la parte estructural superior, en el soporte de las ruedas, en la flexibilidad de altura de los postes y la altura del arnés; y las etapas de control y comunicación son de diseño propio.

B. Aplicación Móvil (App)

Los teléfonos inteligentes se han vuelto una necesidad del ser humano. Actualmente, los utilizamos para realizar muchas actividades de entretenimiento, de la vida cotidiana, fitness, salud, entre otras. Se estima que en la actualidad existen más de 40,000 aplicaciones móviles en los campos de salud (Derhon, Santos, Brandalize, Brandalize, & Rossi, 2017).

Uno de los problemas detectados en el uso de andaderas comerciales empleadas en la asistencia motriz a menores en el ciclo de marcha, son los daños colaterales causados en el asistente del menor. Por eso, la versión 2 del sistema propuesto emplea una App para controlar todo el sistema. La App fue desarrollada en ©Basic for Android y en la figura 6 se muestra una vista de la interfaz.

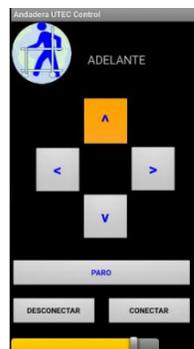


Figura 6 Interfaz visual de la aplicación móvil empleada para el control del sistema

La App se vincula con el dispositivo de acceso personal mediante el protocolo bluetooth. El control de la dirección de la andadera emplea un modo de control on-off con botones pulsadores, de manera intuitiva y de fácil acceso para el asistente.

C. Desarrollo Estructural

Una de las partes más importantes del sistema es la estructura de soporte de la parte superior del cuerpo y las extremidades superiores del usuario.

El sistema requiere un tubular cuadrado para la base inferior y un tubular redondo para la base superior y los postes.

Las bases inferior y superior tienen forma de "U" con ángulos de 90° con radios de disipación de 5 mm. La base inferior se fabricó con tubular cuadrado (PTR GDO A36 DE 1"X1" CAL.14. Norma SAE, AISI) y se une con la base superior por medio de dos postes fabricados con tubular (REDONDO ASTM A-36 DE 1", Norma SAE, AISI. Finalmente, la estructura se integra de un sistema motriz y ruedas giratorias.

D. Etapa de Comunicación y Control

Uno de las etapas más importantes que supedita el funcionamiento del sistema y que implica la aportación innovadora del sistema es la etapa de comunicación y control. Dicho subsistema en la versión 1 se compone de una tarjeta de adquisición de datos de entradas/salidas digitales/analógicas cortex vex®, un módulo bluetooth de transmisión de datos y un control remoto para el mando inalámbrico.

En la versión 2 del sistema se emplea una App para el control de los motores, los cuales se alimentan por una batería recargable de 9VDC, con una autonomía entre 10 y 15 minutos en demanda máxima.

1.1 Modelo de Negocios

En este proyecto se ha empleado el modelo de negocios CANVAS para determinar la factibilidad económica y financiera. Para consolidar la fase de transferencia tecnológica y comercialización de un proyecto, hoy en día es muy importante la factibilidad del modelo de negocio.

De acuerdo a la metodología TRL que permite determinar el nivel de maduración tecnológica, el sistema mecatrónico se encuentra en el nivel 7 (desarrollo de sistemas y subsistemas), el cual consiste de la demostración del sistema en el entorno operativo para el que fue diseñado, obteniendo muy buenos resultados, lo que ha permitido determinar su factibilidad técnica y viabilidad económico financiera.

Resultados

Los resultados obtenidos por el sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz, han demostrado su factibilidad técnica.

Para predecir la reacción del sistema mecatrónico ante las fuerzas, la vibración y algunos efectos físicos, se realizó un análisis de elemento finito al modelo 3D de la Versión 1. En dicho análisis se aplicaron fuerzas a la estructura, en primera instancia sobre la base superior en tres puntos estratégicos como lo muestra la figura 7 izquierda, resultando fuerzas promedio de 392.256 N (40KgF) en un arrastre lineal.

En la derecha de la figura 7, de color azul se muestra que los materiales empleados no tienen ningún esfuerzo con respecto de la carga, de color amarillo se muestra la zona crítica, en la cual se obtiene un desplazamiento de 6mm sobre el nivel del piso lo cual no afecta al sistema debido a que el movimiento de arrastre es hacia el frente, esta última medida es variable a la fuerza del usuario y a la velocidad de los motores.

No existen puntos de ruptura ya que la fuerza aplicada es menor a la que tiene la resistencia y elasticidad del material como lo indica la norma. Los resultados obtenidos del análisis de las propiedades de la estructura se realizaron empleando acero como material, obteniendo una densidad de 7.85 g/cm³, una masa 8.98866 kg, un área de 3801.09 cm², volumen de 1145.05 cm³ y el centro de gravedad (x=-19.952, y=26.738, z=20.5249) cm.

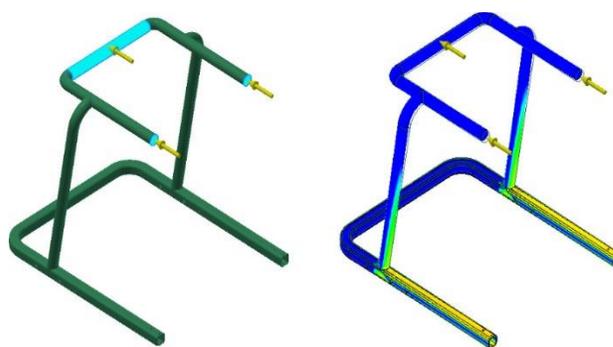


Figura 7 Vistas del análisis estructural de elementos finitos realizados al sistema. Izquierda) Fuerzas aplicadas a la base superior. Derecha) Resultados del análisis

Para evaluar el funcionamiento de las 2 versiones del sistema mecatrónico para asistencia motriz, se realizaron varias pruebas en el área de estimulación temprana del CRIH. Para ello, primero se determinó de manera cualitativa junto con los fisioterapeutas el criterio de inclusión basado en el comportamiento psicomotriz del menor con el uso del sistema. Una vez que los usuarios fueron susceptibles, se procedió a firmar un consentimiento informado para el uso de los resultados.

El primer sistema fue probado con 3 niños, 2 de ellos con Parálisis Cerebral Infantil (PCI) y uno más con síndrome de Down. Con estaturas promedio de 1 m y pesos entre 12 y 24 kg. Se hicieron rutinas de trayectorias rectas y en los 3 casos la mamá (asistente) pudo controlar el sistema con el control remoto. En los 3 casos fue posible asistir a los menores para que desarrollaran entre 5 y 10 ciclos de marcha. La distancia recorrida fue diferente debido al grado de inhabilitación psicomotriz de los menores. Sin embargo, el sistema resultó estable, funcional, seguro y ergonómico para el usuario y el asistente. Algo que hay que resaltar que el sistema mecatrónico supera por mucho a las andaderas comerciales en términos de estimulación para realizar la rutina y alcanzar la autonomía durante la marcha. En la figura 8 se muestra una fotografía del momento en que se asiste a un menor empleando el sistema propuesto.



Figura 8 Vistas fotográficas frontal y posterior de la rutina de la asistencia motriz a un menor durante el ciclo de marcha mediante el sistema mecatrónico en un ambiente real

Algunos de los principales aditamentos y que aportan a la estabilidad, seguridad y ergonomía del usuario son: el arnés y el apoyo de extremidades superiores, aunado a todo el sistema de traslado automático.

Sin embargo, los salientes de la estructura de soporte del arnés fueron disfuncionales, ya que ponían en riesgo la seguridad del usuario al quedar muy cerca de su cabeza; el ruido de los motores empleados molestaba a uno de los usuarios. Además, se hizo indispensable para el sistema la flexibilidad en la altura de los postes laterales y del agarre del arnés, para variar la altura dependiendo el usuario.

Por lo que se rediseñó el mecanismo de transmisión para mejorar la estabilidad y robustez del sistema y las etapas de control y comunicaciones fueron de desarrollo propio, controlados con una App. En la figura 9, se pueden observar 2 fotografías de la asistencia motriz con el sistema rediseñado, el cual resolvió los problemas encontrados en la versión 1.



Figura 9 Vistas fotográficas de la asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz mediante el sistema mecatrónico v2 en un ambiente real

El desempeño de la versión 2 del sistema se evaluó en el mismo escenario real, se asistió durante el ciclo de marcha a 5 menores con diagnóstico médico de PCI, la estatura promedio osciló entre (0.9 y 1.2) m, con un peso de entre (11 y 24) y con una edad entre (1 y 2.5) años. El desempeño obtenido por la v2 del sistema mejoró en términos de estabilidad, seguridad y ergonomía, aunado al resultado positivo en el uso de la App por el mismo asistente para el control del sistema.

Finalmente, El modelo de negocios desarrollado permite determinar la factibilidad económica-financiera del producto para su comercialización. El punto en el que se encuentra el proyecto es en la etapa de transferencia tecnológica y comercialización, para que se emplee para el propósito que fue diseñado.

Conclusiones

En este trabajo se ha presentado la metodología para el desarrollo de un sistema mecatrónico para asistencia motriz a niños con discapacidad psicomotriz durante el ciclo de marcha, que cumple con los requerimientos técnicos, médicos y normativos. El sistema ha sido desarrollado por un equipo multidisciplinario y se basa en la integración de componentes mecatrónicos.

Se ha descrito de manera detallada cada una de las etapas de la metodología empleada. Adicionalmente, se han presentado resultados que muestran la efectividad del sistema propuesto para la asistencia motriz. Dichos resultados se obtuvieron evaluando el sistema en escenarios reales correspondientes a Centros de Rehabilitación en las áreas de estimulación temprana. El sistema mostró su capacidad para asistir en la marcha a usuarios de entre (0.9 y 1.2) m y con un peso menor de 25 kg, de manera eficiente, ergonómica, estable y segura, apoyando la autonomía del menor en la marcha y la disminución de esfuerzo del asistente.

Finalmente, aunado a la factibilidad técnica los resultados obtenidos por la propuesta del modelo de negocios, han permitido determinar de manera la viabilidad económica y financiera para la transferencia tecnológica y puesta en marcha del sistema motriz en el ámbito comercial.

Recomendaciones

Para el uso eficiente del sistema primero es necesario determinar si el usuario es susceptible de usar el sistema mediante el criterio de inclusión, basado en el diagnóstico terapéutico y en las propiedades físicas como peso y estatura permisibles. Es necesario seguir el procedimiento de encendido, vinculación y puesta en marcha del sistema.

El trabajo futuro incluye, realizar mejoras en el sistema basadas en conceptos de estimulación auditiva y visual para el usuario y un sistema de evaluación y diagnóstico automática, que permita a los usuarios y especialistas determinar el grado de avance del paciente.

Referencias

- Accetta, R. W. (1994). US Patente n° US5800317A.
- Brunengo, P. J. (1997). US Patente n° US5740825A.
- Cass, T. J. (1991). GB Patente n° GB2261173A.
- Derhon, V., Santos, R., Brandalize, M., Brandalize, D., & Rossi, L. P. (2017). Intra-and inter-examiner reliability in angular measurements of the knee with a smartphone application. *Human Movement*, 18(2), 38-43.
- Drury, J. J. (1966). US Patente n° US3176700A.
- Engelhart, R. E. (1980). US Patente n° US4312505A.
- Fang, J. (2012). US Patente n° US20140109943A1.
- Flatworld-Solutions-Pvt. (2018). outsource2india. Recuperado el 6 de agosto de 2018, de 5 latest trends in CAD technology: <https://www.outsource2india.com/eso/mechanical/articles/latest-trends-cad-technology.asp>
- INEGI. (2016). La discapacidad en México, datos al 2014. Aguas Calientes, México.: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (México).
- King, H. L. (1967). US Patente n° US3455313A.
- Koon, R. A., & De la Vega, M. E. (2014). El impacto tecnológico en las personas con discapacidad.
- Lorman, S. (1994). US Patente n° US5603517A.
- Nistal, F. F. (2014). Nuevas tecnologías para la atención a personas con discapacidad de origen neurológico. *Revista Española de Discapacidad*, 2(1), 233-236.
- OPS/OMS. (2017). Pan American Health Organization. Obtenido de 3 de diciembre 2017. Día Internacional de las Personas con Discapacidad.

Turbeville, R. (USA). 1990 Patente nº
US5020560A.

Vestal, R. A. (1967). US Patente nº
US3421529A.

WHO. (2011). World Reporte on disability.
Malta: World Health Organization.