

## Desarrollo de dispositivos de rehabilitación para discapacidad motriz centrados en el usuario

Development of user-centered rehabilitation devices for people with motor disabilities

Marlon Miranda-Bañuelos<sup>1</sup>, Cesar Omar Balderrama-Armendáriz<sup>1\*</sup>, Aide Aracely Maldonado-Macias<sup>2</sup>, Erika Guadalupe Meraz-Tena<sup>3</sup>, David Cortés-Sáenz<sup>1</sup>, Juan Luis Hernández-Arellano<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Diseño, Instituto de Arquitectura Diseño y Arte, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

<sup>3</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica y Computación, Instituto de Ingeniería y Tecnología, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez.

Ciudad Juárez, Chihuahua, México. CP. 32340.

Tel. +52 (656) 688-4820 ext. 4568, cesar.balderrama@uacj.mx

\*Autor de correspondencia

### Resumen

Este artículo plantea una propuesta para el diseño de dispositivos de rehabilitación basada en el diseño centrado en el usuario implementando métodos de la ergonomía y el diseño. A través de estudio de caso, se ejemplificaron las actividades de diseño y se valoró la propuesta mediante un análisis biomecánico, descartando riesgos de lesión por exceder las capacidades de flexibilidad de las articulaciones, mientras que un análisis postural descartó riesgos (nivel de actuación 2) en extremidades superiores por malas posturas durante la utilización del dispositivo. Se valoró la fuerza requerida para la utilización de la ayuda funcional y se analizaron los rangos de movimiento, velocidad y ángulos. En conclusión, la estructura de la propuesta se puede tomar como una alternativa para el desarrollo de dispositivos de rehabilitación en personas con discapacidad en las extremidades inferiores.

**Palabras clave:** Diseño para discapacidad; ayuda técnica; dispositivos de rehabilitación; métodos de diseño; paraplejía.

### Abstract

This article presents a proposal based on user-centered design implementing ergonomics and design methods for developing physical rehabilitation devices. Through a case study, the proposal showed the design activities and its evaluation employing a biomechanical analysis to avoid risks of injury due to the joints' exceeding flexibility capacities. A postural analysis discarded risks (performance level 2) in the upper extremities due to poor posture while using the device. The force required to use the assistive device was assessed, and the ranges of motion, speed, and angles were analyzed. In conclusion, the structure of the proposal can be taken as an alternative for developing rehabilitation devices for people with disabilities in the lower extremities.

**Keywords:** Disability design; assistive device; rehabilitation devices; design tool; paraplegia.

Recibido: 04 de agosto de 2022

Aceptado: 21 de abril de 2023

Publicado: 21 de junio de 2023

**Cómo citar:** Miranda-Bañuelos, M., Balderrama-Armendáriz, C. O., Maldonado-Macias, A. A., Meraz-Tena, E. G., Cortés-Sáenz, D., & Hernández-Arellano, J. L. (2023). Desarrollo de dispositivos de rehabilitación para discapacidad motriz centrados en el usuario. *Acta Universitaria* 33, e3665. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2023.3665>

## Introducción

El tema de la actividad física en los individuos ha sido ampliamente documentado en todas sus dimensiones. En el caso de la discapacidad física, los estudios al respecto son más limitados que los realizados en personas sin discapacidad y los resultados generales apuntan igualmente a que los grupos con diversidad funcional pueden aprovecharse de los beneficios de la actividad física sobre la salud general (Casajús & Vicente-Rodríguez, 2011). Las personas con discapacidad pueden lograr importantes beneficios para la salud y el estado físico a partir de la actividad (Ginis & West, 2021), además de moderar los efectos indirectos de la discapacidad (Hao *et al.*, 2021) y reducir la probabilidad de caer en otra discapacidad (Keramat *et al.*, 2021). Un programa de rehabilitación física, sistemático e intensivo puede lograr la disminución del proceso de las posteriores afectaciones (Hidalgo, 2017), mejorando la calidad de vida de los pacientes (Okoye *et al.*, 2022).

La discapacidad afecta a aproximadamente más de mil millones de personas en el mundo y representa un 15% de la población mundial que se ve afectada por algún tipo de dificultad para funcionar (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2020). De acuerdo con el Banco Inter-Americano de Desarrollo (BID), en Latinoamérica y el Caribe las personas con discapacidad representan el 13% (Duryea *et al.*, 2019), mientras que en México representan el 6.4% de la población del país; es decir, aproximadamente 7.65 millones de personas viven con algún tipo de discapacidad, siendo la motriz la de mayor porcentaje, con un 37.32% (Secretaría de Desarrollo Social [Sedesol], 2016).

La atrofia del músculo esquelético y la disminución de la masa magra son características clave después de una lesión de médula espinal. En unas pocas semanas después de la lesión de médula espinal, hay más del 40% de pérdida en el tamaño del músculo esquelético en la extremidad inferior, además de que el proceso de pérdida continúa en la masa muscular a medida que el proceso de envejecimiento continúa (Gorgey, 2014). Las personas físicamente activas con lesión de médula espinal tienen un menor riesgo de desarrollar complicaciones secundarias, como pueden ser las infecciones del tracto urinario, úlceras por presión y enfermedades respiratorias. Además, la actividad física también puede ayudar a reducir los problemas como la espasticidad, el aumento de peso y el dolor crónico (Gilbert, 2015). Con la movilización pasiva de las extremidades inferiores en un amplio rango de movimiento, se observa un aumento en la irrigación sanguínea hacia estas, y con el estiramiento-acortamiento rítmico del músculo esquelético aumenta el flujo de sangre a la región movida (Burns, 2015).

En personas con una lesión de médula espinal, la combinación de inmovilidad, atrofia muscular, actividad física reducida, desregulación autonómica y, lo más importante, falta de retroalimentación sensorial conduce al desarrollo de úlceras de presión en el 40% de esta población dentro de los seis meses posteriores a la lesión. También, la incidencia de úlceras de presión durante la vida de las personas con lesión de médula espinal es aproximadamente del 85%, con un 7%-8% de personas que mueren por complicaciones relacionadas con estas (Burns, 2015).

Los expertos coinciden en que el empleo del ejercicio físico es un factor primordial para la formación, desarrollo y reeducación de las habilidades motrices y capacidades físicas que afectan a los pacientes (Hidalgo, 2017). Con los ejercicios para mantener y mejorar el rango articular realizados mediante movimientos pasivos, se debe tomar en cuenta el arco de movimiento de cada una de las articulaciones (flexión, extensión, abducción, aducción, rotación, etc.), y se debe intentar que estas abarquen la mayor amplitud de forma suave (Palma *et al.*, 2014). Las tecnologías de asistencia se refieren al uso de herramientas prácticas que incrementan independencia de las personas discapacitadas. Estas corresponden a cualquier parte, equipo, productos o sistemas adquiridos o modificados que se utilizan para aumentar, mantener o mejorar las capacidades funcionales de las personas (Larco *et al.*, 2021).

El presente artículo plantea la integración de diversos métodos de diseño y de ergonomía para desarrollar dispositivos de terapia y ejercicio con el fin de satisfacer necesidades de personas con discapacidad en las extremidades inferiores. Su implementación se hace evidente por medio de la creación de un dispositivo como ayuda técnica de terapia física, proponiendo cuatro etapas para el desarrollo formal del diseño basado en el usuario. Lo anterior se propone con la finalidad de proporcionar una guía que sirva de base para posteriores trabajos que busquen desarrollar ayudas funcionales para este segmento de la población.

## Materiales y métodos

En el estudio de caso, las fases de diseño fueron desarrolladas a través del modelado 3D por medio del *software* SolidWorks, y como inicio del análisis biomecánico, se estudió la postura adoptada utilizando el *software* 3DSSPP para evaluar la demanda física de la tarea realizada. Un equipo de sistemas de cámaras Optitrack se empleó con el *software* Motive Optitrack en el registro de movimientos de video para posteriormente utilizar el *software* de cinemática lineal Kinovea, para el análisis de movimiento y medición angular, con la finalidad de descartar riesgos de daños o lesiones al utilizar el dispositivo diseñado. En el caso de medición de fuerzas del dispositivo de rehabilitación, se trabajó con un ergómetro marca Ergo FET 500 y el *software* Ruler de la página web de Ergonautas para la evaluación postural.

El proceso de diseño que se utilizó en esta investigación está inspirado en la teoría de diseño centrado en el usuario, la cual a su vez "está basada en sus necesidades e intereses, con especial hincapié en hacer que los productos sean utilizables y comprensibles" (Norman, 2018). El diseño centrado en el usuario ha sido objeto de estudio de estándares internacionales, principalmente en la norma ISO 9241-210 (International Organization for Standardization [ISO], 2019), la cual reemplaza a la ISO 13407:1999 y fue desarrollada para los sistemas de *software* y *hardware* de cómputo interactivos.

## Planteamiento del procedimiento metodológico

Con base en la teoría del diseño centrado en el usuario (apoyándose en la norma ISO 9241-210) y otras técnicas y métodos aplicadas al diseño, se desarrolló un proceso metodológico para alcanzar una solución de diseño que cumpla con las necesidades de las personas paraplégicas (Figura 1).

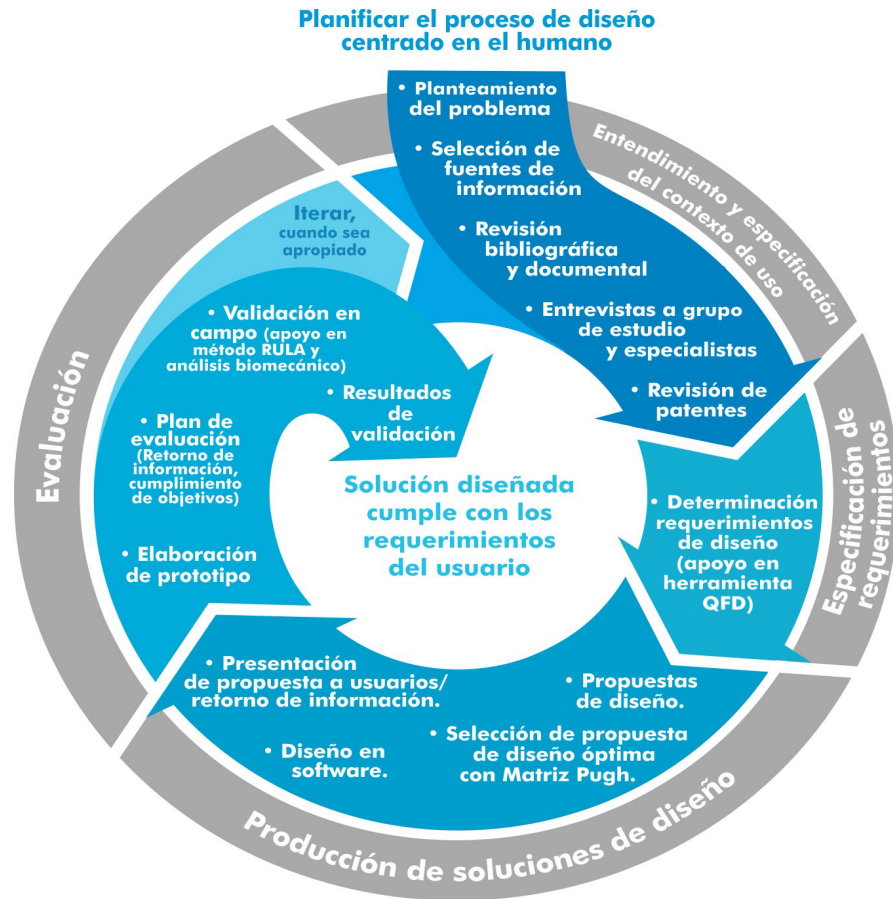


Figura 1. Propuesta metodológica centrada en el usuario.  
Fuente: Elaboración propia.

### Etapa 1. Entendimiento y especificación del contexto de uso

En esta etapa de la metodología, se debe obtener la información necesaria sobre el usuario, sus características físicas, capacidades, necesidades, entorno social, etc. Los pasos y procedimientos establecidos aquí fueron los siguientes:

- Planteamiento del problema: Delimitar el tema de estudio, justificando la relevancia del tema y entendiendo cómo se puede resolver a través del diseño de un dispositivo.
- Selección de fuentes de información: Buscar y clasificar información relacionada.
- Revisión bibliográfica y documental: Filtrar información para establecer los parámetros técnicos que debe cumplir el diseño, incluyendo normas generales y especializadas, además de patentes.
- Entrevistas a grupo de estudio y especialistas: Entrevistar personas que ayuden a identificar las necesidades directas del usuario.
- Revisión de patentes: Realizar una búsqueda de anterioridades que puedan estar relacionados con el objeto a diseñar.

## Etapa 2. Especificación de requerimientos

En esta etapa se determinan los requerimientos de diseño, tales como las características funcionales, la operación y los aspectos relativos a seguridad, esto con apoyo del método de despliegue de la función de calidad (QFD, por sus siglas en inglés *quality function deployment*), el cual utiliza una matriz para asignar los requisitos del usuario a las especificaciones del sistema; la matriz permite a los diseñadores ver el grado en que su trabajo satisface las necesidades del cliente (Wickens *et al.*, 2014).

## Etapa 3. Producción de soluciones de diseño

Se producen soluciones de diseño basadas en los requerimientos obtenidos en la etapa anterior, las cuales, a su vez, se obtienen con el análisis de los pasos realizados en la primera etapa como la revisión de patentes y los resultados de las entrevistas. El orden para cumplir con esta etapa fue el siguiente:

- Propuestas de diseño: Considerando los datos del QFD, proceder a la etapa creativa del proyecto, hacer bocetos del producto en los que se vean reflejados los requerimientos, y priorizar los de mayor calificación.
- Selección de la mejor propuesta con la matriz Pugh: Utilizar la matriz para la toma de decisiones al comparar las posibles soluciones generadas en las propuestas de diseño.
- Modelado en *software* de diseño: La propuesta de diseño determinada como mejor opción, trabajarla en un *software* de modelado 3D.
- Presentación de propuesta a usuarios/retorno de información: Retroalimentar el diseño por medio de la opinión y sugerencia de expertos/usuarios.

## Etapa 4. Evaluación

La evaluación es esencial en el diseño centrado en el usuario, esta puede utilizarse para proporcionar un retorno de información para mejorar el diseño y determinar si se han alcanzado los objetivos del usuario. Para gestionar el progreso del diseño iterativo, es conveniente registrar sistemáticamente el resultado de las evaluaciones (ISO 9241-210, 2019). Los pasos utilizados en esta etapa son los siguientes:

- Elaboración de prototipo: Elaborar prototipos físicos o virtuales que puedan demostrar la funcionalidad del objeto.
- Plan de evaluación (retorno de información, cumplimiento de objetivos): Identificar un procedimiento de evaluación, los medios necesarios para la evaluación y analizar los resultados.
- Validación en campo (análisis biomecánico y de ergonomía): Realizar un procedimiento para llevar a cabo la validación del equipo, el cual puede incluir métodos de evaluación ergonómica (posturales, carga, repetitividad, etc.) y de análisis biomecánico.
- Resultados de validación: Para gestionar el progreso del diseño durante este proceso iterativo, registrar sistemáticamente los resultados de las evaluaciones con los usuarios. Interpretar datos y retroalimentar diseño en caso de ser necesario.

## Resultados

### Etaapa 1. Entendimiento y especificaciones del contexto de uso

Para dar pie al uso de la propuesta para el diseño, se tomó un estudio de caso considerando el siguiente planteamiento del problema:

Las dificultades físicas presentadas debido a una paraplejia se pueden tratar con terapia física, dichas dificultades encuentran apoyo mediante el uso de ayudas técnicas (dispositivos) diseñadas para problemas físicos específicos, desafortunadamente se tiene que considerar que no todas las personas con algún grado de discapacidad tienen acceso a la aplicación de terapias y a la utilización de ayudas técnicas.

La industria de la tecnología de asistencia está limitada y especializada, y atiende principalmente a mercados de altos ingresos. No solo hay falta de financiación pública, sino también de sistemas nacionales de prestación de servicios, de actividades de investigación y desarrollo centradas en el usuario, de sistemas de compras, de normas de calidad y seguridad y de productos cuyo diseño esté adaptado al contexto. (OMS, 2018)

Un programa de rehabilitación física, sistemático e intensivo puede lograr la disminución del proceso de las posteriores afectaciones (Hidalgo, 2017), mejorando la calidad de vida de los pacientes (Okoye *et al.*, 2022).

Por las limitaciones propias de su condición, las personas que sufren de algún tipo de discapacidad física son las más vulnerables en este sentido, siendo las discapacidades motrices las que ocupan uno de los mayores porcentajes. El 37.7% tiene la limitación para caminar, subir o bajar usando sus piernas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2017), por lo que se seleccionó la paraplejia para delimitar al grupo de estudio debido a que con este tipo de lesiones medulares se pierde mayormente el control sobre los miembros inferiores del cuerpo.

Para la revisión de literatura, se seleccionaron bases de datos médicas, como Pubmed, National Library of Medicine y Science Direct, y de sitios especializados como Spinalcord.com, Livestrong.com, Sci.washington.edu y Burke.org. También se utilizaron SciELO y DOAJ. Además de las fuentes bibliográficas se determinó obtener información directamente de personas con paraplejia, fisioterapeutas y médicos especialistas en rehabilitación física.

Con la revisión de literatura relacionada al tema se encontró información respecto a las complicaciones que conlleva la falta de movimiento en los miembros inferiores en la salud de las personas parapléjicas. Considerando estos datos y la información encontrada respecto al vínculo existente entre las discapacidades físicas y la pobreza, se encontró un área de oportunidad.

La inactividad física en personas discapacitadas propicia complicaciones secundarias como atrofia muscular, pérdida del tamaño del músculo esquelético en las extremidades inferiores, infecciones del tracto urinario, úlceras de presión, enfermedades respiratorias, aumento de peso, problemas cardiovasculares, entre otros (Casajús & Vicente-Rodríguez, 2011). El ejercicio de resistencia de las extremidades superiores puede mejorar la capacidad de ejercicio, la fuerza de los músculos respiratorios y la calidad de vida (Da Silva *et al.*, 2018).

De acuerdo con Gilbert (2015), las personas con lesión de médula espinal que se mantienen más físicamente activas tienen menor riesgo de desarrollar complicaciones secundarias, los programas de rehabilitación física y las ayudas técnicas pueden ayudar a disminuir estas afectaciones y mejorar la calidad de vida de estas personas. Sin embargo, no todos tienen acceso a las terapias y ayudas técnicas. Asimismo, además de los problemas físicos y psicológicos a los que se enfrentan, también se encuentran con problemas socioeconómicos, ya que existe un vínculo entre la discapacidad física y la pobreza (Rocha-Rodríguez *et al.*, 2014).

Para obtener un panorama más integral sobre el problema, se realizaron entrevistas a personas con discapacidades motrices utilizando un cuestionario de 12 preguntas abiertas en el que participaron 14 personas, ocho mujeres y seis hombres; la edad de los participantes fue de los 25 a los 82 años. Los tres diagnósticos médicos más recurrentes de los participantes fueron los siguientes: lesión medular, neuropatía diabética y paraplejía.

De las personas entrevistadas, siete asistían a terapias físicas y siete no lo hacían; los que sí asistían a terapias realizaban reforzamiento de piernas, terapia motriz, fortalecimiento de brazos, hidroterapia, mecanoterapia y electroterapia. De estas siete personas, seis se apoyaron de algún tipo de dispositivo. De 14 personas entrevistadas, 13 consideraron necesarios nuevos productos para terapia física, y de estos, cinco participantes mencionaron cuáles serían estos productos que creían necesarios. Uno de los productos mencionados fue un dispositivo que se pueda utilizar en casa sin necesidad de salir, mientras que cuatro personas coincidieron en un producto que les permitiera movilizar las piernas.

Como parte de la primera etapa, también se aplicó un cuestionario de 12 preguntas abiertas a 18 especialistas en terapia física y rehabilitación, 16 de ellos fisioterapeutas y dos médicos especialistas en rehabilitación. Estos participantes fueron contactados en distintas clínicas y centros de rehabilitación física. Como puede apreciarse en la Figura 2, la actividad más recurrente dentro de este tipo de terapias son las movilizaciones activas y pasivas, seguido de la electroestimulación y ejercicios de fortalecimiento.

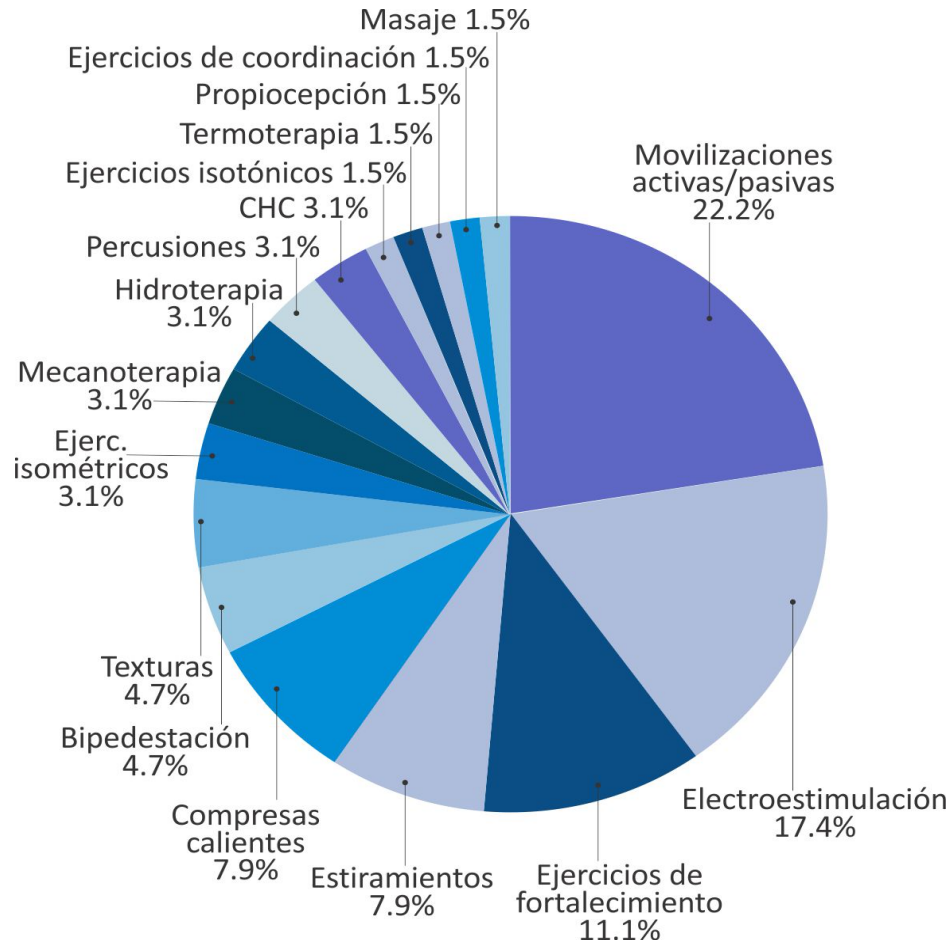


Figura 2: Actividades más recurrentes llevadas a cabo en terapia física para pacientes parapléjicos.  
Fuente: Elaboración propia.

Los tres dispositivos o ayudas funcionales encontrados y que son más utilizados fueron: electroestimuladores, dispositivos para mover brazos y piernas y bipedestadores. Las principales contribuciones del equipo utilizado en la terapia física fueron mantener los arcos de movimiento, así como fortalecer y activar músculos. A la pregunta de si es recomendable llevar un plan de terapia física en casa, y si sería más benéfico para el paciente apoyarse en equipo o ayudas funcionales, el total de los especialistas coincidieron en que sí es recomendable para el paciente, ya que es necesario establecer un programa de ejercicios en casa y con ayuda de equipo sería mucho mejor.

Los especialistas recomendaron materiales duros para la estructura y blandos para las partes de contacto con el usuario. En el manejo del color, se inclinaron por el uso del color de acuerdo con el gusto del usuario y también como un aspecto poco importante del diseño. En cuanto a las características que debería tener un dispositivo de terapia física para personas con paraplejía para ser usado en el hogar, destacaron el diseño compacto, con peso ligero y la facilidad para moverlo (Figura 3).



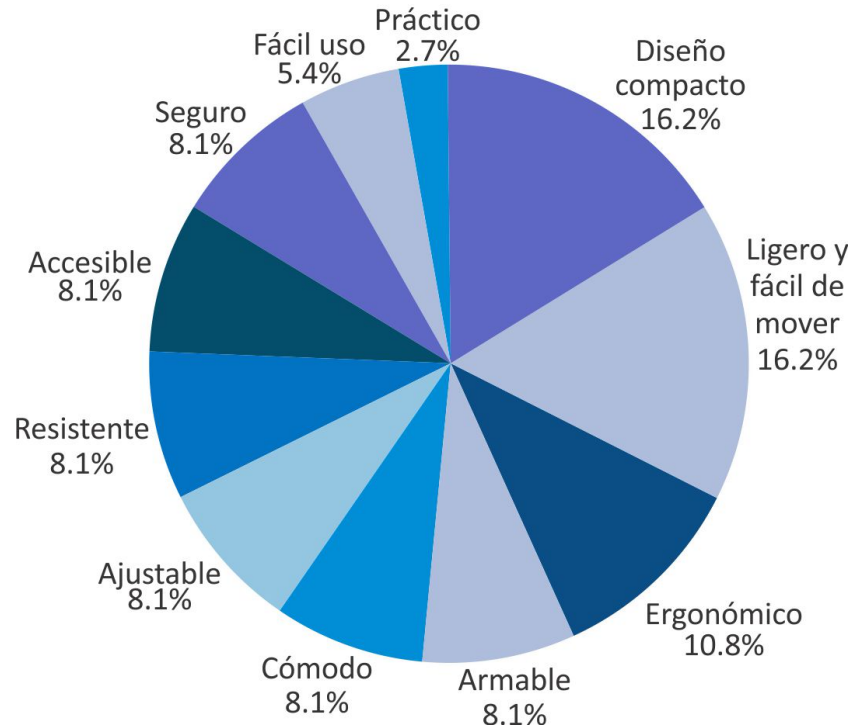


Figura 3. Características consideradas en el diseño de un dispositivo para terapia física de uso en el hogar.  
Fuente: Elaboración propia.

Entre las medidas de seguridad a considerar por parte de los especialistas en un diseño enfocado a personas con paraplejía, se descarta el uso de sujetadores, bordes romos y estabilidad en el dispositivo.

Respecto a la revisión de patentes, se realizó una comparación de 27 registros considerando dispositivos mayormente mecánicos y eléctricos dirigidos al ejercicio, a la terapia física y a la rehabilitación, los cuales en su mayoría están enfocados a la movilización tanto de piernas como brazos. Entre las patentes encontradas, la mayoría son de bicicletas de brazo y pierna y dispositivos tipo escaladora reclinada (*recumbent stepper*). Del total de patentes encontradas, fueron siete las que comparten similitudes con el planteamiento del problema, estas patentes comparten en común funcionar con una unidad mecánica y mover las piernas del usuario accionando el mecanismo por medio del movimiento de los brazos, algunas de estas tienen la opción de trabajar miembros superiores e inferiores de manera aislada. Las patentes fueron las siguientes:

1. Dual action recumbent exercise cycle (número de patente US 8,113,996 B1)
2. Aparato de ejercicios sentado US2009075786A
3. Recumbent leg and arm stepping exercising apparatus US5505679A
4. Exercise apparatus US2012077653A
5. Recumbent stepper apparatus US2009124467A
6. Recumbent stepping exercise device with stimulation and related methods US7996080B
7. Recumbent stepper exercise machine US7713176B

Adicional a los registros de patente, se incluyó la búsqueda de productos existentes en el mercado, encontrando cuatro dispositivos para sillas de ruedas y dos dispositivos con asiento. Estos también fueron tomados en cuenta para la obtención de requerimientos y el diseño innovador. Un reporte de la información encontrada respecto a las patentes, productos existentes y cuestionarios se encuentra disponible en Miranda-Bañuelos *et al.* (2019).

## Etapa 2. Especificaciones de requerimientos de diseño

Del análisis de la información obtenida durante la primera etapa de la metodología, comprensión y especificación del contexto de uso, se hizo un listado con las necesidades a tomar en cuenta para diseñar un producto, quedando solo en la lista final aquellas que estuvieran lo suficientemente fundamentadas, ya sea con información bibliográfica, el análisis de patentes y productos comercializados, o los resultados de las entrevistas al grupo de estudio y especialistas.

El proceso para descartar necesidades que no contaban con fundamento suficientemente sólido y los pasos consecuentes del método QFD se llevaron a cabo mediante el consenso del grupo interdisciplinario formado para el proyecto.

Como parte del QFD se utilizó la primera matriz de valoración para obtener los requerimientos de diseño. Para obtener los requerimientos de cada una de las necesidades (CÓMOs en la matriz) se plantearon soluciones viables, siendo analizadas una por una, dando un total de 29 requerimientos para el diseño (Figura 4).

<p><b>QUÉ</b></p> <p>↓</p>	<p><b>CÓMO</b></p> <p>→</p>		
		1	Materiales con beneficio costo-calidad
		2	Mecanismo de componentes prefabricados
		3	Diseño con pocas piezas
		4	Materiales suaves en asiento, bandas y separador de muslos
		5	Mecanismo para mover brazos y piernas
		6	Diseño anatómico
		7	Materiales de bajo peso específico
		8	Mecanismo simple y entenable
		9	Ajustable a diferentes estaturas
		10	Fácil almacenaje
		11	Diseño para fácil traslado
		12	Sistema mecánico
		13	Materiales resistentes al impacto
		14	Piezas de fácil reemplazo
15	Materiales resistentes al sudor		
<p><b>QUÉ</b></p> <p>↓</p>	<p><b>CÓMO</b></p> <p>→</p>		
		16	Visualmente robusto
		17	Fácil mantenimiento
		18	Materiales resistentes al peso
		19	Con bandas de seguridad
		20	Con separador de muslos
		21	Uso de guardas para el mecanismo
		22	Materiales con bordes romos (no rectos o con filos)
		23	Diseño antiderrapante
		24	Mecanismo seguro para el usuario
		25	Considerar medidas antropométricas del usuario
		26	Considerar la biomecánica del usuario
		27	Diseño de apariencia robusta
		28	Selección de mejores procesos de producción acorde a necesidades
29	Utilización de internet para promoción y distribución		

**Figura 4.** Requerimientos de diseño utilizando QFD.  
Fuente: Elaboración propia.

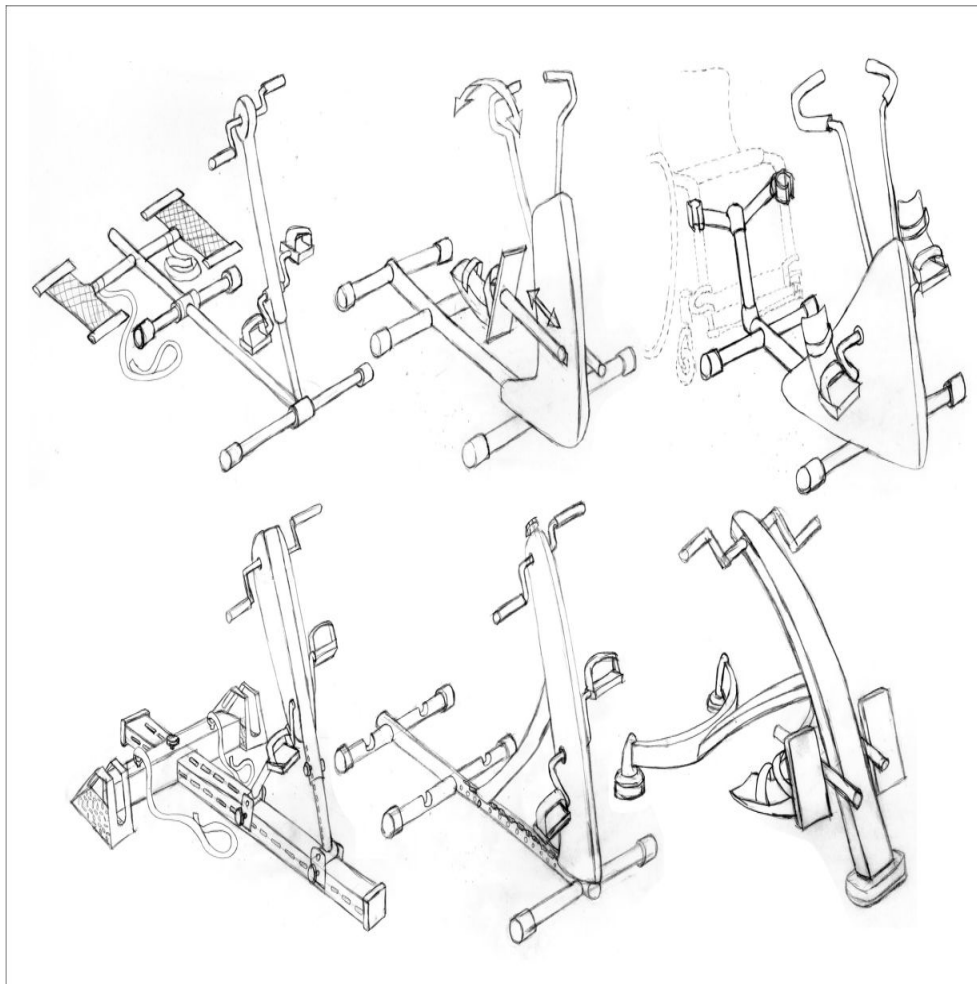
Los requerimientos de diseño que obtuvieron una valoración más alta dentro del QFD fueron los siguientes:

1. Materiales con beneficio costo-calidad;
2. Considerar la biomecánica del usuario;
3. Materiales suaves en bandas, separador de muslos, etc;
4. Mecanismo de componentes prefabricados;
5. Ajustable a diferentes estaturas;
6. Diseño de apariencia robusta;
7. Considerar medidas antropométricas del usuario;
8. Mecanismo para mover brazos y piernas.

De igual forma, dentro de la matriz del QFD se hizo una valoración de la importancia del cliente para cada una de las necesidades, quedando con la valoración más alta: costo accesible, aparato para terapia física, uso en el hogar y seguro, mientras que poder variar la intensidad del esfuerzo quedó con la valoración más baja. Finalmente, en la matriz de correlaciones (en la parte superior del esquema) con las interrelaciones entre los requerimientos se identificaron las partes donde la aplicación de un requerimiento afectaría a otro.

### Etapa 3. Producción de soluciones de diseño

Para la producción de soluciones de diseño se hicieron los primeros bocetos del desarrollo, dando prioridad a los requerimientos con la valoración más alta. A partir de los primeros bocetos se crearon otros con mayor detalle, considerando las mejores ideas de la primera parte del proceso y los requerimientos de diseño con puntuaciones más altas. Los bocetos se basaron principalmente en los tipos de movimientos identificados en los dispositivos de las patentes, es decir, los movimientos circulares ejecutados en los ergómetros para brazo y pierna y los movimientos lineales llevados a cabo en dispositivos tipo escaladora reclinada. De esta última etapa se definieron seis bocetos, los cuales se consideraron para el siguiente paso en el método propuesto (Figura 5).



**Figura 5.** Propuestas de solución en bocetos.  
Fuente: Elaboración propia.

En esta etapa también se tomaron decisiones en la elección del mejor diseño. La herramienta de la matriz Pugh o método de convergencia controlada se utilizó vaciando los requerimientos de diseño con puntuaciones más altas en el formato de comparación, los seis diseños definidos en la etapa de bocetaje se colocaron en esta primera iteración. Consecuentemente, los bocetos con más requerimientos de diseño obtenidos en la primera iteración se pasaron al segundo esquema de matriz Pugh; los bocetos que pasan de una iteración a otra son mejorados. En este caso, se requirió de una cuarta iteración para determinar la propuesta de diseño mejor adaptada a los requerimientos de diseño (Figura 6).

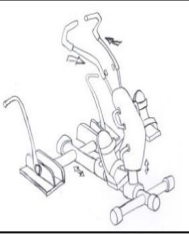
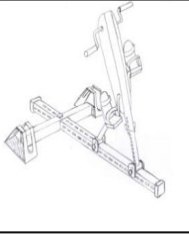
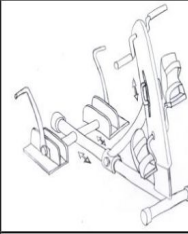
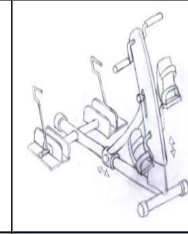
<b>Método Datum</b>				
<b>Selección de una ayuda técnica de terapia física para paraplejía. Cuarta iteración</b>				
Materiales beneficio costo-calidad	S	S	S	
Considerar biomecánica del usuario	S	S	S	
Materiales suaves bandas y separador de muslos	S	S	S	
Mecanismo de componentes prefabricados	-	S	S	
Ajustable a diferentes estaturas	+	S	S	
Diseño de apariencia robusta	S	-	S	
Considerar medidas antropométricas del usuario	+	S	S	
Mecanismo para mover brazos y piernas	S	S	S	
Materiales resistentes al peso	S	-	S	
Mecanismo seguro para el usuario	S	S	S	
Materiales resistentes al impacto	S	S	S	
Diseño antiderrapante	S	-	S	
Diseño anatómico	+	S	+	
Mecanismo simple y entendible	-	S	S	
Diseño para fácil traslado	S	S	S	
Sistema mecánico	S	S	S	
Materiales con bordes romos	S	-	S	
Con separador de muslos	S	S	S	
Utilización de internet para promoción y distribución	S	S	S	
$\Sigma+$	3	0	1	
$\Sigma S$	15	15	18	
$\Sigma \square$	2	4	0	
	<b>FUERTE</b>	<b>BAJO</b>	<b>MEDIO</b>	

Figura 6. Cuarta y última iteración de matriz Pugh.  
Fuente: Elaboración propia.

El boceto con mayor peso obtenido en la cuarta iteración de la matriz Pugh permitió tener una base más sólida para la obtención del diseño final. Con este boceto se planteó una combinación entre un ergómetro de brazo y pierna y un dispositivo *recumbent stepper*; sin embargo, se optó por fijar el funcionamiento del dispositivo solamente como un dispositivo tipo *recumbent stepper*, ya que con la combinación de dispositivos los movimientos ejecutados con brazos y piernas no concordaban: para los brazos se trataba de movimientos lineales, mientras que para las piernas serían movimientos circulares, esto dio lugar en adaptar el mejor boceto de la cuarta iteración de la matriz, incluyendo mejoras y ajustes.

Para aplicar dimensiones al diseño se hicieron bocetos usando los datos del libro *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. Se usaron los percentiles 5 y 95: el percentil 5 en mujeres con rango de edad de los 18 a los 24 años y el percentil 95 en hombres de los 18 a 65 años (Ávila-Chaurand *et al.*, 2007).

Posteriormente, se hizo un listado con los componentes necesarios para el diseño del prototipo con especificaciones de material, dimensiones y cantidades. Después, se trabajó el diseño en el *software* SolidWorks con apoyo de las medidas antropométricas y especificaciones de materiales obtenidos previamente; se modelaron el total de las piezas. Finalmente, se hizo el ensamble de todos los componentes del diseño (Figura 7).

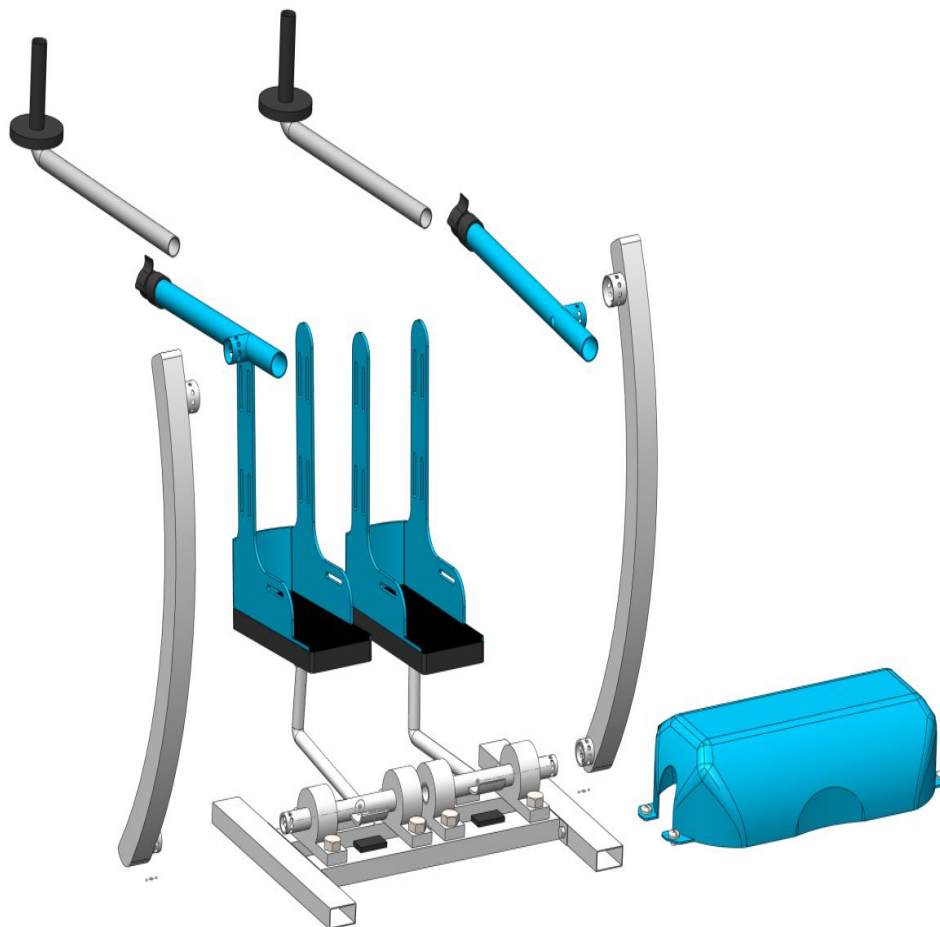


Figura 7. Modelado digital del ensamble.  
Fuente: Elaboración propia.

Como parte del proceso, se involucró nuevamente a usuarios y especialistas, esta vez para mostrarles el diseño propuesto. Se les mostró una simulación del movimiento ejecutado, la cual fue hecha con el *software* SolidWorks (Figura 8). Después de esto, se les aplicó un cuestionario de ocho preguntas abiertas; participaron un total de cuatro especialistas y seis usuarios.



Figura 8. Secuencia digital de imágenes para utilización con usuarios y especialistas.  
Fuente: Elaboración propia.

Se aplicó el mismo cuestionario a usuarios y especialistas en terapia física, de los cuales se denotó similitud en los resultados (Tabla 1).

Posteriormente a la consulta a usuarios y especialistas, se hizo un análisis de las sugerencias para mejorar el diseño. En la propuesta de poder realizar más variaciones de movimientos, se coincidió con la opinión de los expertos en cuanto a la sujeción de miembros superiores a los manubrios, se planteó el uso de correas de seguridad y se hicieron ajustes al diseño en cuanto a la aplicación del color en los diferentes componentes; además, el sistema de ajuste para ángulo y altura se cambió de perforaciones con pernos en los tubulares a la utilización de abrazaderas rápidas. Obtenidas todas las piezas, y dados los acabados finales, se ensambló el prototipo (Figura 9).

Tabla 1. Resultados de cuestionarios a usuarios y especialistas en terapia física.

Pregunta para:	Preguntas	Cumplimiento		Comentarios	
		Sí	No	Usuarios	Especialistas
1 Usuarios/ Especialistas	¿Qué opina de los ajustes previos a la utilización del aparato?	•		Buena aceptación en general.	Buena aceptación en general.
2 Usuarios/ Especialistas	¿Cómo le parece el manejo del aparato? ¿Por qué?	•		Se trabajan los brazos y piernas.	Ver qué movimientos puede realizar el paciente. Se requerirá ayuda para ponerlo en funcionamiento.
3 Usuarios/ Especialistas	¿Los movimientos llevados a cabo le parecen adecuados? ¿Por qué?	•		Se origina movimiento en las piernas.	Como sugerencia para modificar a largo plazo por limitante de tiempo: agregar más movimientos, ya que el movimiento para los miembros inferiores les pareció limitado.
4 Usuarios	¿Considera seguro para el usuario su utilización? ¿Por qué?	•		No sería mucho el esfuerzo. Se usaría desde la silla de ruedas y tiene ajustes para los pies.	
4 Especialistas	¿Considera que son benéficos estos movimientos para el usuario? ¿Por qué?	•			Buena aceptación en general.
5 Usuarios	¿Usaría este dispositivo? ¿Por qué?	•		Tendrían más movimiento, fortalecerían sus músculos y mejoraría la circulación.	
5 Especialistas	¿Considera seguro para el usuario su utilización? ¿Por qué?	•			Agregar una forma de sujeción para las manos. Contar con asistencia al utilizar el aparato.
6 Usuarios/ Especialistas	¿Qué opina del diseño en general?	•		Se ve práctico, fácil de usar, sencillo y funcional.	Buena aceptación en general.
7 Usuarios/ Especialistas	¿Qué opina de los colores manejados?	•		A cinco personas les parecieron bien y una persona opinó que no importaba qué colores manejar. Tres personas no hicieron sugerencias y las otras sugirieron incluir más movimientos, mejorar la forma de sujetar los brazos y utilizar materiales ligeros y duraderos.	Tres especialistas los consideraron adecuados y un especialista opinó que podrían ser a preferencia del paciente.
8 Usuarios/ Especialistas	¿Tiene alguna sugerencia para mejorar el diseño? ¿Cuál o cuáles serían?	•			Mayor seguridad para sujeción de miembros superiores. Considerar a futuro más variaciones de movimientos.

Fuente: Elaboración propia.



## Etapa 4. Evaluación

Con el prototipo dibujado en el *software* de diseño, y una vez obtenidos los resultados de la presentación a usuarios y especialistas, se construyó el prototipo. Como primeros pasos se hicieron pruebas con materiales reciclados simulando el funcionamiento del dispositivo, a la vez que se consiguió una silla de ruedas para corroborar dimensiones y aspectos ergonómicos.

Los objetivos principales de la validación consistieron en probar el funcionamiento del prototipo, valorar el grado de exposición a lesiones debido a posturas inadecuadas y hacer una valoración de la fuerza requerida para la utilización de la ayuda técnica y analizar los rangos de movimiento, su velocidad y ángulos.



Figura 9. Fabricación y ensamble final del prototipo.  
Fuente: Elaboración propia.

### Análisis biomecánico.

En la simulación del movimiento al utilizar el prototipo, el análisis que hace el *software* sobre 3DSSPP indique en una escala de colores (verde, amarillo y rojo) si existe compresión de la espalda baja e indica el porcentaje de capacidad de fuerza para las diferentes partes del cuerpo como muñecas, codos, hombros, torso, cadera, rodillas y tobillos resultó en color verde dentro de la escala, al igual que con los porcentajes de capacidad de fuerza (Figura 10).

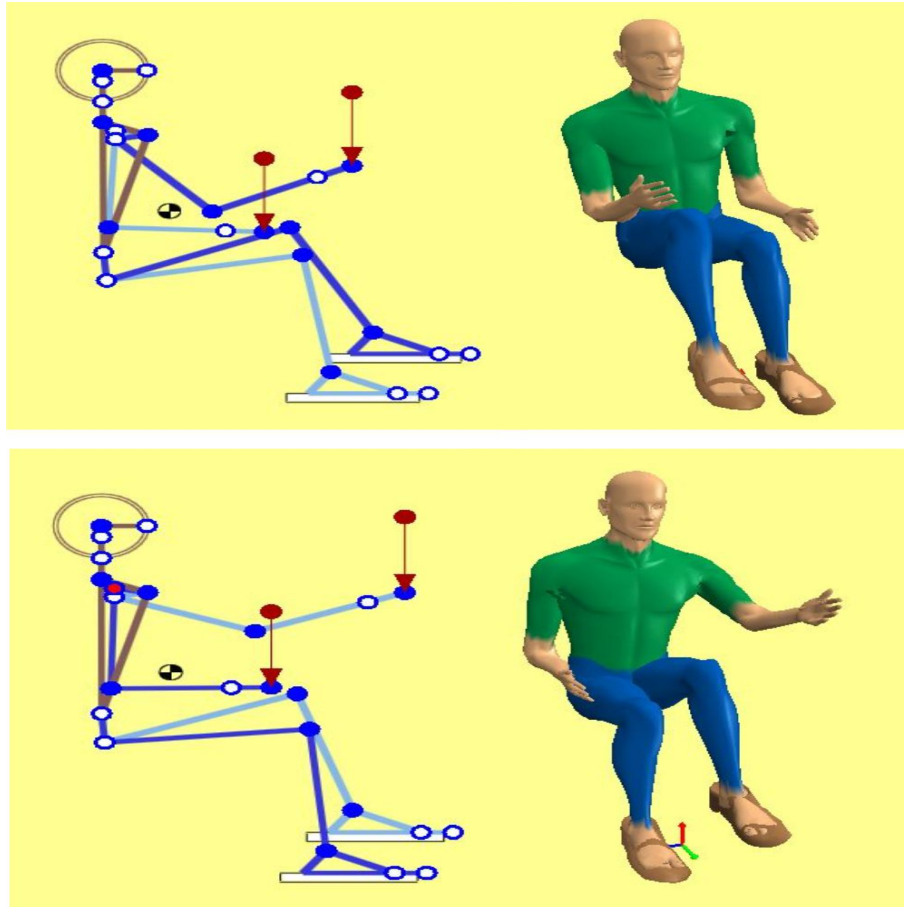


Figura 10. Simulación de movimiento por *software* Kinovea.  
Fuente: Elaboración propia.

Para la aplicación de las pruebas se reunió a un grupo de 20 personas con edades a partir de los 19 años y de las cuales se registró la edad, estatura, peso, posibles lesiones o cirugías recientes y la fuerza de empuje al momento de utilizar la ayuda funcional (Tabla 2).

Tabla 2. Datos de los participantes de la prueba biomecánica.

	Género (1-M,2-F)	Edad	Estatura (m)	Peso (Kg)	Fuerza de empuje (Kgf)	Lesiones/cirugías rec. (1-Sí, 2-No)
Media	1.58	23.68	1.66	62.47	2.68	1.95
Mediana	2	21	1.66	59	2.65	2
Moda	2	20	1.61	53	2.6	2
Q1	1	20	1.605	53	2.575	2
Q2	2	21	1.66	59	2.65	2
Q3	2	22.5	1.71	73.5	2.8	2
Varianza	0.26	72.56	0.01	166.93	0.05	0.05
Desviación estándar	0.51	8.52	0.08	12.92	0.21	0.23
Rango	1.00	36.00	0.31	47.00	0.90	1.00
Recorrido intercuartílico	1.00	2.50	0.11	20.50	0.23	0.00
Rango semicuartil	0.50	1.25	0.05	10.25	0.11	0.00
Coefficiente de variación	0.32	0.36	0.05	0.21	0.08	0.12

Fuente: Elaboración propia.

En la evaluación, el primer paso consistió en explicar el procedimiento y registrar los datos de los participantes, para después ponerse el traje y capturar el movimiento, así como colocar los marcadores por todo el traje siguiendo el patrón indicado por el *software* Motive Optitrack. El siguiente paso del procedimiento consistió en hacer la calibración con el traje puesto dentro del área designada. Una vez hecha la calibración, se les pidió a las personas voluntarias tomar posición para utilizar el prototipo y hacer una serie de 10 repeticiones. De forma simultánea, se hicieron la captura de movimiento con el sistema de cámaras Optitrack y se registró en video para respaldo, con la finalidad de realizar el análisis biomecánico. De igual forma, se hizo un registro fotográfico de las posturas adoptadas para su posterior análisis con el método RULA (*rapid upper limb assessment*).

Con la captura de movimiento en Optitrack se obtuvieron diferentes vistas de cada uno de los participantes: vista frontal, posterior, superior, derecha e izquierda (Figura 11).

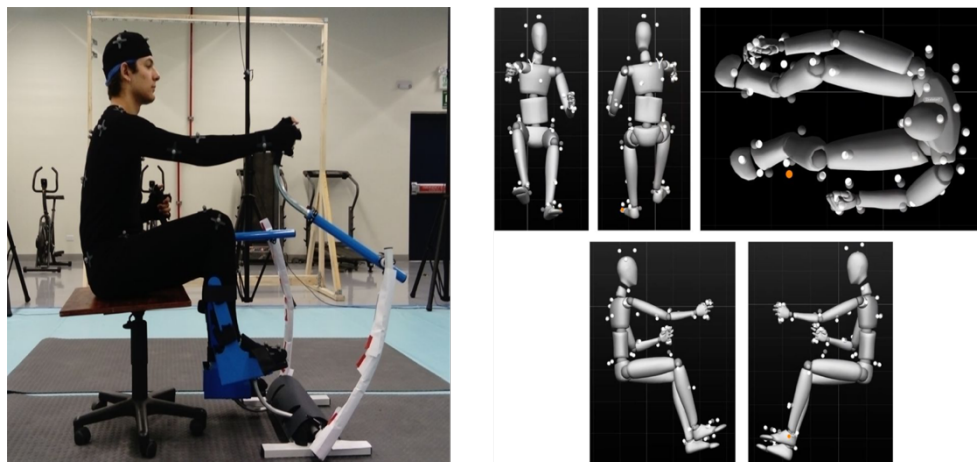


Figura 11. Captura de movimiento: vistas frontal, posterior, superior, derecha e izquierda.  
Fuente: Elaboración propia.

Para poder medir la fuerza de empuje, se utilizó un dinamómetro ajustado a los manubrios de aparato midiendo la fuerza ejercida por cada uno de los participantes (Figura 12). El resumen de los datos obtenidos se presenta en la Tabla 2. Como se puede ver, el esfuerzo promedio ejercido y desviación estándar fueron de  $2.68 \text{ kg} \pm 0.21 \text{ kg}$ .

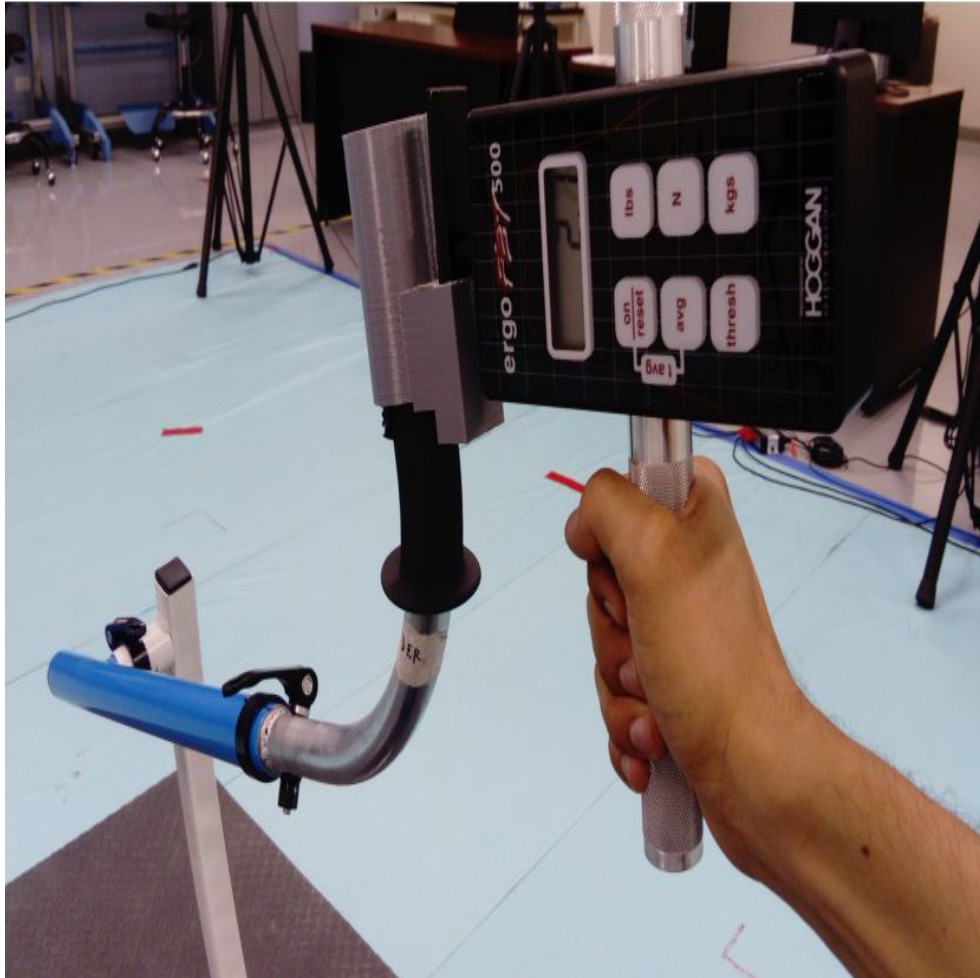


Figura 12. Medición de fuerza de empuje al utilizar el prototipo.  
Fuente: Elaboración propia.

Para determinar si los rangos de movimiento ejecutados por los participantes se encontraban dentro de los parámetros de flexibilidad de las articulaciones, se utilizaron las capturas de movimiento, y para analizar las manos se usaron los videos, ya que en la captura de movimiento de las manos fue en donde hubo menor exactitud de registro. Se utilizó la herramienta de ángulos en el *software* Kinovea (Figura 13).

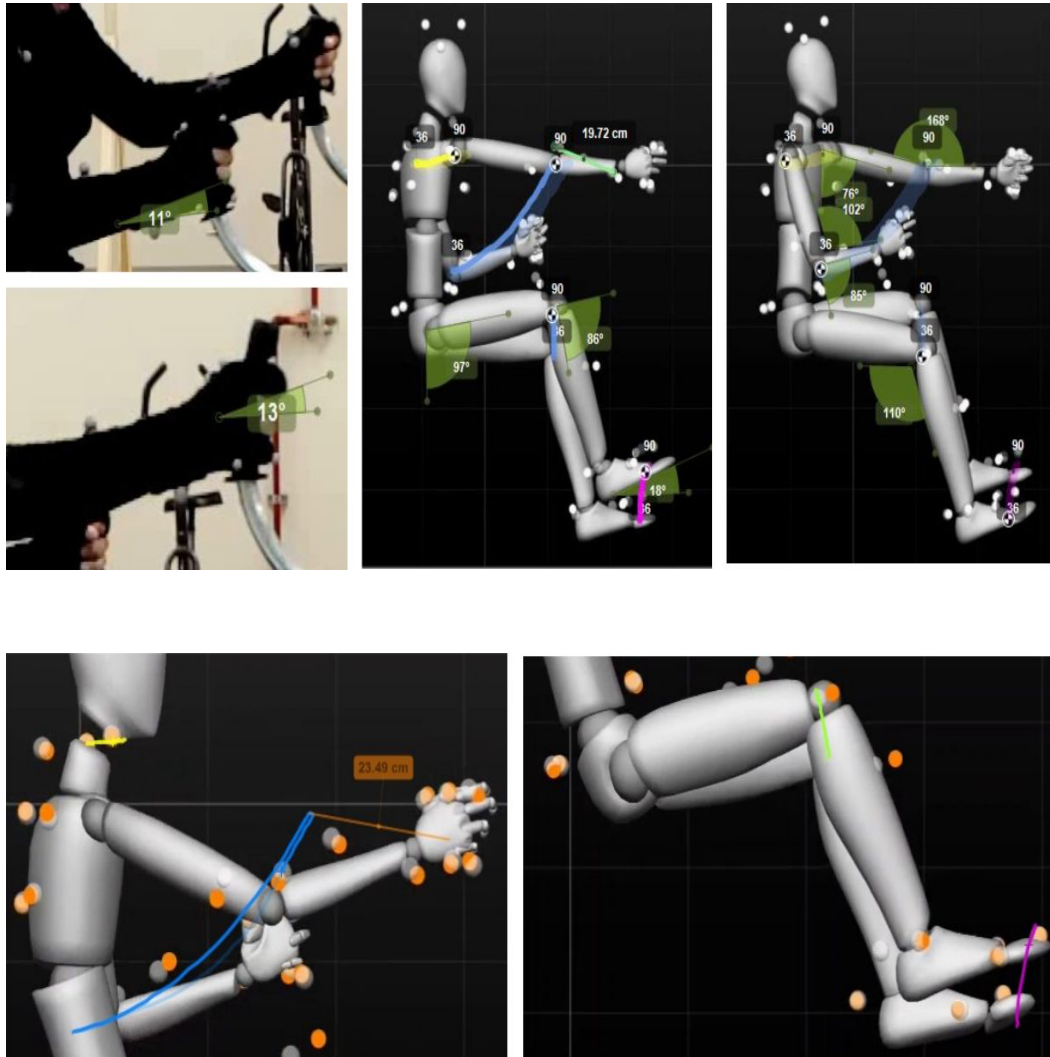


Figura 13. Medición de ángulos (superior) y de trayectorias de movimiento (inferior) por *software* Kinovea.  
Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los datos de los rangos de movimiento se tomaron como referencia las normas de flexibilidad para hombres y mujeres, establecidas por Van Roy y Borms en su capítulo de flexibilidad (Eston & Reilly, 2009). Se utilizó el *software* Kinovea para analizar los videos de captura de movimiento de los 20 participantes, usando marcadores con los que se hizo un seguimiento de la trayectoria para hombro, codo, rodilla y pie. En todos los videos se analizó el lado derecho del cuerpo (Figura 13). La comparación con los valores máximos recomendados se encuentra en la Figura 14, en la cual los valores no utilizados se encuentran en blanco.

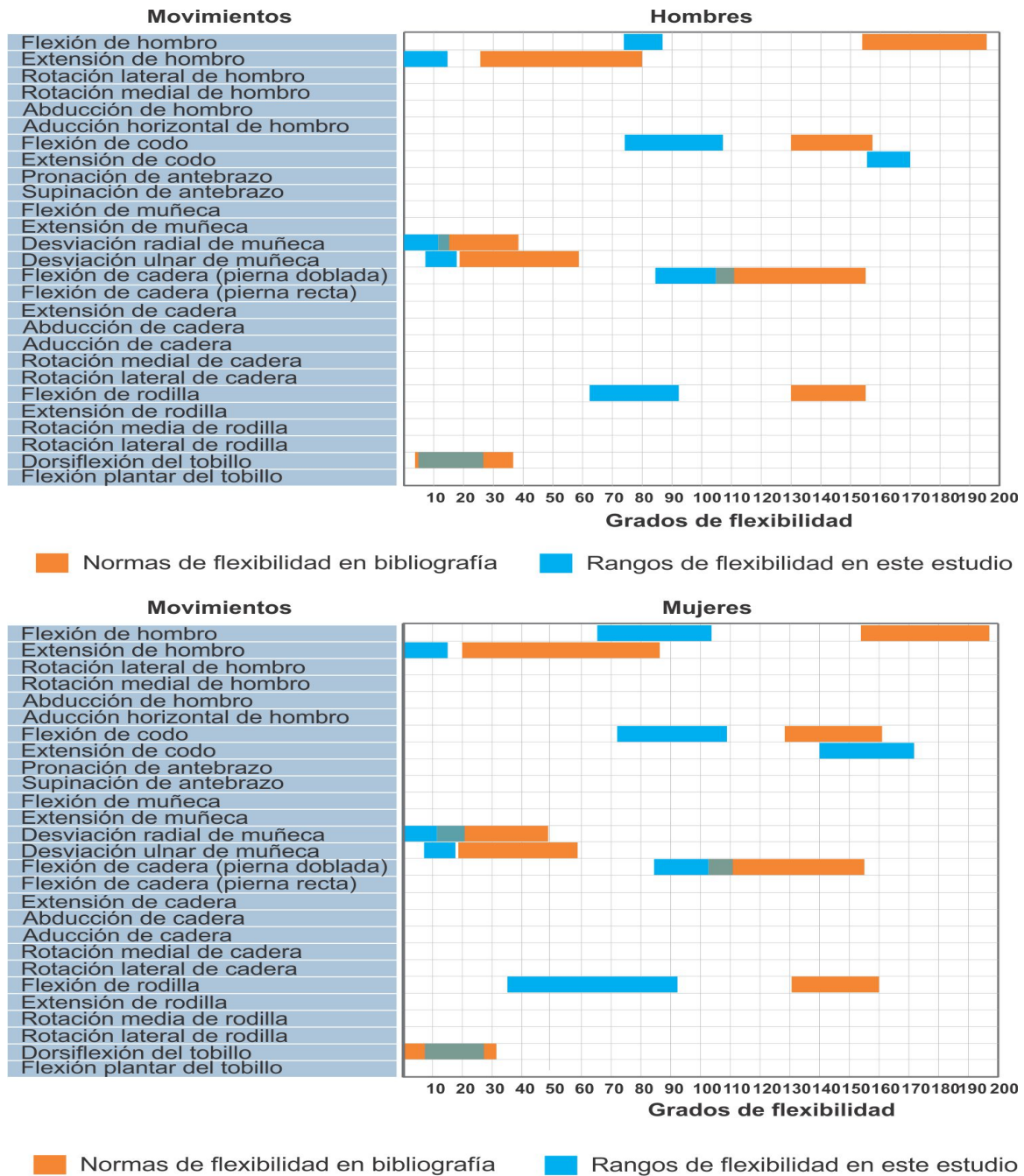


Figura 14. Comparación entre rangos de flexibilidad encontrados y máximos recomendados.  
Fuente: Elaboración propia con datos de Eston & Reilly (2009).

Adicionalmente, y como forma de conocer mejor la actividad de las personas al utilizar el dispositivo, se obtuvieron diagramas para mostrar visualmente datos de cinemática lineal, como la distancia total, velocidad y aceleración (Figura 15).

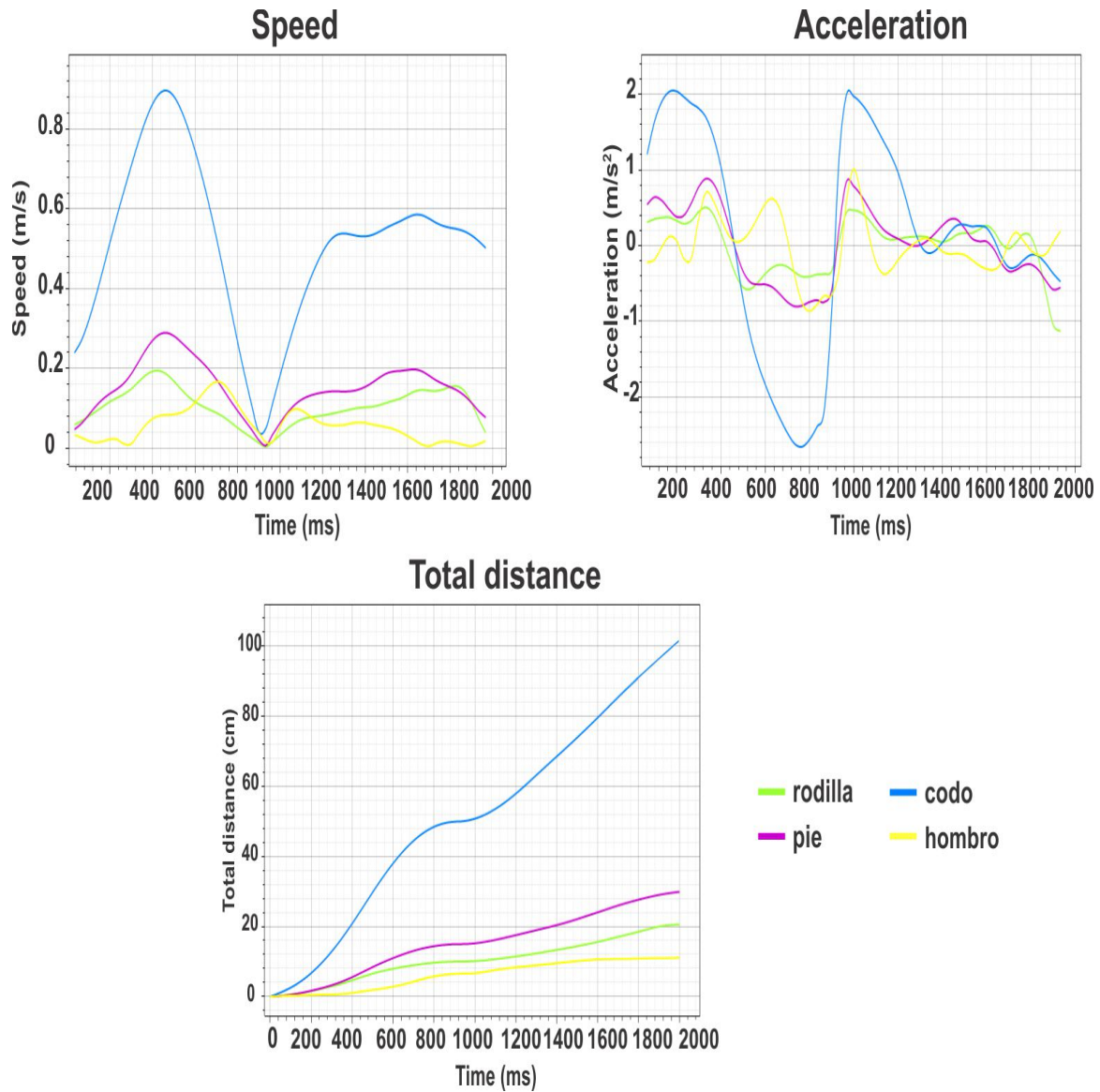


Figura 15. Diagramas de velocidad, aceleración y distancia total.  
Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos con apoyo del *software* Kinovea se registraron los valores máximos en las velocidades de rodilla, pie, codo y hombro para cada uno de los 20 participantes; la velocidad se registró en m/s, y se obtuvo el promedio final de cada grupo. En los 20 participantes la mayor distancia fue para el codo, seguido del pie, rodilla y hombro; el rango de tiempo y la distancia variaron, siendo la mayor distancia recorrida de 1.20 m y la menor de 0.60 m; el mayor tiempo fue de 3.4 s y el menor 1.46 s, estos tiempos fueron en los que se llevó a cabo una repetición.

### Análisis ergonómico postural.

Con la finalidad de hacer una valoración del posible riesgo por adopción de posturas inadecuadas durante la utilización del prototipo, se utilizó el método RULA. Como apoyo se usó el *software* online que ofrece el sitio web Ergonautas.upv.es, desarrollado por la Universidad Politécnica de Valencia. Se evaluó el lado del cuerpo, y se seleccionó la postura que se consideró podría representar un mayor riesgo por tener mayor desviación respecto a la posición neutral. Se utilizaron las fotografías tomadas a los 20 voluntarios usando el prototipo, se hizo una medición de los ángulos solicitados por RULA, usando la herramienta RULER proporcionada por el sitio de internet antes mencionado.

Con base en los resultados arrojados, el *software* dio una puntuación de 4 en una escala de 0 a 7, en el que el nivel de actuación recomendado fue 2, este es para puntuaciones con valores entre 3 y 4, el cual sugiere que se pueden requerir cambios en el diseño de la tarea (Figura 16). La interpretación del RULA sería la siguiente: pueden requerirse cambios en el diseño de la tarea o puesto de trabajo. Este método fue creado principalmente pensando en puestos de trabajo, por lo que un artefacto para terapia física no tiene el uso prolongado que tendría un equipo de trabajo; sin embargo, de acuerdo con el resultado obtenido con el método, se detectaron puntos en los que conviene prestar mayor atención para reducir las malas posturas: abducción de brazos, desviación cubital de la muñeca y ángulo del cuello.





### Nivel de actuación 2

Pueden requerirse cambios en el diseño de la tarea y/o puesto de trabajo.  
Es necesaria una investigación más profunda.

Puntuación	Nivel Actuación
1 ó 2	1 Riesgo Aceptable
3 ó 4	2 Pueden requerirse cambios en la tarea; es conveniente profundizar en el estudio
5 ó 6	3 Se requiere el rediseño de la tarea
7	4 Se requieren cambios urgentes en la tarea

Figura 16. Resultado de la evaluación con el método RULA.  
Fuente: [www.ergonautas.upv.es](http://www.ergonautas.upv.es)

## Discusión

A pesar de que en el mercado comercial existe una gran variedad de equipos para la rehabilitación, la mayoría de las patentes (83.76%) se encuentran registradas como aparatos de ejercicio físico (Nieto-Gutierrez *et al.*, 2019). Esto se debe a que los registros patentables como dispositivos médicos requieren del cumplimiento de estándares más rigurosos, lo que convierte a los procesos de diseño más tardados y costosos (Grant, 1998).

El presente estudio propone un proceso para el desarrollo de dispositivos de rehabilitación con características sistemáticas que apoyen en el desarrollo de productos más confiables y adaptados a las necesidades de los usuarios con discapacidad. Este seguimiento puede aportar en la reducción de tiempo y costos de desarrollo.

La propuesta coincide con los principios de adaptación a las personas del diseño universal o inclusivo (Ferrari, 2020), que también parten desde el diseño centrado en el usuario. La diferencia es que este proyecto se enfoca solo en las necesidades de personas con discapacidad para el desarrollo de dispositivos exclusivamente para la rehabilitación.

En el estudio de caso utilizado, el proyecto fue guiado desde la obtención de necesidades a través de grupos de expertos y usuarios, pasando por el diseño y prototipado, hasta la verificación de un funcionamiento que no perjudique la salud. Los análisis de compresión y capacidad de fuerza demostraron estar en rangos normales, y los rangos de movimiento descartaron riesgos de lesión por exceder las capacidades de flexibilidad de las articulaciones, mientras que las trayectorias de movimientos ayudaron en la caracterización de velocidad y aceleración en el uso del dispositivo. Después, el análisis de postural verificó que la posición del cuerpo no comprometiera a sus órganos durante el tiempo de terapia.

Finalmente, la lista de verificación proporcionada corroboró el cumplimiento de los principios establecidos sobre el diseño centrado en el usuario, donde se marcaron como cumplidos todos los requerimientos sobre los principios, planeación, actividades, soluciones, diseño y evaluación, con excepción a los requerimientos que no aplican y que son referidos a los sistemas interactivos de cómputo y a los requerimientos en los que se recomienda hacer un seguimiento a largo plazo del uso del producto, los cuales no fueron registrados debido al alcance del proyecto.

## Conclusiones

El proceso metodológico centrado en el usuario utilizado en este trabajo permitió guiar el desarrollo de un producto dirigido a personas con discapacidad. Las opiniones de los especialistas y el grupo de estudio se llevaron de una forma estructurada. A pesar de que la norma ISO 9241-210:2019 fue desarrollada para los sistemas de *software* y *hardware* de cómputo interactivos, sus bases sirvieron para el desarrollo de un proceso para el diseño de dispositivos para la rehabilitación de personas con falta de movilidad en las extremidades inferiores. Aunado a esto, la aplicación de métodos y técnicas como el QFD, la matriz de Pugh, el método RULA, el análisis biomecánico, así como el uso de *software* de diseño y análisis, complementaron una propuesta robusta y sistemática.

En este estudio de caso, la validación comprobó que el diseño desarrollado es seguro de utilizar, no representó un riesgo por la postura adoptada ni para las articulaciones por los movimientos realizados, salvo algunas observaciones para las cuales se hicieron recomendaciones para que los usuarios mantengan una mejor postura durante la utilización del producto. También, y de acuerdo con los expertos, se recomienda ampliar los rangos de movimiento para las piernas en el prototipo.

Con esta investigación se aporta información sobre la creación de productos que puedan apoyar a las necesidades de poblaciones vulnerables y promuevan el mantenimiento y mejora de la salud. Se puede decir que la información presentada puede ayudar al desarrollo de investigaciones relacionadas como una guía para el diseño. El *software*, aplicaciones y procedimientos usados en este trabajo podrían ser adaptados de acuerdo con los recursos y propósitos del estudio.

## Agradecimientos

Un agradecimiento especial a los laboratorios de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez que hicieron posible este proyecto con su apoyo: Centro Autosustentable de Prototipos y Arquetipos (CAPA), al Laboratorio de Ergonomía del Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura y al Laboratorio de Ergonomía y Diseño de Producto, de igual forma un agradecimiento al Centro de Rehabilitación Integral Física de Cd. Juárez (CRIF) por su aportación al desarrollo de esta investigación.

## Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

## Referencias

- Ávila-Chaurand, R., Prado-León, L. R., & Gonzalez-Muñoz, E. L. (2007). *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. Universidad de Guadalajara, CUAAD.  
<https://www.researchgate.net/publication/31722433>
- Burns, K. J. (2015). *Exercise to improve blood flow and vascular health in the lower limbs of paraplegics*. Kent State University.  
<https://www.proquest.com/openview/1e99c08421f6d7cab16215537f2cb3ed/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750>
- Casajús, J. A., & Vicente-Rodríguez, G. (2011). *Ejercicio físico y salud en poblaciones especiales*. Exernet. Colección ICD.  
<https://addpol.org/wp-content/uploads/2021/03/Ejercicio-fisico-y-salud-en-poblaciones-especiales.pdf>
- Da Silva, C. M., Gomes, M., Bernardone, M., Da Conceição, C. S., & Souza-Machado, A. (2018). Effects of upper limb resistance exercise on aerobic capacity, muscle strength, and quality of life in COPD patients: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 32(12), 1636-1644.  
doi: <https://doi.org/10.1177/0269215518787338>
- Duryea, S., Salazar, J. P., & Pinzon, M. (2019). *Somos todos: Inclusión de las personas con discapacidad en América Latina y el Caribe*. Banco Inter-Americano de Desarrollo. <http://dx.doi.org/10.18235/0002010>
- Eston, R. G., & Reilly, T. (Eds.). (2009). *Kinanthropometry and exercise physiology laboratory manual: exercise physiology* (Vol. 2). Routledge Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9780203868737>
- Ferrari, P. (2020). Why Inclusive Design?. In P. Ferrari (autor), *Planning Inclusive Yachts. A novel approach to yacht design* (pp. 1-18). Springer. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-55207-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-55207-7_1)
- Gilbert, B. (2015). *The Benefits of exercise after spinal cord injury*. Burke Rehabilitation Hospital.
- Ginis, K. A., & West, C. R. (2021). From guidelines to practice: development and implementation of disability-specific physical activity guidelines. *Disability and Rehabilitation*, 43(24), 3432-3439.  
doi: <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1757167>
- Gorgey, A. S. (2014). Exercise awareness and barriers after spinal cord injury. *World Journal of Orthopedics*, 5(3), 158-162. doi: <https://doi.org/10.5312/wjo.v5.i3.158>
- Grant L. J. (1998). Regulations and safety in medical equipment design. *Anaesthesia*, 53(1), 1-3. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2044.1998.00363.x>
- Hao, W., Li, J., Fu, P., Zhao, D., Jing, Z., Wang, Y., Yu, C., Yuan, Y., & Zhou, C. (2021). Physical frailty and health-related quality of life among Chinese rural older adults: a moderated mediation analysis of physical disability and physical activity. *BMJ Open*, 11(1), e042496. doi: <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-042496>
- Hidalgo, Á. (2017). La rehabilitación terapéutica a pacientes parapléjicos: impacto desde las tecnologías. *PODIUM: Revista de Ciencia y Tecnología en la Cultura Física*, 12(1), 21-30.  
<http://podium.upr.edu.cu/index.php/podium/article/view/687>
- International Organization for Standardization (ISO). (2019). *Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centered design for interactive systems (ISO 9241-210)*. ISO.  
<https://www.iso.org/standard/77520.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *La discapacidad en México. Datos al 2014*. INEGI.  
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825090203>
- Keramat, S. A., Alam, K., Sathi, N. J., Gow, J., Biddle, S. J. H., & Al-Hanawi, M. K. (2021). Self-reported disability and its association with obesity and physical activity in Australian adults: Results from a longitudinal study. *SSM-Population Health*, 14, 100765. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2021.100765>

- Larco, A., Peñafiel, P., Yanez, C., & Luján-Mora, S. (2021). Thinking about Inclusion: designing a digital App aatalog for people with motor disability. *Sustainability*, 13(19), 10989. doi: <https://doi.org/10.3390/su131910989>
- Miranda-Bañuelos, M., Meraz-Tena, E. G., & Balderrama-Armendáriz, C. O. (2019). Diseño de ayuda técnica para terapia física enfocada a personas con paraplejia: revisión de la literatura. *Cultura Científica y Tecnológica*, 16(1), 54-64. doi: <https://doi.org/10.20983/culcyt.2019.1.3.1>
- Nieto-Gutierrez, W., Tellez, W. A., Pacheco, N. V., Aguirre-Tipismana, L., Zevallos-Morales, A., & Taype-Rondan, A. (2019). Characteristics of patents of physical rehabilitation devices registered in the United States. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 18(2), 346-356. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=89903>
- Norman, D. A. (2018). La psicología de los objetos cotidianos. NEREA.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Tecnologías de Asistencia*. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/assistive-technology>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2020). *Discapacidad y salud*. OMS. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/disability-and-health>
- Okoye, E. C., Onwuakagba, I. U., Ani, K. U., Babatunde, J. K., Akosile, C. O., Okeke, M. C., & Aronu, A. E. (2022). Body image, physical activity, quality of life, and community reintegration of individuals with acquired mobility disability in a Nigerian population. *Disability and Rehabilitation*, 44(10), 2002-2010. doi: <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1817159>
- Palma, A., Pérez, A., & Pérez, G. (2014). *Atención sanitaria*. Ediciones Paraninfo.
- Rocha-Rodríguez, M. R., Cruz-Ortiz, M., Pérez-Rodríguez, M. C., & Mendoza, J. G. (2014). Pobreza y discapacidad, un vínculo para estudiar a fondo. *Revista Waxapa*, 6(10), 18-25. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=54947>
- Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol). (2016). *Diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México*. Sedesol. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/126572/Diagn\\_stico\\_sobre\\_la\\_Situaci\\_n\\_de\\_las\\_Personas\\_Con\\_Discapacidad\\_Mayo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/126572/Diagn_stico_sobre_la_Situaci_n_de_las_Personas_Con_Discapacidad_Mayo_2016.pdf)
- Wickens, C. D., Gordon, S. E., Liu, Y., & Lee, J. (2014). *An introduction to human factors engineering* (Vol. 2). Pearson Prentice Hall.