

# Estudio y rediseño de bastón para asistencia a personas con discapacidad en miembros inferiores

## Study and redesign of walking stick for assistance to persons with disability in lower limbs

Pérez, Anibal<sup>1</sup>; Amador, Belkys<sup>1,2\*</sup>; Pacheco, María<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratorio de Prototipos, Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Táchira, Venezuela.

<sup>2</sup> Instituto de Diseño y Métodos Industriales, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Chile.

\*[belkys.amador@gmail.com](mailto:belkys.amador@gmail.com)

### Resumen

*Los productos de apoyo permiten asistir a personas con discapacidad, su propósito es brindarles la oportunidad de realizar actividades cotidianas de forma productiva y autónoma. Los productos para miembros inferiores facilitan la ejecución de la marcha, proporcionando la movilidad personal y facilitando la realización de las actividades de la vida cotidiana; dentro de este grupo se encuentra el bastón de cuatro patas, dispositivo que proporciona apoyo cuando se camina, tiene una empuñadura y una sola caña que se bifurca en cuatro patas que proporcionan mayor estabilidad. Si bien en el mercado se encuentran disponibles estos dispositivos, en muchos casos el acceso es limitante para el paciente con discapacidad, de allí que la motivación de esta investigación es proponer productos accesibles a la población, de bajo costo y que brinden seguridad, estabilidad, resistencia y comodidad. Para ello se plantea rediseñar el bastón de cuatro patas para agregarle valor y ajustarlo a materiales existentes a nivel local, soportado en análisis estático de esfuerzos con el programa SolidWorks®, para generar dispositivos estructuralmente resistentes y que garanticen además de funcionalidad, seguridad y calidad a los usuarios. El análisis estático del bastón arrojó un factor de seguridad de 1,5 y un desplazamiento máximo de 27,5 mm en la zona de la empuñadura. Para el rediseño se alineó el centro de la empuñadura con el eje del tubo de la caña superior, disminuyendo el desplazamiento a 4,9 mm, además, se alargó la caña inferior, generando una pata adicional al bastón logrando una disminución de tensión en la lámina base (hasta 90%), a lo largo de la caña inferior (83%) y de la caña superior (hasta 81%). En relación al material, se trabajó con Aluminio 6061-T6 para las cañas superior e inferior y acero inoxidable AISI 304 para la lámina base, materiales disponibles en el mercado venezolano.*

**Palabras claves:** productos de apoyo, bastón de cuatro patas, discapacidad, rediseño.

### Abstract

*The assistive products allow to assist persons with disability, their purpose is to provide them with the opportunity to carry out daily activities in a productive and autonomous way. The products for lower limbs facilitate the execution of the gait, providing personal mobility and helping with the realization of daily life activities; within this group is the quad cane, a device that provides support during walking activities, has a handle and a single cane that bifurcates on four legs that improve the stability. Although these devices are available in the market, there are patients with disability that have limited access for these products, therefore the motivation for this research is to propose products that are accessible to the population, low cost and that provide security, stability, resistance and comfort. According to this, the propose is to redesign the quad cane to add value and adjust it to local materials, supported in static analysis of mechanical stress with SolidWorks®, to generate structurally resistant devices that also guarantee functionality, safety and quality to the patients. The safety factor from the static analysis was 1.5 and the maximum displacement was 27.5 mm on the handle. For the redesign, the handle center was aligned with the tube axis of the upper shank, decreasing the displacement to 4.9 mm, in addition, the lower shank was lengthened, generating an additional leg to the cane, achieving a decrease of stress in the base sheet (up to 90%), along the lower shank (83%) and the upper shank (up to 81%). In relation to the material, it was selected Aluminum 6061-T6 for the upper and lower shanks and stainless steel AISI 304 for the base sheet, materials available in Venezuelan market.*

**Keywords:** assistive products, quad cane, disability, redesign.

## 1 Introducción

La Organización Mundial de la Salud (OMS 2018) señala que la discapacidad involucra deficiencias, limitaciones de la actividad y restricciones a la participación; desde un enfoque de las deficiencias físicas, la discapacidad está presente cuando la persona padece anomalías orgánicas en el aparato locomotor y en las extremidades (Cruz Roja s.f.), pudiéndose generar discapacidad del movimiento. La presencia de la discapacidad en miembros inferiores puede estar relacionada con la vejez, problemas de índole genético, afecciones ocurridas por enfermedades crónicas o por algunos agentes externos (accidentes de tránsito, conflictos a nivel social, entre otros).

En Venezuela, según el Instituto Nacional de Estadística (INE 2014) en 2011 se registró un millón y medio de personas con discapacidad, donde el 0,9% está representado por personas con dificultades músculo esqueléticas, dentro de las cuales se incluyen las que presentan dificultades en miembros inferiores y por ende afectación de la marcha, por lo que la asistencia de productos de apoyo es requerida para facilitar su movilidad y la realización de actividades básicas.

Los productos de apoyo se convierten entonces en herramientas básicas y necesarias para facilitar la marcha y por ende el movimiento de las personas afectadas, sin embargo, la disponibilidad y el costo de estos dispositivos representa en muchos casos una barrera para la población. Los productos de apoyo son definidos por la OMS (2011) como “cualquier producto externo (dispositivos, equipos, instrumentos o programas informáticos) fabricado especialmente o ampliamente disponible, cuya principal finalidad es mantener o mejorar la autonomía y el funcionamiento de las personas y por tanto, promover su bienestar. Estos productos se emplean también para prevenir déficits en el funcionamiento y afecciones secundarias (p. 2).

El propósito de los productos de apoyo se centra en asistir a personas con discapacidad brindándoles la oportunidad de realizar actividades cotidianas y llevar una vida productiva y autónoma. En el caso particular de productos de apoyo para miembros inferiores, se facilita la marcha, proporcionando movilidad personal, dando paso a la posibilidad de realizar de forma más sencilla, con menor esfuerzo y de manera más efectiva cada una de las actividades de la vida diaria.

Para atender la población venezolana con discapacidad en miembros inferiores se hace necesario entonces el desarrollo de productos de apoyo de bajo costo y que brinden seguridad, funcionalidad y comodidad. En particular, el objeto de estudio de este trabajo es el bastón de cuatro patas (figura 1), que se clasifica según su uso y la necesidad por la cual ha sido diseñado dentro de los productos de apoyo para la movilidad personal (EASTIN 2017). En este trabajo se plantea el análisis de esfuerzos de un bastón comercial de cuatro patas y su posterior rediseño para ajustarlo a materiales existentes a nivel local, además de realizar ajustes estructurales para disminuir esfuerzos y desplazamientos que

podiesen estar presentes, con la finalidad de proponer dispositivos estructuralmente resistentes y que proporcionen estabilidad, además de garantizar adecuada funcionalidad, seguridad y accesibilidad económica a los usuarios.

El interés en el estudio y desarrollo de productos de apoyo para mejorar la movilidad se ve reflejado en investigaciones como la de Bermejo y col. (2015), donde se plantea la reinención del concepto de la muleta; la de Giraldo (2012) centrada en el diseño de una silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembros inferiores; o la de Rebolledo (2011) cuyo objetivo fue el diseño de un andador para adultos.

## 2 El bastón de cuatro patas

Consiste en un dispositivo que proporciona apoyo para caminar, tiene una empuñadura sin apoyo para el antebrazo, y una sola caña que se bifurca en cuatro patas cada una de las cuales termina en una contera; las patas múltiples proporcionan mayor estabilidad (EASTIN 2017). Este dispositivo entra en el grupo de productos de apoyo para caminar manejados por un solo brazo (Sebastián y col., 2011), en la Figura 1 se puede observar, en vistas isométricas, cada uno de los componentes principales del bastón, el sistema de seguridad y algunos accesorios con los que cuenta. Está fabricado con una empuñadura acolchada que brinda mayor comodidad, la caña se fabrica con un eje de aluminio y una base de acero para equilibrar la seguridad con la durabilidad (Drive Medical s.f).

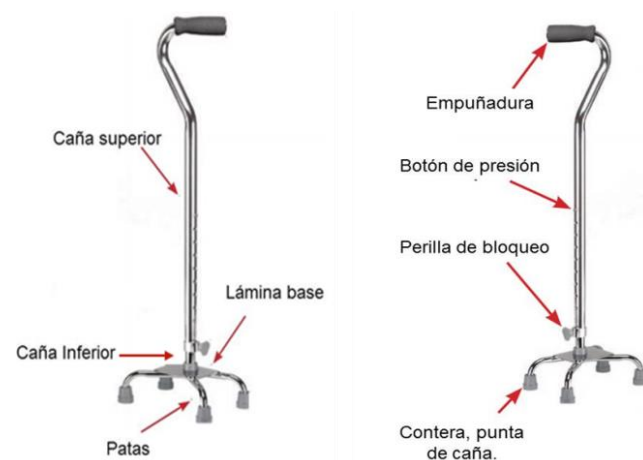


Fig. 1. Componentes del bastón de cuatro patas (adaptada de Drive Medical s.f.).

## 3 Análisis de esfuerzos

### 3.1 Modelado

El dispositivo fue modelado en el programa SolidWorks® tomando como referencia el modelo comercial mostrado en la Figura 1. El bastón modelado se incluye en la Figura 2.

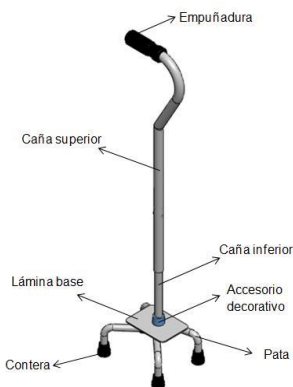


Fig. 2. Bastón modelado en SolidWorks®.

### 3.2 Adaptación y parámetros de ensamblaje en SolidWorks

El contacto entre los componentes del bastón fue sin penetración, esta condición impide la interferencia entre las piezas y permite la formación de separaciones (SolidWorks 2015). En cuanto a la sujeción, se tomaron las caras inferiores de cada una de las patas del dispositivo como rígidas, simulando empotramiento. Además, se trabajó con un tipo de malla sólida basada en curvatura y una calidad de malla de elementos cuadráticos de alto orden; la relación entre el tamaño mínimo y máximo de cada elemento fue de 3 a 1.

### 3.3 Cargas y materiales

Para establecer las cargas y los materiales a aplicar para el análisis estático del bastón se consultaron diferentes fuentes, incluidas en la Tabla 1. Se seleccionó para la carga del bastón el criterio del 50% del peso del paciente, tomando como base personas con un peso de 100 Kg, por lo tanto, la carga aplicada fue de 50 Kg o su equivalente, 500 N. Así mismo, se tomó la carga del tipo distribuida a lo largo de la empuñadura, con una dirección completamente perpendicular a ésta.

Tabla 1. Cargas y materiales considerados para el bastón.

Fuente	Carga	Tipo de Carga	Dirección de la carga	Material del dispositivo
Sriharsha y Somani (2015)	400 N	Distribuida	Perpendicular a la empuñadura	Aleación de aluminio y Acero 50C4
Drive Medical (s.f)	1360 N	No indica	No indica	Aluminio Anodizado
Sánchez y col. (2006)	20 al 25% del peso del paciente	No indica	No indica	Material ligero
Entrevistas	20 al 50% del peso del paciente	No indica	Perpendicular a la empuñadura	Material ligero
TecNum (s.f)	100 Kg	No indica	No indica	Aluminio anodizado

Por otra parte, ya que no se conoce exactamente el tipo de aluminio que compone estos productos de apoyo, se seleccionó Aluminio 6061 T6 como material para cada uno de los componentes tubulares, material comúnmente utilizado para estas aplicaciones, así mismo, Acero Inoxidable 316L para la lámina base del bastón y Acero A36 como material para los respectivos pasadores. Las propiedades mecánicas de estos materiales se reflejan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de los materiales.

Propiedades mecánicas	Aluminio 6061 T6	Acero Inox. 316L	Acero A36
Módulo de elasticidad (GPa)	69	200	200
Razón de Poisson	0,33	0,265	0,26
Resistencia a la fluencia (MPa)	275	170	250
Resistencia última a la tensión (MPa)	310	485	400

Fuente: Librería de materiales de SolidWorks (2015).

### 3.4 Análisis estático

En la Figura 3 se muestra la versión del bastón modelada, se puede observar una estructura tubular principal (caña superior), ensamblada a una caña inferior, existiendo entre ellas un pasador que permite restringir el movimiento entre piezas. Junto a la caña inferior se encuentra unida una lámina base rectangular y de ella yacen las patas de este dispositivo. Las condiciones de borde y la aplicación de la carga se observan en la Figura 3b, en la Figura 3c se muestra el trazado de la malla.

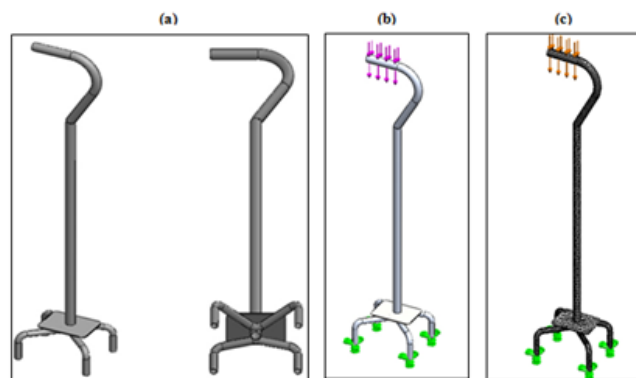


Fig. 3. (a) Bastón. (b) Condiciones de borde y aplicación de carga. (c) Trazado del mallado.

En cuanto a los resultados, la Figura 4 muestra que la convergencia tuvo lugar con 33397 elementos, con una tensión máxima de von Mises de 187,1 MPa, presentándose en el tubo superior del bastón, exactamente en la curvatura de mayor radio (ver Figura 5); el desplazamiento máximo fue de 27,525 mm y ocurre en la parte superior del bastón en la zona de la empuñadura (ver Figura 6), así mismo, el factor de seguridad mínimo fue de 1,5. Los resultados de la tensión de von Mises en otras zonas de interés se muestran en la Figura 7, específicamente 55,9 MPa en la lámina base y 80,3 MPa

en la caña inferior, estas son las zonas con mas altos esfuerzos luego de la zona crítica.

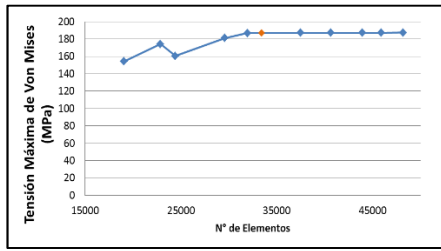


Fig. 4. (a) Bastón versión II. (b) Condiciones de borde y aplicación de carga. (c) Trazado del mallado.

El factor de seguridad indica que el dispositivo es capaz de soportar un 50% por encima de la carga aplicada, representando un diseño seguro. En relación al desplazamiento, se debe destacar que es grande, involucrando un foco principal de atención que debe abordarse en el proceso de rediseño, para mejorar los valores críticos y garantizar un dispositivo seguro y funcional.

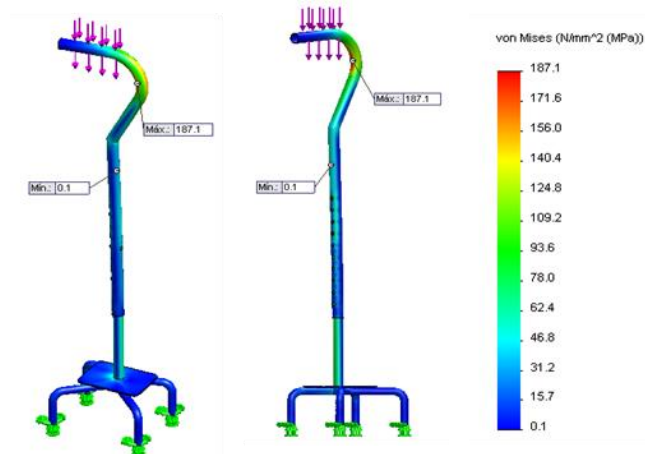


Figura 5. Tensión máxima de von Mises.

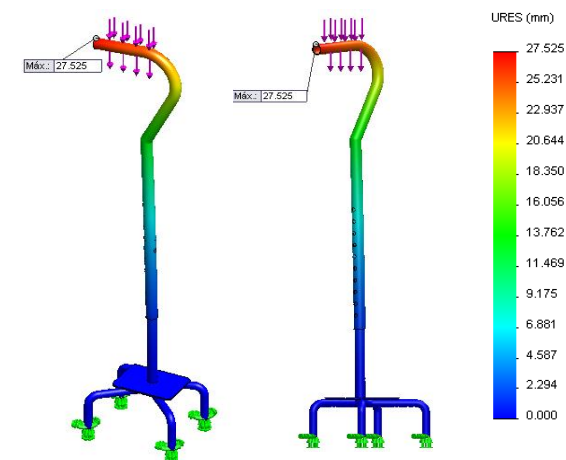


Figura 6. Desplazamiento.

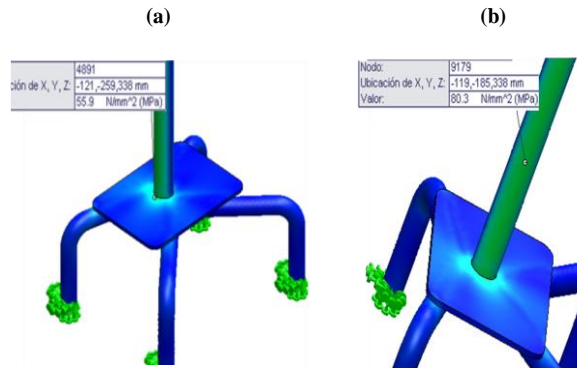


Figura 7. Tensión de von Mises: (a) en la lámina base (b) en la caña inferior.

## 4 Rediseño

A través del rediseño se persigue ajustar dimensionalmente a materiales disponibles localmente, proporcionar cambios en el dispositivo que permitan mejorar su comportamiento ingenieril, además de agregarle valor para satisfacer las necesidades de los usuarios. Para llevar a cabo este proceso se establecieron los siguientes criterios: cambios a nivel geométrico incluyendo adaptación a normas y valores estándares para estos productos de apoyo, cambios y ajustes en los materiales de construcción, y adición de accesorios. La Tabla 3 muestra un resumen de los principales cambios realizados al dispositivo, los cuales se detallan a lo largo de este apartado.

### 4.1 Modificaciones a nivel geométrico

Tal como se observa en la Tabla 3, los cambios en la geometría se dividen en dos, a nivel de la empuñadura y a nivel de la caña inferior, a continuación, se detallan los cambios:

**Empuñadura:** Con el propósito de disminuir el alto desplazamiento generado en el bastón cuando se le aplica la carga, además de disminuir la tensión máxima en la caña superior, se propuso realizar algunas modificaciones en la empuñadura, manteniendo la altura de la misma con respecto al tramo recto de la caña superior. Estos ajustes incluyen las dimensiones de diámetro y longitud de la empuñadura para un óptimo diseño. Para ello se procedió a alinear el centro de la empuñadura con el eje del tubo (o tramo recto) de la caña superior, trayendo consigo un ajuste en la curvatura de dicha pieza para asegurar la altura adecuada.

Para realizar el ajuste en las dimensiones se consideró lo indicado en la Norma UNE-EN 894-3\_2001-A1:2009 Seguridad de las máquinas. Requisitos ergonómicos para el diseño de dispositivos de información y mandos. Parte 3: Mandos (Rebolledo 2011) mostrado en la Figura 8. Esta modificación es importante ya que garantiza al usuario una buena interacción con el producto al tener las dimensiones adecuadas, ya que la manipulación es a través de la empuñadura.

Tabla 3. Cuadro resumen de las acciones para el rediseño del bastón.

	Modificación	Propósito
Geometría	Alineación del centro de la empuñadura con el eje de la caña del bastón.	Disminuir el desplazamiento total generado. Disminuir las tensiones en algunas zonas del bastón.
	Verificación de las medidas de la empuñadura. Diámetro y longitud del mando manual.	Brindar al paciente una empuñadura dentro de los estándares ergonómicamente recomendados
Caña Inferior	Alargue de la caña inferior hasta el contacto con el suelo.	Disminuir zona de alta tensión entre la caña inferior y la lámina base.
Material	Ajuste de dimensiones de las tuberías del bastón a medidas estandarizadas y disponibles a nivel local.	Obtener un dispositivo que se pueda fabricar con materiales disponibles localmente.
Accesorios	Accesorio de carga	Agregar accesorio de carga que permita al usuario mayor autonomía y comodidad.

Método de prensión	Parte de la mano que aplica la fuerza	Anchura o diámetro del mando manual, r (mm)	Longitud del mando manual según el eje de desplazamiento o rotación, s (mm)
1	2	3	4
Contacto	Dedo Pulgar Mano (plana)	$r \geq 7$ $r \geq 20$ $r \geq 40$	$s \geq 7$ $s \geq 20$ $s \geq 40$
Pinza	Dedo / pulgar Mano / pulgar	$7 \leq r \leq 80$ $15 \leq r \leq 60$	$7 \leq s \leq 80$ $60 \leq s \leq 100$
Agarre	Dedo / mano	$15 \leq r \leq 35$	$s \geq 100$

Figura 8. Dimensiones mínimas recomendadas para la empuñadura (Rebollo 2011)

Debido a que el modo de uso del bastón es de tipo agarre, utilizando la mano para la aplicación de fuerza, se considera un diámetro de 35mm, valor que resultará de la suma del diámetro del tubo y del material que cubrirá la empuñadura, de igual modo se trabajará con un valor de longitud de 100mm. En la Figura 9 se muestran los diferentes diseños de empuñaduras planteados, con cada uno de ellos se realizó el respectivo análisis de esfuerzos. En atención a los diseños propuestos y considerando los resultados obtenidos para desplazamiento y factor de seguridad, además de la facilidad del proceso de manufactura para su fabricación, se seleccionó el diseño 'e' (Figura 9).

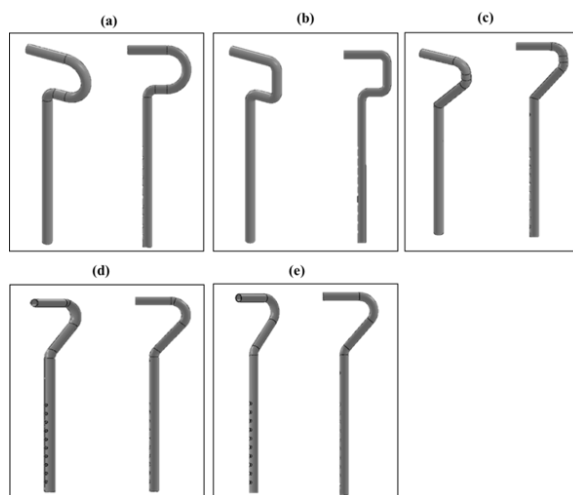


Figura 9. Diseños de empuñaduras planteados.

**Caña inferior:** La modificación en la caña inferior del bastón tuvo por objetivo disminuir las tensiones generadas en esta pieza y las tensiones existentes entre la lámina base y la caña inferior debido a la interacción entre ambos elementos. Para cumplir con este propósito se planteó extender la longitud de este elemento hasta tener contacto directo con la superficie de apoyo, generándose entonces una pata adicional para el bastón (ver Figura 10), lo que propicia mayor estabilidad y un punto adicional de apoyo a través del cual se puede disipar con mayor facilidad la carga aplicada, reduciendo las tensiones en la lámina base y las generadas a lo largo de la caña inferior.

En este sentido, se realizó el análisis estático del diseño, bajo las mismas condiciones en las que se analizó el diseño original, a fin de comparar el efecto generado por la modificación. Como resultado se pudo apreciar una reducción importante de tensiones, en el modelo final de bastón se obtuvo una reducción de tensión en la lámina base de hasta 90% y a lo largo de la caña inferior, de 83%.

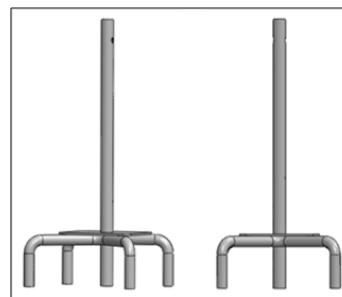


Figura 10. Rediseño de la caña inferior.

#### 4.2 Modificaciones a nivel de material

En relación a los ajustes de material, una de las intenciones de este trabajo es proponer un diseño del bastón partiendo de materiales que puedan encontrarse localmente, con el fin

de asegurar su fabricación y obtener un producto de menor costo, además de fortalecer la producción nacional de estos dispositivos. En concordancia con esto se realizó una búsqueda en catálogos de materiales de fabricantes y distribuidores venezolanos, analizando cada una de las propuestas con el fin de seleccionar aquellas que brindaran resultados ingenieriles positivos a fin de preservar la seguridad del diseño. A continuación, se describe cada material seleccionado para el rediseño del bastón.

**Tubería estructural:** Para preservar características del dispositivo como rigidez, alta resistencia a la deformación y bajo peso se decidió mantener como material el Aluminio 6061-T6, pero ajustando las dimensiones de diámetros y espesores a lo disponible según el catálogo de la empresa Extrusión de Aluminio, C.A. (Extrudal s.f.), que proporciona tubería de aluminio extruido. En la Figura 11 se puede observar algunas propiedades mecánicas de los materiales suministrados por la empresa.

ALEACIONES Y SUS TEMPLES EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN  
ALLOYS AND TEMPLES IN THE PROCESS OF EXTRUSION

Propiedades Mecánicas (Valores Típicos) - Mechanical Properties (Typical Values)								
Aleación Alloy	Temple	Densidad Density	Carga de Rotura Breaking load	Límite Elástico Elastic Limit	Alargamiento Elongation	Conductividad Eléctrica Electrical Conductivity		Módulo de Elasticidad Modulus of Elasticity
		gr/cm <sup>3</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	% En muestra de % in sample 50 mm	% IACS	min MS/m A 20°C	
1100	F	2,71	8,0	4,0	40	59	34	7,0
1350	H111		6,5	3,0	25	62	36	
6061	T4		23,0	13,5	22	40	23	
	T6		29,5	26,0	12	43	25	
6063	T4E		17,5	9,0	22	50	29	
	T5		19,0	15,0	12	55	32	
	T6		24,5	22,0	12	53	31	
6005	T5		29,0	26,0	10	49	28	
6101	T6		22,5	19,5	14	56	33	

Figura 11. Propiedades mecánicas de productos de la empresa Extrusión de Aluminio, C.A. (Extrudal s.f.).

Para la selección de la tubería utilizando el catálogo se tomó en cuenta dos criterios: seleccionar tubos que brindaran la menor holgura posible entre ellos para las cañas superior e inferior (para asegurar la estabilidad del bastón) y seleccionar tubería con espesores iguales o mayores a los de la versión original del bastón (para asegurar un comportamiento estructural semejante). En la Tabla 4 pueden observarse las dimensiones para la versión original del bastón y las seleccionadas del catálogo.

Tabla 4. Tubería seleccionada para el bastón.

Tubería	Original		e	Rediseño		e
	D <sub>ext</sub>	D <sub>int</sub>		D <sub>ext</sub>	D <sub>int</sub>	
Caña Superior	22,60	19,62	1,50	25,40	22,40	1,50
Caña Inferior	18,90	16,40	1,25	22,22	19,62	1,30
Patás	16,00	13,50	1,25	15,88	13,27	1,30

Nota: dimensiones en milímetros.

**Lámina base:** Es una pieza fundamental del bastón donde se fijan las patas y se une con la caña inferior, esta pieza debe ser de un material resistente y que posea baja oxidación, además, debe encontrarse disponible en el mercado local. En tal

sentido se seleccionó Acero Inoxidable AISI 304 o 304L, material que posee las características requeridas además de una mejor capacidad para la soldadura, aceptando la mayoría de las técnicas de soldadura por fusión o resistencia. A nivel nacional se encontraron varias empresas que suministran este material en láminas de distintos espesores, entre ellas Vencraft C.A. (s.f.), Suplimeca (s.f.) y Maploca (s.f.).

4.3 Accesorios

Se modeló un accesorio de carga que se puede colocar directamente en la caña superior del bastón, a presión, éste le permite al paciente disponer de un utensilio para colgar algún bolso o bolsa. El accesorio mostrado en la Figura 12 considera las dimensiones del dispositivo, además es desmontable para no afectar directamente la estructura original.

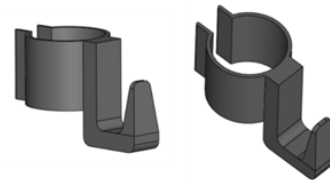


Figura 12. Accesorio de carga.

4.3 Análisis de esfuerzos

El modelo del bastón rediseñado se muestra en la figura 13a (a modo comparativo en la figura 13b se muestra el modelo original), a este modelo se le realizó el análisis estático de esfuerzos para estudiar su comportamiento ante la carga aplicada y poder validarlo, las consideraciones para las condiciones de borde fueron las mismas que las del modelo original: contacto entre componentes sin penetración, caras inferiores de cada una de las patas del bastón como rígidas, simulando un empotramiento, además, se trabajó con el tipo de malla sólida basada en la curvatura con una calidad de malla de elementos cuadráticos de alto orden y una relación entre el tamaño mínimo y máximo de cada elemento de 3 a 1.

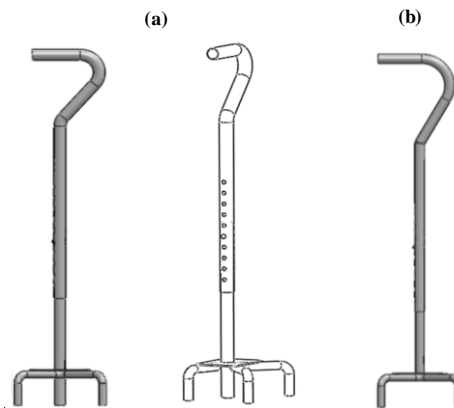


Figura 13. (a) Bastón rediseñado (b) Bastón original.

Para la carga se seleccionó el mismo criterio que para el bastón original, 50% del peso del paciente, 50 Kg o su equivalente, 500 N, del tipo distribuida a lo largo de la empuñadura con una dirección perpendicular a ésta. Una vez realizado el análisis se obtuvo como resultados que para la tensión de von Mises se alcanzó convergencia con 30971 elementos y un valor de 189,3 MPa ubicado en la curva cercana a la empuñadura (Figura 14a), además, el modelo mostró un factor de seguridad mínimo de 1,5 (Figura 14b). Con respecto al desplazamiento, se obtuvo un resultado de 4,9 mm ubicándose en la zona de la empuñadura (Figura 15).

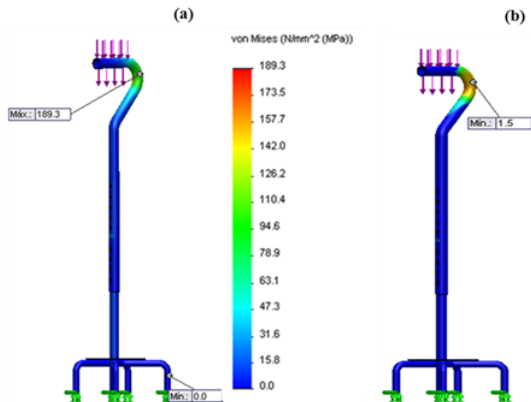


Figura 14. Bastón rediseñado. (a) Tensión de von Mises. (b) Factor de seguridad.

En relación a las zonas con más altos esfuerzos luego de la zona crítica, en la Figura 16 se observa la caña inferior del bastón, donde ocurrió una reducción de tensión considerable, con valor promedio de 83%. La lámina base, donde se obtuvo una reducción de tensiones de 90% (en promedio) se muestra en la Figura 17.

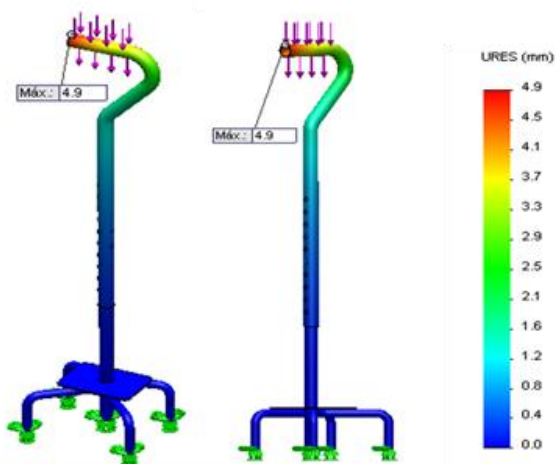


Figura 15. Bastón rediseñado: Desplazamiento.

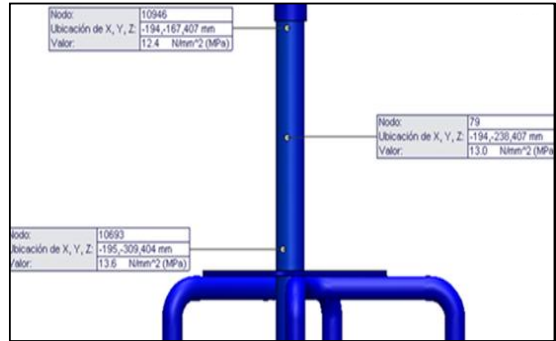


Figura 16. Tensión de von Mises en la caña inferior.

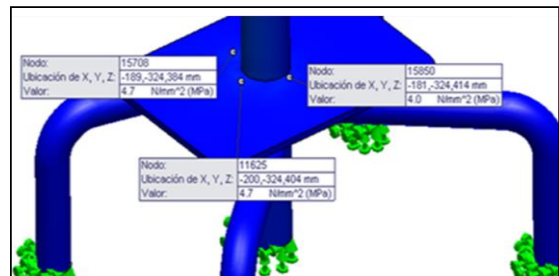


Figura 17. Tensión de von Mises en la lámina base.

## 5 Análisis de resultados

Al comparar los resultados obtenidos en el bastón rediseñado respecto a los del modelo original, se tiene que la tensión de von Mises máxima incrementó en 1,18%, aunque el factor de seguridad se mantuvo en 1,5 garantizándose la seguridad de la versión original (pudiendo soportar hasta un 50% más de la carga aplicada) y se obtuvo un cambio satisfactorio del desplazamiento en la empuñadura ya que hubo una disminución del 82,2%; de igual modo, el modelo rediseñado presentó también disminución significativa de los esfuerzos en la caña inferior y la lámina base.

Todos estos resultados favorables se relacionan con un bastón rediseñado considerando el uso de material disponible localmente, el ajuste de la geometría de la empuñadura, tanto alineándola con el eje de la caña del bastón para disminuir desplazamiento, como ajustando su propio diámetro y longitud para mejorar la ergonomía de este mando manual; y el alargue de la caña inferior para disminuir las tensiones entre la caña inferior y la lámina base. Se obtiene entonces un bastón rediseñado estructuralmente resistente y que proporcionará estabilidad, además de ser funcional, seguro y económicamente accesible para los usuarios.

## 6 Conclusiones

El análisis estático del bastón arrojó un factor de seguridad de 1,5 y un desplazamiento máximo de 27,5 mm en la zona de la empuñadura, de estos resultados partió el rediseño, cuyo objetivo se centró en ajustar a materiales disponibles localmente, disminuir el desplazamiento obtenido y aliviar esfuerzos en zonas críticas del bastón.

Este proceso de rediseño incluyó cambios a nivel geométrico, alineando el centro de la empuñadura con el eje del tubo de la caña superior para disminuir los valores de desplazamiento en esta zona, y ajustando el diámetro y longitud de la empuñadura (mando manual), además, se alargó la caña inferior, generando una pata adicional para el bastón, con el fin de disminuir tensiones en la lámina base y a lo largo de la caña inferior. En relación al material, se trabajó con Aluminio 6061-T6 para las cañas superior e inferior y acero inoxidable AISI 304 para la lámina base, materiales disponibles en el mercado venezolano.

El análisis estático mostró resultados favorables en el modelo del bastón rediseñado, manteniéndose el factor de seguridad de 1,5 y alcanzándose un desplazamiento máximo de 4,9 mm. El nuevo modelo soporta un 50% por encima de la carga aplicada con menor valor de desplazamiento (que se redujo en 82%). También se logró reducción de tensión en la lámina base (hasta 90%), a lo largo de la caña inferior (83%) y a lo largo de la caña superior (81%).

### Agradecimientos

Al Decanto de Investigación de la UNET por el apoyo en el desarrollo del proyecto No. 01-011-2017 y a los distintos centros de atención médica y terapéutica de personas con discapacidad en miembros inferiores del estado Táchira, por su continua colaboración en el proceso de detección de necesidades y desarrollo de propuestas de diseño.

### Referencias

Bermejo I, Sánchez F, Navarro J, Martínez L, Alemany S, Ferris J, Marzo R y Prant J, 2015, Reinventando el concepto de muleta. *Revista de biomecánica*, Vol. 61. No. 61, p. 69-75.

Cruz Roja, s.f., Tipos y grados de discapacidad. [Página Web en línea]. Disponible: [http://www.cruzroja.es/portal/page?\\_pageid=418,12398047&\\_dad=portal30&\\_schema=PORTAL30](http://www.cruzroja.es/portal/page?_pageid=418,12398047&_dad=portal30&_schema=PORTAL30) [Consulta: 2017, marzo 01].

Drive Medical, s.f., Descripción del bastón de cuatro puntos. [Página Web en línea]. Disponible: <https://www.drivemedical.com/us/en/Products/Mobility/Canes/c/Canes> [Consulta: 2017, Junio 17].

EASTIN, 2017, Clasificación productos de apoyo Norma ISO 9999:2016. [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.eastin.eu/es-es/searches/products/iso> [Consulta: 2017, Febrero 25].

Extrudal, s.f., Catálogo de extrusiones de aluminio. [Documento en línea]. Disponible: <http://extrudal.com/cat1.pdf>. [Consulta: 2017, Julio 10].

Giraldo M, 2012, Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembros inferiores, Trabajo de grado para Ingeniero Biomédico. Universidad CES, Colombia.

Instituto Nacional de Estadística (INE), 2014, Mesa Técnica

de estadística de discapacidad. [Página Web en línea]. Disponible en: <http://www.ine.gov.ve/> [Consulta: 2017, febrero 7].

Maploca, s.f., Catálogo de productos. [Documento en Línea] Disponible: <http://www.maploca.com/archivos/descargas/catalogo-maploca.pdf>. [Consulta: 2017, Julio 21].

Organización Mundial para la Salud (OMS), 2011, Informe mundial sobre la discapacidad. [Documento en línea]. Disponible: [http://www.who.int/disabilities/world\\_report/2011/summary\\_es.pdf](http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/summary_es.pdf) [Consulta: 2017, Febrero 13].

Organización Mundial para la Salud, OMS, 2018, Discapacidad y salud. [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs352/es/> [Consulta: 2018, diciembre].

Rebolledo C, 2011, Diseño de un andador para adultos, Trabajo de grado para Ingeniero Técnico Industrial Mecánico. Universidad Pública de Navarra, Colombia.

Sánchez I, Ferrero A, Aguilar J, Climent J, Conejero J, Florez M, Peña A, Zambudio R, 2006, Manual SERMEF para la rehabilitación y medicina física. Caracas: Panamericana.

Sebastián M, Valle I y Vígara A, 2011, Productos de apoyo para la autonomía personal. Ministerio de sanidad, servicios sociales e igualdad, Gobierno de España. [Documento en Línea] Disponible: <http://www.ceapat.es/InterPresent2/groups/imserso/documents/binario/guadeproductos-deapoyo.pdf> [Consulta: 2017, Enero 8].

SolidWorks, 2015. [Página web en línea]. Disponible: <http://help.solidworks.com/HelpProducts.aspx> [Consulta: 2017, Julio 04].

Sriharsha P, Somani S, 2015, Design and manufacture of an angle adjustable crutch with kennedy key. *International Journal of Research in Engineering and Tecnology*, Vol. 04. No. 05, p. 80-83.

Suplimeca, s.f., Catálogo de productos. [Página web en línea]. Disponible: <http://www.suplimeca.com/productos.html>. [Consulta: 2017, Octubre 20].

Tecnum, s.f., Movilidad - Bastones. [Página web en línea]. Disponible: <http://www.tecnum.net/bastones.htm> [Consulta: 2017, Junio 30].

Vencraf C.A., s.f., Catálogo en línea. [Página web en línea]. Disponible: <https://2426-ve.all.biz/laminas-g8476> [Consulta: 2017, Octubre 20]

**Recibido:** 13 de julio de 2019

**Aceptado:** 10 de octubre de 2019

**Pérez, Anibal:** Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional Experimental del Táchira - UNET (2017). Correo electrónico: [anibal.perez@unet.edu.ve](mailto:anibal.perez@unet.edu.ve)

**Amador, Belkys:** Ingeniero Mecánico UNET (1996), Ph.D. en Ingeniería USB (2014), Profesor Auxiliar Categoría III Universidad Austral de Chile, Profesor Titular UNET.



**Pacheco, María:** Ingeniero Mecánico UNET (1992),  
Profesor Asistente UNET. Correo electrónico:  
[mpacheco@unet.edu.ve](mailto:mpacheco@unet.edu.ve)

