

## DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SILLA DE RUEDAS ELÉCTRICA PLEGABLE PARA UNA PERSONA CON PROBLEMAS DE MOVILIDAD

*John Calle<sup>41</sup>, Erika Mendia,  
Francisco Lojano, Diego Castanier*

En este trabajo se lleva a cabo el diseño estructural de una silla de ruedas plegable considerando las necesidades específicas de un paciente en particular. En primera instancia se hace una revisión bibliográfica de diferentes dispositivos con características similares, posteriormente se detalla la situación médica que presenta el paciente con hiperlordosis y espasticidad muscular para conocer cuáles son las acciones y movimientos en los que tiene dificultad durante sus actividades cotidianas, y además se detalla cada uno de los resultados de médicos especialistas en el tema; a continuación se procede a diseñar la silla de ruedas eléctrica plegable con la ayuda del software AutoCAD Mechanical 2018 y Autodesk Inventor Professional 2018, se ejecutan después los cálculos de resistencia de los materiales para, garantizar que la silla soporte las sollicitaciones mecánicas a las que va a estar expuesta. Finalmente, se define un diagrama cinemático de forma que garantice que la silla pueda plegarse correctamente. Todo ello permite obtener una silla ergonómica y estética que cumple con las características definidas para la persona en mención.

Palabras clave: hiperlordosis, espasticidad muscular, silla de ruedas eléctrica plegable.

---

<sup>41</sup>Ing. Mecánica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador {jcalles@ups.edu.ec}

## INTRODUCCIÓN

Inicialmente se describe el diagnóstico actual de la paciente para conocer las limitaciones que se le presentan en el desarrollo de sus actividades cotidianas y establecer así los parámetros de diseño. Después, se hace un estudio del estado del arte de los dispositivos existentes que permiten ayudar a las personas con problemas de movilidad.

### *Diagnóstico y análisis de la necesidad*

Se considera un paciente femenino con problema de marcha deficitaria debida una hipertonia y espasticidad severa en los miembros inferiores diagnosticada por un médico fisiatra rehabilitador. Entiéndase por *espasticidad* un trastorno motor caracterizado por un aumento dependiente de velocidad en el reflejo de estiramiento muscular con movimientos exagerados de los tendones acompañados de hiperreflexia e hipertonia debido a la hiperexcitabilidad neuronal, siendo este uno de los signos del síndrome de neurona motora superior. La paciente presenta una severa hiperlordosis lumbar y una escoliosis dorsolumbar severa de concavidad izquierda (ver Fig. 1.)

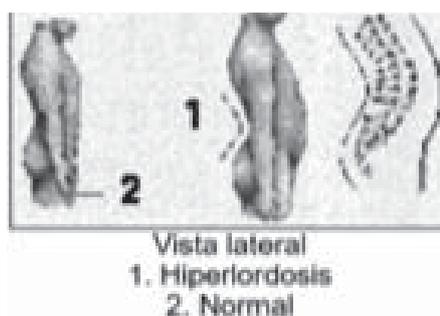


Figura 1. Hiperlordosis lumbar (Fuente: Red española de investigadores en dolencias de la espalda)

El estado de la paciente le impide moverse libremente y necesita la ayuda de otra persona para poder desplazarse, está sometida a riesgos de sufrir accidentes que atenten su integridad física en el momento de llevar a cabo cualquier actividad. Actualmente es sometida a un

proceso de fisioterapia, ya que para movilizarse lo hace con una marcha cruzada, por lo que es necesario que mientras se moviliza o lleva a cabo actividades de oficina mantenga sus piernas entreabiertas, por esto requiere un dispositivo que le permita desplazarse libremente en su ambiente laboral, es decir, que sea lo más ergonómico posible, estético y no afecte ninguna parte sensible de su cuerpo. Para ayudarle en su problema de espasticidad muscular, la paciente requiere una inyección de toxina botulínica cada ocho meses para que ese medicamento permita la relajación de sus músculos y hacerse una fisioterapia adecuada.

### *Análisis cronológico de sillas de ruedas plegables*

En el año 2000, Fukawa diseña la estructura de montaje para una silla de ruedas accionada eléctricamente. Este diseño surge de la dificultad que presentan las sillas de ruedas eléctricas plegables, ya que él considera que al incluir un motor eléctrico y una batería, su peso aproximado sería de 30 Kg, por lo cual, el introducirla en un vehículo sería un trabajo que no puede ejecutar una sola persona, por eso se diseñó una silla de ruedas en la que se puedan desmontar fácilmente las ruedas traseras y tenga un bastidor plegable. Este mecanismo se puede utilizar en sillas de ruedas eléctricas y de uso general, pudiendo así ser introducidas por una sola persona en vehículos con un estrecho espacio disponible.

Esto se puede lograr al poner la rueda trasera junto con un par de ruedas también traseras en la parte posterior del bastidor y a modo desmontable. “La pieza de la rueda trasera y el lado trasero del bastidor están provistos de un elemento de bloqueo y un elemento de recepción que pueden acoplarse entre sí y están dispuestos de manera conveniente”. El miembro receptor está constituido por una superficie de bloqueo cóncava en el lado alejado del elemento de bloqueo, el cual consta de un rebaje de inserción en el que puede insertarse el miembro de recepción. En la silla de ruedas, la parte de la rueda trasera puede ser simplemente montada o separada del bastidor por medio de un gancho (Hisashi Furukawa, 2000) (ver Fig. 2).

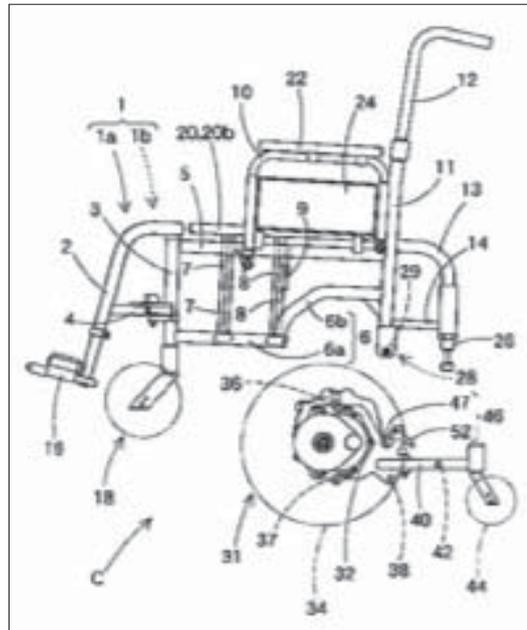


Figura 2. Estructura de montaje para una silla de ruedas accionada eléctricamente. Furukawa, H. (2000)

En el año 2002 se crea un andador/silla de ruedas motorizado. Al pasar de los años se han venido utilizando sillas de ruedas con diferentes accionamientos y andadores de diversos tipos, sin embargo, este diseño se basa en una silla de ruedas en combinación con una caminadora. La ventaja que ofrece a diferencia de otros dispositivos similares es que se puede plegar con la finalidad de que sea fácil de almacenar y trasladar.

Su diseño se basa en un bastidor A, en uno de cuyos extremos se encuentra unido a un motor y el otro extremo se encuentra unido a una rodadura que se une en un punto de pivote en su vértice. Desde uno de sus extremos se sitúa el conjunto de mango de control, que va a permitir controlar la velocidad al utilizar el dispositivo como una caminadora. El asiento está asegurado en su parte trasera al separador del soporte del asiento.

Además, el diseño consta de controles manuales que permiten regular el funcionamiento de un motor impulsado por la rueda, u opcionalmente, a motores separados que accionan dos ruedas. En la figura 3 se puede observar un eslabonamiento 30, que permite que la viga se eleve hacia arriba permitiendo posteriormente que “la disposición de ruedas giratorias de desplazamiento se mueva en proximidad entre sí mientras el asiento

se pliega hacia arriba y toda la unidad queda de modo portátil o plegada” (ver Fig. 3) (Aaron J. Epstein, 2002).

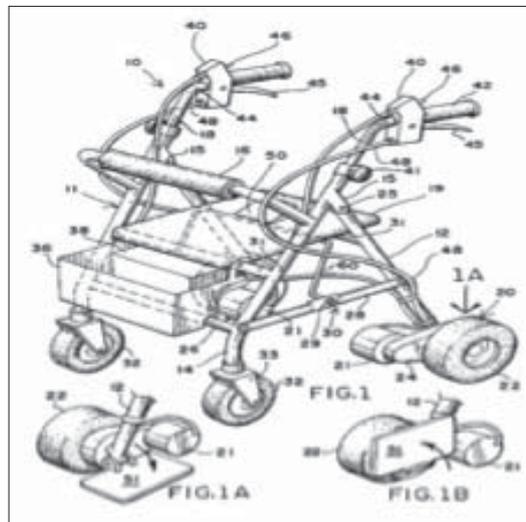


Figura 3. Silla de ruedas motorizados Epstein, A. J. (2002)

En 2012 se crea la silla de ruedas eléctrica plegable con base en las premisas del cuidado humano para incrementar el progreso social y ayudar con la movilidad de los discapacitados, ancianos y enfermos. Se ha desarrollado una silla de ruedas eléctrica proporcional al cuerpo para reemplazar así su acción, y aunque no se pueden resolver del todo ciertos problemas, estos se han ido reduciendo. Lo que se pretende es llevar a cabo un plegado de la silla en el menor tiempo posible y sin tener que desmontar las ruedas motrices.

Para cumplir con los objetivos, la estructura de una silla de ruedas plegable comprende un grupo silla, una combinación de un miembro de sentado, un miembro de bastidor de asiento conectado al segundo pivote, el segundo bastidor y el primer marco están conectados de manera pivotante a la primera trama y la tercera trama está conectada de manera pivotante al miembro de asiento, que es conectado a su vez de manera pivotante a la silla grupo a través del miembro que se sienta. Una primera trama, una segunda trama y una tercera trama forman una articulación de cuatro barras y la silla se pliega. Tiene un grupo de dos ruedas de accionamiento separadas y montadas en un lado inferior del tercer grupo de bastidor de asiento de modo que la trayectoria de la silla plegable se encuentre perpendicular al eje de la rueda (ver Fig. 4) (Wu Bixiang, Julio 2012).

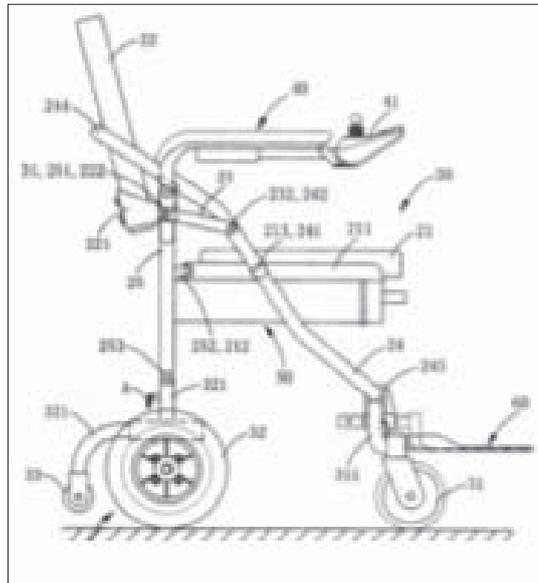


Figura 4. Silla de ruedas eléctrica plegable. Wu Bixiang (2012)

En 2012 se presenta la silla de ruedas con mecanismo para subir escalones. Este mecanismo ofrece a los usuarios una buena autonomía en el manejo y está diseñado para personas con problemas de locomoción o movilidad reducida en sus piernas (ver Fig. 5) (Escudero Mendoza, J.P.; Ruiz Miranda, C.F. (2012)).



Figura 5. Silla de ruedas que sube y baja escaleras Escudero Mendoza, J. P., & Ruiz Miranda, C. F. (2012)

En 2015, Gao diseña una silla de ruedas eléctrica plegable. El uso de sillas eléctricas para facilitar la movilidad y transporte de las personas con discapacidad es muy común, sin embargo, los motores eléctricos y

las baterías le añaden un peso considerable. Por eso este diseño se basa en los problemas relacionados con el gran peso y volumen de una silla de ruedas para proporcionar a los usuarios una silla de ruedas plegable, fácil de transportar, ligera y, al mismo tiempo, segura y cómoda.

Con el fin de lograr esas características, la silla de ruedas eléctrica es plegable usando un conjunto de elementos de bastidor unidos estratégicamente entre sí en los puntos de articulación y permitiendo así que el asiento, el bastidor de soporte trasero, un bastidor principal y otro bastidor de soporte inferior puedan ser plegados fácilmente. Los motores eléctricos son accionados por un par de baterías ubicadas en los elementos de soporte huecos del bastidor principal, de tal forma que reduce el volumen total y el peso de la silla de ruedas eléctrica.

La silla de ruedas eléctrica plegable comprende un “bastidor de soporte plegable, cuatro ruedas unidas al bastidor, un par de motores conectados cerca de las ruedas traseras para la unidad de accionamiento, un asiento de apoyo y una fuente de energía” (ver Fig. 6) (Zi Gao Gui, 23 junio 2015).

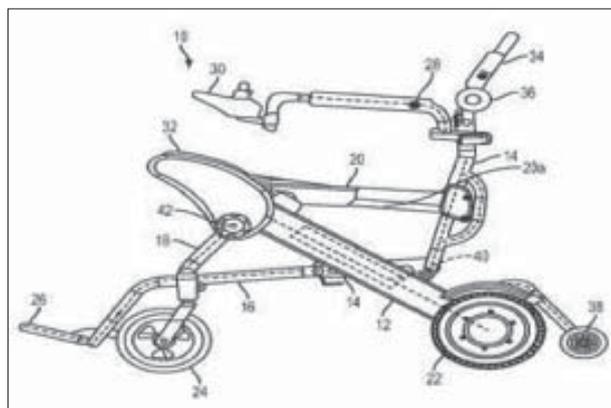


Figura 6. Silla de ruedas eléctrica plegable. Gao, Z. G. (2015)

En 2016 salió al mercado la silla eléctrica plegable Kittos (Fig. 7), que es una de las más livianas en el mercado con un peso de solo 23.7 Kg, de dimensiones bastante reducidas y con sistema de plegado bastante sencillo. La Kittos soporta un peso máximo de 160 Kg, además de que presenta un conjunto asiento y respaldo bastante cómodo que ofrece un confort bastante aceptable.



Figura 7. Silla de ruedas eléctrica plegable Kittos (Fuente: Totalcare Europe)

## DESARROLLO

### *Condiciones de diseño*

El diseño se basa en una revisión bibliográfica de dispositivos como “sillas de ruedas eléctricas plegables” de autores que han considerado parámetros para garantizar que la silla esté motorizada, presente condiciones de ergonomía, antropometría, estética y sea fácil de transportar (plegable). El valor agregado de este diseño es que al ser destinada a una persona determinada y conocer su situación actual, se pretende que la estructura sea lo más liviana posible para garantizar condiciones de resistencia estructural, así como tener en cuenta también el uso de materiales nuevos en el momento de su construcción.

### *Propuesta de diseño de la silla de ruedas eléctrica plegable*

En la Fig. 8 se presenta la propuesta de diseño de la estructura de la silla de ruedas en el que se utilizarán para el chasis perfiles rectangulares de aluminio de 50 mm x 40 mm y 4 mm de espesor de pared; para la base del asiento, ejes de aluminio de 25 mm; para la estructura del espaldar, perfiles tubulares de 25 mm y 1.5 mm de espesor de pared; y para las uniones, pasadores de acero inoxidable (esfuerzo de fluencia igual a 150 MPa) de 10 mm y un motor en cada rueda trasera que le permita girar 360°.

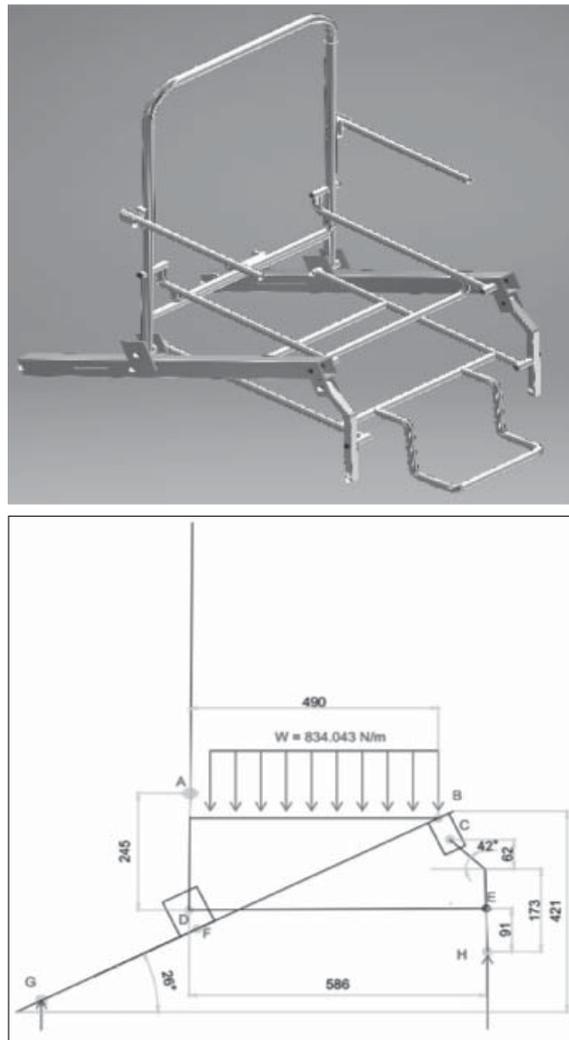


Figura 8. Propuesta del diseño estructural de la silla de ruedas plegable creada en Autodesk Inventor Professional 2018 y AutoCad Mechanical 2018 (Fuente: los autores)

### *Análisis estructural del mecanismo de barras*

Para el dimensionamiento de los elementos y garantizar que la estructura funcione correctamente al estar sometida a la carga de la persona, que es de 83.32 Kg, se hace un análisis estático de todo el armazón de la silla de ruedas, así como de los esfuerzos a los cuales va a estar sometido cada elemento. Las ecuaciones utilizadas y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Diagrama de cuerpo libre de cada barra con la fuerza que actúa sobre cada nodo y el tipo de esfuerzo al cual está sometido cada elemento (las longitudes de los elementos están en mm) (Fuente: los autores)

Elemento	Diagrama de cuerpo libre	Fuerzas en los nodos y en las barras
Armazón completo		$+\uparrow \sum F_y = 0$ $-408.681 N + F_G + F_H = 0$ $+\curvearrowright \sum M_H = 0$ $408.681 N (0.342 m) - F_G (0.880 m) = 0$ $F_G = 158.828 N$ $F_H = 249.853 N$
AB		$+\uparrow \sum F_y = 0$ $F_{Ay} + F_{By} - 408.681 = 0$ $+\curvearrowright \sum M_A = 0$ $-408.681 N (0.245 m) - F_{By} (0.490 m) = 0$ $F_{By} = 204.341 N$ $F_{Ay} = 204.34 N$ <p>Elemento sometido a flexión</p>
AD		$+\uparrow \sum F_y = 0$ $-F_{Ay} + F_{Dy} = 0$ $F_{Dy} = F_{Ay}$ $F_{Dy} = 204.34 N$ <p>Elemento sometido a compresión</p>
DF		$+\uparrow \sum F_y = 0$ $F_{Dy} + F_F (\cos 26^\circ) = 0$ $F_F = \frac{204.34 N}{\cos 26^\circ} = 227.349 N$ $+\rightarrow \sum F_x = 0$ $F_{Dx} - \frac{F_F}{\cos 64^\circ} = 0$ $F_{Dx} = 518.622 N$ <p>Elemento sometido a compresión</p>
DE		$+\uparrow \sum F_y = 0$ $F_{Dy} - F_{Ey} = 0$ $F_{Ey} = F_{Dy}$ $F_{Ey} = 204.34 N$ $+\rightarrow \sum F_x = 0$ $-F_{Dx} + F_{Ex} = 0$ $F_{Ex} = 518.622 N$ <p>Elemento sometido a tracción</p>
BG		$+\uparrow \sum F_y = 0$ $F_{By} + F_{Gy} + F_G = 0$ $F_{Gy} = F_{By} + F_{By} - F_G$ $F_{Gy} = F_{By} (\sin 26^\circ) + 204.341 N = 154.828 N$ $F_{Cy} = 253.853 N$ $F_C = \frac{253.853}{\sin(42^\circ)} = 379.377 N$ $F_B = \frac{204.341}{\cos(42^\circ)} = 274.968 N$ <p>Elemento sometido a compresión</p>
CH		<p>Elemento sometido a compresión</p>

Como se puede observar en la tabla 1, las condiciones de equilibrio se cumplen en todas las barras y, por tanto, la estructura es estable.

Para la obtención del valor del área transversal se utiliza el esfuerzo permisible mediante las ecuaciones 1 y 2 que se muestran a continuación

$$A = \frac{F}{\sigma_{m\acute{a}x}} \quad (1)$$

donde  $A$  es el área transversal,  $F$  es la fuerza que actúa sobre el elemento y  $\sigma_{m\acute{a}x}$  es el esfuerzo máximo.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.} \quad (2)$$

donde  $\sigma_{perm}$  es el esfuerzo permisible,  $\sigma_y$  es el esfuerzo de fluencia que para la aleación de aluminio 6061 es de 255 MPa y  $F.S.$  es el factor de seguridad. Para garantizar que la estructura no falle, así como la integridad de la persona, se utilizará un factor de seguridad de 3; además, la relación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo permisible debe ser menor de 1.

En la tabla 2 se muestra el valor mínimo del área transversal de los elementos sometidos a tracción y compresión.

Tabla 2. Valor mínimo del área transversal de los elementos sometidos a tracción y compresión (Fuente: los autores)

Elemento	Valor mínimo de la sección transversal	Valor utilizado en el diseño
AD	$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\sigma_{perm} = 85 \times 10^6 \text{ Pa}$ $\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = 0.8$ $\sigma_{m\acute{a}x} = 6.8 \times 10^7$ $A = \frac{F}{\sigma_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{204.34 \text{ N}}{6.8 \times 10^7 \text{ Pa}} = 3.005 \text{ mm}^2$	$A = 110.741 \text{ mm}^2$
DE	$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\sigma_{perm} = 85 \times 10^6 \text{ Pa}$ $\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = 0.8$ $\sigma_{m\acute{a}x} = 6.8 \times 10^7$ $A = \frac{F}{\sigma_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{518.622 \text{ N}}{6.8 \times 10^7 \text{ Pa}} = 7.62 \text{ mm}^2$	$A = 87.179 \text{ mm}^2$
BG	$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\sigma_{perm} = 85 \times 10^6 \text{ Pa}$ $\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = 0.8$ $\sigma_{m\acute{a}x} = 6.8 \times 10^7$ $A = \frac{F}{\sigma_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{274.968 \text{ N}}{6.8 \times 10^7 \text{ Pa}} = 4.043 \text{ mm}^2$	$A = 122.5 \text{ mm}^2$
CH	$\sigma_{perm} = \frac{255 \times 10^6 \text{ Pa}}{3}$ $\sigma_{perm} = 85 \times 10^6 \text{ Pa}$ $\frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} = 0.8$ $\sigma_{m\acute{a}x} = 6.8 \times 10^7$ $A = \frac{F}{\sigma_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{379.377 \text{ N}}{6.8 \times 10^7 \text{ Pa}} = 5.579 \text{ mm}^2$	$A = 54.67 \text{ mm}^2$

Para la obtención del valor mínimo del área transversal del elemento AB se verificará que la relación entre la deflexión máxima y la longitud sea 0.003. Según el libro *Resistencia de materiales* de Robert L. Mott, es usada en la parte general de una máquina.

Al ser una barra articulada y convertir la carga distribuida en una carga puntual que va a actuar en el centro del elemento, se puede obtener la deflexión máxima a partir de la relación:

$$y = -\frac{PL^3}{48EI} \quad (3)$$

donde  $y$  es la deflexión máxima,  $P$  es la carga que actúa sobre la barra,  $L$  es la longitud de la barra,  $E$  es el módulo de elasticidad del material, para la aleación de aluminio 6061 es de 68.9 GPa e  $I$  es la inercia de la barra.

$$y = -\frac{PL^3}{48EI}$$

$$y = -\frac{(-408.681 \text{ N})(0.49 \text{ m})^3}{48(68.9 \times 10^9 \text{ Pa})\left(\frac{\pi(0.025)^4}{64}\right)} = 0.00075 \text{ m} = 0.75 \text{ mm}$$

$$\frac{0.75}{490} = 0.001 \text{ que es menor a } 0.003 \text{ por lo tanto es aceptable}$$

Para el dimensionamiento de los pasadores se utilizarán las ecuaciones 1 y 2, cuyo lugar del esfuerzo máximo se considerará el esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (4)$$

donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante.

Tabla 3. Valor mínimo de la sección transversal de los pasadores de cada nodo de la armadura. (Fuente: los autores)

Nodo	Valor mínimo de la sección transversal	Valor utilizado en el diseño
A	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{204.34 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 5.1085 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$
B	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{204.34 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 5.1085 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$

C	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{349.377 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 8.7344 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$
D	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{204.34 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 5.1085 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$
E	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{518.622 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 12.9656 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$
G	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{158.8 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 3.97 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$
H	$\tau_{perm} = \frac{\sigma_y}{F.S.}$ $\tau_{perm} = 5 \times 10^7 \text{ Pa}$ $\frac{\tau_{m\acute{a}x}}{\tau_{perm}} = 0.8$ $A = \frac{F}{\tau_{m\acute{a}x}}$ $A = \frac{249.853 \text{ N}}{4 \times 10^7 \text{ Pa}} = 6.246 \text{ mm}^2$	$A = 78.53 \text{ mm}^2$

A fin de determinar el espesor de las placas que unen la estructura del espaldar con el chasis se analizará el esfuerzo en el apoyo, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

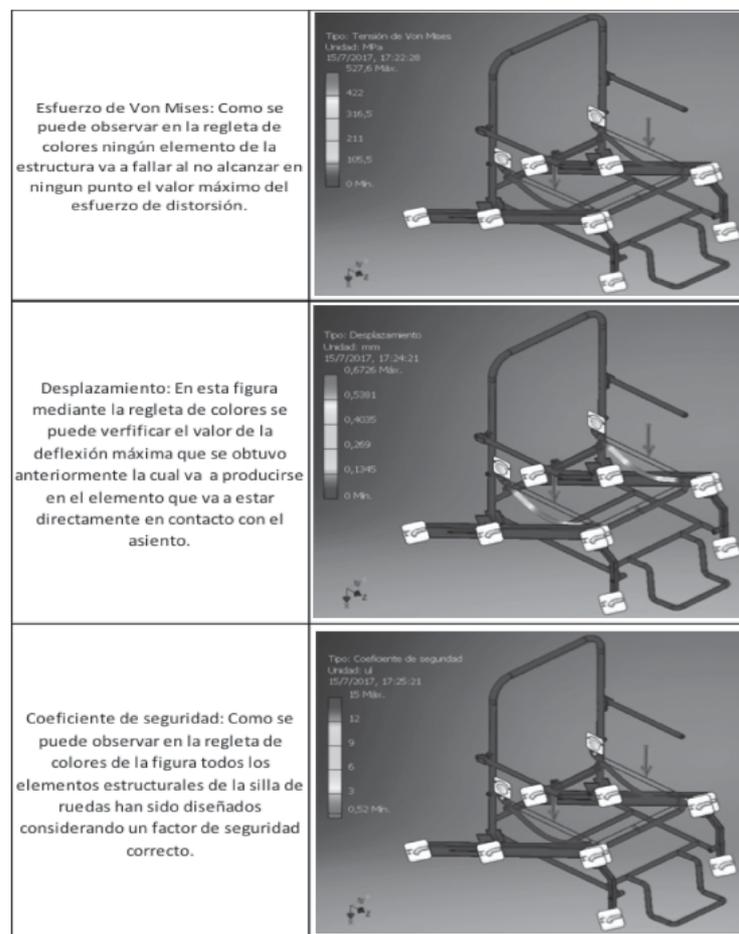
$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{td} \quad (5)$$

donde  $t$  es el espesor de la placa y  $d$  es el diámetro del agujero.

En el diseño, el valor utilizado para el espesor de la placa es de 4 mm, por lo que no se producirá deformación del material como resultado del apoyo del pasador.

Finalmente, para verificar que la estructura no falle se hace una simulación de su estructura mediante el uso del software Autodesk Inventor Professional 2018, cuyos resultados se presentan en la tabla 4. También se puede obtener un peso aproximado de 8 Kg mediante la herramienta *Propiedades físicas* de ese software.

Tabla 4. Simulación del comportamiento de la estructura de la silla de ruedas sometida una carga de 83.32 Kg. (Fuente: los autores)



### ***Análisis cinemático del proceso de plegado***

Para garantizar que la silla pueda plegarse correctamente se ha llevado a cabo el diagrama cinemático que se muestra en la Fig. 9. El

comportamiento de la silla al estar abierta debe ser el de una estructura, y esto se puede verificar mediante el uso de la Condición de Gruebler, la cual reza que “si el grado de libertad del sistema de eslabonamientos es cero, entonces el sistema se comportará como una estructura”.

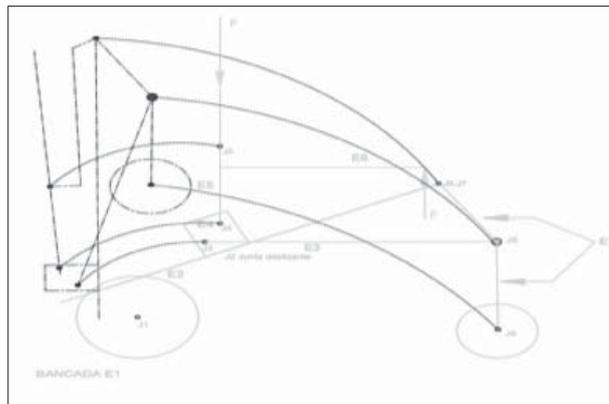


Figura 9. Diagrama cinemático del proceso de plegado de la silla de ruedas realizada en el software AutoCad Mechanical 2017 (Fuente: los autores)

$$GDL = 3(L - 1) - 2J1 \quad (4)$$

Donde L es el número de eslabones (E) y J1 es el número de juntas

$$GDL = 3(7 - 1) - 2 \cdot 9 = 0$$

En la figura 9 se presenta un diagrama que muestra la silla abierta y plegada.

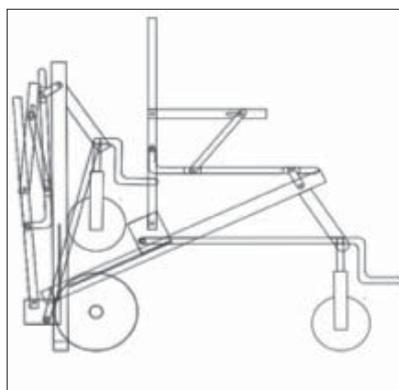


Figura 10. Representación del proceso de plegado de la silla realizada en el software AutoCad Mechanical 2018 (Fuente: los autores)

### ***Selección del cojín***

Se utilizará un cojín de espuma suave y contorneada para aumentar el confort contribuyendo a mantener una postura sana en la silla de ruedas. Debe ser anatómico y proporcionar estabilidad lateral y posterior facilitando el alineamiento corporal y maximizando la superficie de contacto.

### ***Selección de motor***

Se utilizará un motor de 24 V, 50 A y 250 W en cada rueda de 10", controlados por un *joystick* y freno EMB en cada motor.

## CONCLUSIONES

Para obtener un diseño eficiente es indispensable partir de las necesidades del paciente, lo cual permitirá que se ajusten todos los sistemas a su antropometría y que además sea estética y ergonómica.

Las herramientas de ingeniería ofrecen su aporte para garantizar en el diseño virtual que la silla cumpla todos los requerimientos mecánicos a la que va a estar expuesta, y permiten analizar cinemáticamente el mecanismo de tal manera que el comportamiento de la silla abierta sea el de una estructura fija.

La silla diseñada puede ser plegada fácilmente para que pueda transportarse cómodamente cuando no está en uso.

La estructura de la silla de ruedas diseñada pesa 8 Kg, peso similar al de las sillas más ligeras actualmente existentes en el mercado.

## REFERENCIAS

RED ESPAÑOLA DE INVESTIGADORES EN DOLENCIAS DE LA ESPALDA. Hiperlordosis  
Disponible: <http://www.espalda.org/divulgativa/dolor/causas/alteraciones/hiperlordosis.asp>

ANON (2017) *Lesiones de la médula espinal*. Disponible: <http://www.scirecovery.org/ssci.htm#top>.

BEER, F.; JOHNSTON, R. (2010) *Mecánica de material*. 5ª edición, Mc Graw Hill.

- EPSTEIN, A.J. (2002) *U.S. Patent No. 6.378.883*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- GAO, Z. G. (2015). *U.S. Patent No. 9.060.909*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- FURUKAWA, H. (2000). *U.S. Patent No. 6,135,222*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- HIBBELER R. (2011) *Mecánica de materiales*. 8ª edición. Editorial Pearson.
- PÉREZ, MIGUEL; MYRIO, N.I. (s.f) *La innovadora silla de ruedas salvaescaleras*. Blogthinkbig.com. Disponible <http://blogthinkbig.com/la-silla-ruedas-sub-escaleras/>
- MOTT, R. L. (2008) *Resistencia de materiales*. 5ª edición. Pearson Educación.
- LEET, K., CHIA-MING, U. (2006) *Fundamentos de análisis estructural*. 2ª edición. Mc Graw Hill.
- RED ESPAÑOLA DE INVESTIGADORES EN DOLENCIAS DE LA ESPALDA. *Hiperlordosis*  
Disponible: <http://www.espalda.org/divulgativa/dolor/causas/alteraciones/hiperlordosis.asp>
- RODRIGO, B.J.; JORGE, A.V.; LUIS, C.Á.T.J.; DAMIÁN, C. R. J.; GERARDO, R.S.; FIACRO, J.P. (2011). Espasticidad, conceptos fisiológicos y fisiopatológicos aplicados a la clínica. En: *Revista Mexicana de Neurociencia*. Mayo Junio, 12(3), 141-148.
- TOTAL CARE, KITTOS. Disponible: <http://www.totalcare-europe.com/producto/kittos/>
- WU BIXIANG (2012) Patente CN101268978 B.