

# Estado del arte de las sillas de ruedas con mecanismos para subir escaleras

*Juan Carlos Posadas Basurto\**

---

## RESUMEN

A través de la historia, el hombre ha tratado de mejorar su vida desarrollando diversos dispositivos mecánicos, eléctricos, electrónicos y una combinación de los anteriores. Respecto a la movilidad que tiene el usuario de una silla de ruedas, ha tratado de desarrollar mecanismos que le permitan transitar por pendientes y escaleras. De las diferentes propuestas de diseño de los distintos investigadores, se analizarán sus ventajas y desventajas para una alternativa de diseño de un mecanismo que no requiera de elementos de potencia extras más que el empuje del usuario de la silla o de la persona que lo empuja.

Palabras clave: Silla de ruedas, mecanismo, escalera, pendiente, diseño.

## ABSTRACT

Throughout history, man has tried to improve his life developing various mechanical, electrical, electronic and a combination thereof. With respect to mobility for the user of a wheelchair, has tried to develop mechanisms that will allow travel on slopes and stairs. From several designs proposed for individual investigators will analyze the advantages and disadvantages for an alternative design of a mechanism that does not require extra power components rather than the thrust of the user of the chair or the person pushing it.

Key words: Wheelchair, mechanism, stairs, slope design.

---

\* Facultad de Ingeniería, UAEM. jcposadasb@hotmail.com

Las investigaciones previas en ingeniería de la rehabilitación se han concentrado principalmente en la construcción de una mejor silla de ruedas. Sillas de ruedas eléctricas se han utilizado durante muchos años, y es indudable que en gran medida a mejorar la movilidad de los discapacitados. Una silla de ruedas se convierte en un dispositivo inútil cuando se enfrenta a barreras arquitectónicas y, como resultado, ha habido un número de diseños de sillas de ruedas que dicen ser capaces de subir escaleras. La mayoría de estos diseños han tenido serios inconvenientes que impiden su uso generalizado. Los inconvenientes se relacionan con la falta de seguridad que caracteriza la mecánica de situaciones de inestabilidad en la escalera de escalada o descendente.

El desarrollo del prototipo NOA ha sido patrocinado por la Obra Social kutxa (TEKNIKER-IK4, 2007). Se trata de una silla motorizada, completa (diseño y desarrollo de todos los elementos mecánicos de la silla salvo el asiento, las ruedas, motores y baterías.), modular (se pueden combinar las diferentes funcionalidades para facilitar su adaptación a las distintas problemáticas y necesidades de los usuarios), y abierta (el actual diseño permite la posibilidad de incorporar nuevas funcionalidades de forma incremental), que incorpora innovaciones desde el punto de vista mecatrónico e integra avanzadas funcionalidades basadas en las nuevas tecnologías.

Un mecanismo de extensión permite dotar a NOA de una geometría variable en función de las necesidades de cada momento (figura 1), aportándole en su posición compacta, una alta maniobrabilidad en interiores y espacios reducidos y una máxima estabilidad en su posición extendida para su uso en exteriores (mayor anchura y mayor separación entre ejes delantero y trasero, manteniendo la longitud total de la silla). Estos movimientos permiten realizar transferencias laterales a diferentes alturas, reduciendo tanto los esfuerzos físicos requeridos por los usuarios o sus asistentes o cuidadores, como la necesidad de dispositivos adicionales como grúas de transferencia.

Figura 1  
POSICIONES DEL PROTOTIPO NOA

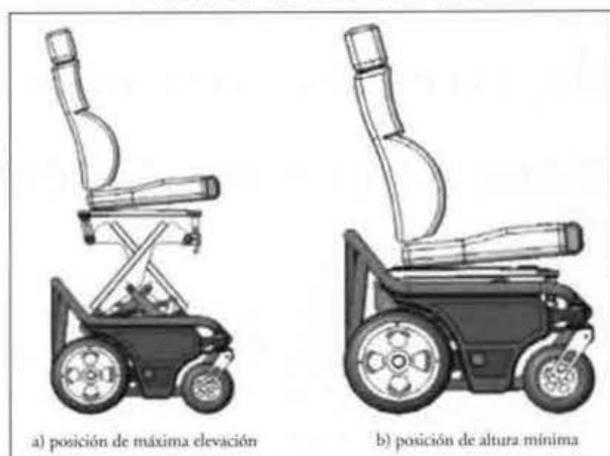
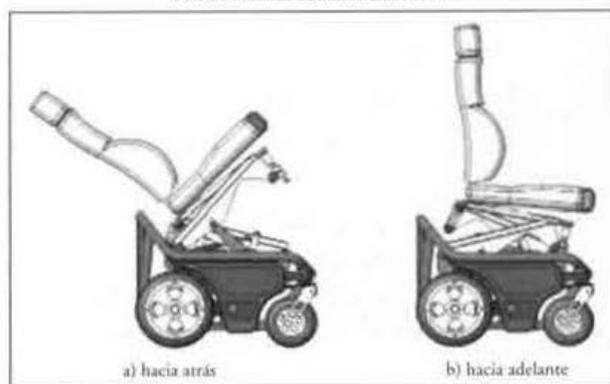


Figura 2  
BASCULACIÓN DEL MECANISMO

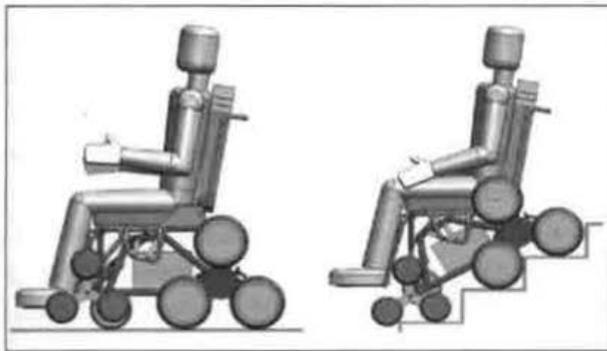


El mecanismo desarrollado permite integrar en un único dispositivo tanto el movimiento vertical del asiento como la basculación del mismo (figura 2).

Por otro lado, Giuseppe Quaglia, Walter Franco, Riccardo Orderio (Giuseppe Quaglia, 2011) su propuesta, Wheelchair.q, que se muestra en la fig. 3, y consiste esencialmente en tres elementos: un marco, un asiento y un mecanismo de vinculación entre el bastidor y el asiento. Utilizando un solo motor y sistema de transmisión por unidad de locomoción, la silla de ruedas pasivamente cambia su locomoción del rodamiento sobre las ruedas (“el modo de avanzar”) a caminar sobre las piernas de uno (“el modo automático para escalar”), simplemente en la base de la fricción dinámica y las condiciones locales.

Figura 3

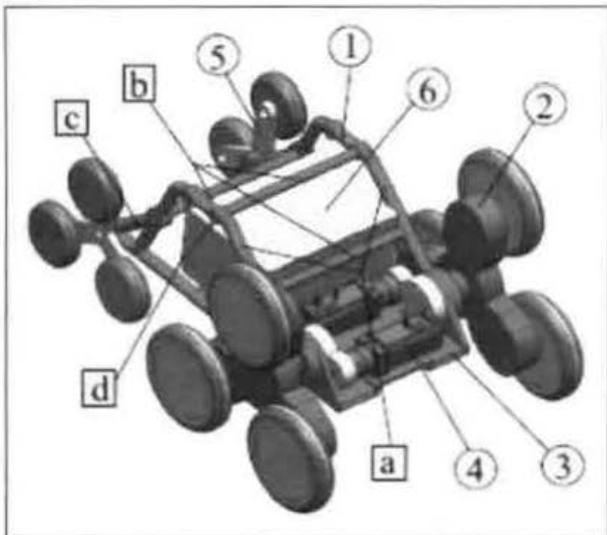
SILLA DE RUEDAS SOBRE TERRENO PLANO Y SOBRE ESCALERAS



El marco, mostrado en la figura 4 consiste de un chasis (1) que lleva dos unidades de locomoción motorizadas (2), un soporte (3) para dos motores eléctricos de engranaje (4), dos unidades compuestas de tres ruedas (5) y una batería (6).

Figura 4

EL MARCO EL MECANISMO

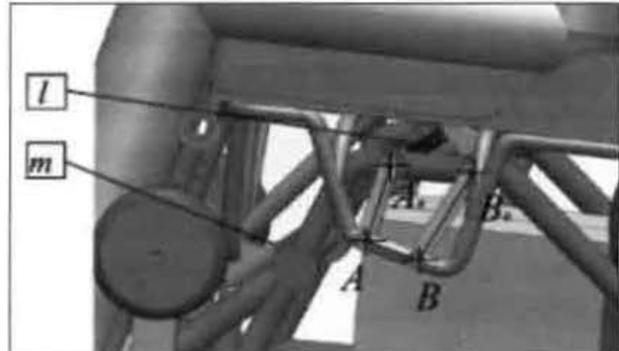


El mecanismo genera movimiento relativo entre el marco y el asiento (figura 5). También el mecanismo permite a la persona inclinarse hacia atrás.

Gianni Castelli y Ericka Ottaviano (Gianni Castelli, 2009) proponen el 1-DOF, una máquina caminadora compuesta de extremidades y ruedas. De acuerdo a los autores, los robots con extremidades tienen mejor movilidad en terrenos ásperos ya que pueden usar posiciones requeridas de manera aislada, que optimizan

Figura 5

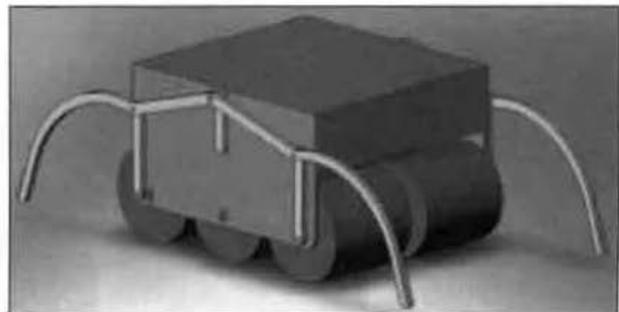
EL MECANISMO



el soporte y la tracción, donde sea que se requiera una trayectoria constante. El prototipo propuesto por Castelli y Ottaviano aparece en la figura 6. Es un diseño compacto, modular, ligero, con reducido número de grados de libertad.

Figura 6

DISEÑO MECÁNICO DE UN ROBOT CAMINANTE HÍBRIDO



El robot móvil propuesto es una máquina de extremidad y rueda que puede caminar sobre terrenos estructurados y no estructurados (figura 7). El requerimiento básico que posee es sobrepasar obstáculos con tamaño mayor que el radio de las ruedas.

La silla de ruedas desarrollada por Morales, Feliu, González y Pintado (R. Morales, 2005) se basa en dos sistemas diferentes: un sistema para posicionar arbitrariamente ambos ejes con respecto al marco para mantener la pendiente promedio (figura 8), y un dispositivo que hace que el eje suba un escalón a la vez al mismo tiempo que la rueda se mueve por el escalón eludiendo interferir con él (figura 9). Cada eje sube el escalón correspondiente desplegando la cremallera conectada a él.

Figura 7  
SIMULACIÓN DINÁMICA DEL MOVIMIENTO  
DE UN ROBOT SOBREPASANDO OBSTÁCULOS

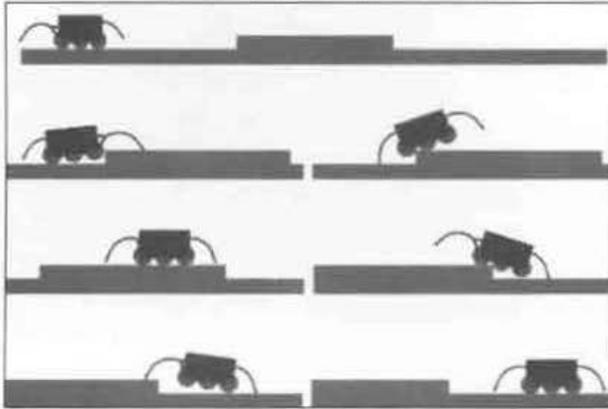


Figura 8  
CONSTRUCCIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS

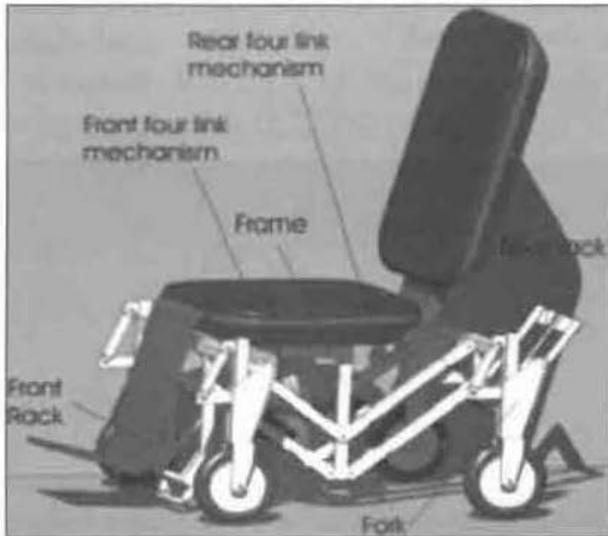
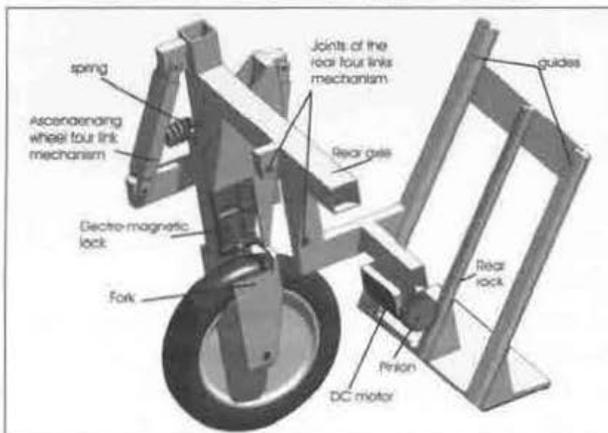
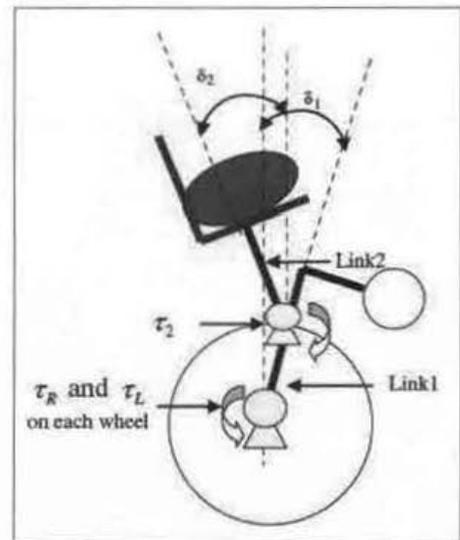


Figura 9  
CORTE DEL MECANISMO PARA SUBIR UN ESCALÓN



De los proyectos más recientes se tiene el de Salmiah Ahmad, Nazmul H. Siddique y M. Osman Tokhi (Salmiah Ahmad, 2011). Su idea es una silla de ruedas en dos ruedas. El diseño de un modelo de silla de ruedas y el desarrollo de una estrategia de control adecuado para levantar las ruedas delanteras y lograr una posición vertical estable con el levantamiento de la silla a un nivel superior, demanda de un sistema de control sutil. El control del sistema en las sillas de ruedas es más crucial a la hora del movimiento (lineal y con dirección) y, limitada al número de actuadores es, responsable de muchos grados de libertad. La figura 10 muestra el esquema de la propuesta de esta silla de ruedas.

Figura 10  
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO  
DE LA SILLA DE RUEDAS CON TRES ACTUADORES



### Principio del formulario

Una silla de ruedas de dos ruedas tiene muchas ventajas sobre una de cuatro ruedas. Puede ayudar a los usuarios para llegar a ciertos niveles de y maniobrar en espacios pequeños y estrechos. Además, permitirá a los usuarios participar en igualdad en las conversaciones a nivel de ojo a ojo cómodamente como la gente normal lo hace. Una silla de ruedas de dos ruedas, imita a un péndulo doble invertido, que es un sistema no lineal. El control del sistema es lo más importante a la hora que la silla de ruedas está en movimiento (lineal y

dirección), y está limitada al número de actuadores para disminuir el número de grados de libertad. Por ejemplo, el control de movimiento lineal y el control de movimiento de dirección se activará cuando el control de la estabilización se mantiene activo. Con el fin de conducirse necesitan de un par motor producido por el controlador para alimentar a las dos ruedas derecha e izquierda.

La estabilización de controlador está activa todo el tiempo, incluso durante el período de maniobras, que hace que sea un reto para la estrategia de control al suministrar el par suficiente para las dos ruedas a fin de equilibrar, mover o para dirigir el sistema. Por otra parte, hay incertidumbre o perturbaciones imprevistas durante la operación de la silla de ruedas que deben tenerse en cuenta en el diseño del mecanismo de control.

## DISCUSIÓN

Son varias las propuestas generadas para el desarrollo de sillas de ruedas que puedan subir escalones, lamentablemente los diseños propuestos requieren de al menos un motor eléctrico para su accionamiento; en otras ocasiones, las sillas se convierten en una estructura bastante compleja que no da oportunidad de darle mantenimiento a la misma, personalmente; si ocurriese un desperfecto en plena vía pública, la tecnología desarrollada podría convertirse en un peligro para la persona usuaria de la silla. Por otro lado, otras sillas, además de motores eléctricos, requieren de actuadores que hacen más complejo el sistema, resultando no adquirible, económicamente hablando.

El prototipo NOA presenta buenas condiciones de estabilidad y de capacidad para soportar al usuario. Se podría transitar sobre terrenos desnivelados, hasta cierto ángulo de pendiente. Todas las cualidades de la silla le dan una gran desventaja: el peso específico se incrementa mucho en comparación con una silla de ruedas de conducción manual. Esto ocasiona que la silla se convierta en un medio de transporte que no puede guardarse fácilmente y, cuando se requiera viajar largas distancias, será complicado su transportación ya que

no es plegable. Las pilas eléctricas tienen que cargarse constantemente, añadiendo un costo extra a la silla. Una volcadura de la silla puede ocasionar lesiones a la persona y, si no hay quien la auxilie, puede atraparla contra el suelo el tiempo que tarde en llegar la ayuda. Las dimensiones son fijas de tal manera que se puede decir que la silla puede subir cierto tipo de escalón, de acuerdo a sus dimensiones.

La silla propuesta por Giuseppe (figura 3) presenta un peso específico inferior a la propuesta anterior, pero sigue siendo conducida con la ayuda de un motor eléctrico. El ascenso se realiza estando de espaldas el usuario de la silla, interviniedo aquí el mecanismo de barras para estabilizar la posición de la persona sobre la silla, evitando éste se deslice hacia delante de la silla y resbalarse; no presenta un sistema de atrancamiento con el cual pudiera quedar la silla estática en medio del ascenso sin provocar un descenso peligroso. El mecanismo de tres ruedas puede diseñarse a una altura tal que pueda vencer la altura de una serie de escalones diferentes; sin embargo, el torque generado para elevar la silla es alto, lo que da lugar a ensamblar un motor de alto torque.

Aunque el robot de Guianni Castelli presenta buena estabilidad para terrenos desnivelados, lo hacen inseguro para subir escaleras ya que no presenta el diseño del asiento ni la altura máxima a la que puede subir las escaleras. Por tratarse de un robot, lo hace más complejo en su sistema de conducción ya que presenta sensores para detectar posiciones; esto es un buen desarrollo tecnológico pero poco útil para la silla de ruedas, además, lo hace también caro al mercado.

Una gran novedad que propone R. Morales es un mecanismo flexible que pueda extenderse y contraerse a la condición de la escalera. También presenta buena estabilidad al ascender los escalones ya que la persona se mantiene en horizontal y si por alguna razón se detiene a mitad del ascenso, la persona es soportada por las cuatro ruedas que están bien apoyadas en pares sobre escalones distintos. El camino de ascenso también es seguro por que presenta un sistema de cremallera que difícilmente puede provocar deslizamiento. Sin embargo, sigue utilizando motores para su conducción y su transportación no es sencilla. Como las cuatro

ruedas son del mismo diámetro, entonces la conexión al motor es continua provocando que la pila eléctrica se gaste rápido.

Por último, el diseño de Salmiah Ahmad también resulta interesante ya que propone el uso de solo dos ruedas en lugar de cuatro, para ciertas actividades. Presenta su versatilidad pero no describe con profundidad la manera de subir los escalones. Sigue manteniendo motores en su diseño además de un control más sofisticado que todos los anteriores.

En general, las sillas de ruedas propuestas anteriormente son de un costo superior al de las sillas de ruedas manuales; algunas presentan inestabilidad al tratar de subir por escaleras y, curiosamente, ninguna presenta la alternativa para bajar por las escaleras. Existen diseños mecánicos simples pero con varios elementos del mecanismo; estos mecanismos son inapropiados cuando se modifican las dimensiones del escalón. También el asiento, por portar el control dinámico para mantener la posición correcta, se vuelve sofisticado.

Otro parámetro perjudicial es que el peso del dispositivo que se adhiere a la silla de ruedas es soportado por las mismas ruedas, derivando en un diseño más robusto.

Existen otras instituciones dedicadas a la mejora de varios sistemas por medio de la electrónica, mecatrónica y robótica, como es el caso de ICORR (International Conference on Rehabilitation Robotics) ocasionando desventajas similares a las anteriormente descritas. De igual manera, la Universidad de Tsukuba presenta proyectos con motores eléctricos acoplados a la silla.

Muchos investigadores se han dado a la tarea de estudiar los diferentes tipos de sillas de ruedas, los daños colaterales que tiene el sentarse mal, jalar de manera errónea las ruedas y de colocar los apoyos del antebrazo y de los pies de tal manera que causen daños a los músculos y los huesos; también se dedican a estudiar los efectos que tiene el atravesar una pendiente. En otros casos, proponen diseños de sillas de ruedas motorizadas y controladas por computadora que, aunque son más fáciles de maniobrar, son más caras y consumen energía eléctrica además de gastos de mantenimiento.

La propuesta es una silla de ruedas de conducción manual que pueda subir por las escaleras sin necesidad

de un motor eléctrico. Se diseñará un mecanismo que será accionado por el mismo impulso de la persona que usa la silla de ruedas o, si requiere de ayuda, de la persona que lo empuja. Para esto se requiere sincronizar los movimientos que tenga el par de ruedas delanteras con respecto al par de ruedas traseras, ya que no ocuparán el mismo escalón simultáneamente. De igual manera, se considerará un sistema de atrancamiento para evitar que la silla descienda por el propio peso. También se considerará un multiplicador de fuerza para que la persona realice el mínimo esfuerzo en el ascenso de escalones y al atravesar pendientes con la silla de ruedas. No se tendrá una silla "todo terreno" pero sí se obtendrá una solución al ascenso de escaleras. Aunque no es parte de la investigación, se darán algunas sugerencias para modificar la normatividad en construcciones arquitectónicas referentes a pendientes y escalones.

## METODOLOGÍA

Como primer paso, se revisarán los diferentes catálogos de los proveedores de sillas de ruedas y se considerarán las medidas de las mismas, sin ser determinantes, para el diseño del mecanismo que se propondrá.

Para determinar la fuerza requerida en el empuje de la silla de ruedas por parte del usuario, se realizarán pruebas de esfuerzo en vías horizontales y en distintas pendientes por medio de mecanismos que simulen el movimiento de empuje de la silla. También se realizará un análisis ergonómico para determinar la mejor posición del mínimo esfuerzo.

Con base en la normatividad mexicana para el diseño de escaleras, se darán una serie de alternativas para poder subir los escalones usando la silla de ruedas. Se considerará subir primero las ruedas delanteras de la silla al primer escalón para posteriormente considerar un sistema de elevación de las ruedas traseras; nótese que las ruedas delanteras descansarán en el escalón mientras que las ruedas traseras solamente se elevarán, de aquí que se tiene que sintetizar un mecanismo que cumpla dicha función. Ya que se sintetizó el mecanismo, se procederá a su análisis cinético para determinar la configuración

y los materiales apropiados; en este punto se buscará utilizar materiales y piezas comerciales.

Como consideración especial, el usuario de silla de ruedas siempre tiene que estar en la misma posición para evitar que tienda a voltearse con todo y silla o, requiera de un esfuerzo mayor para accionarla.

Una vez que se tenga la propuesta del mecanismo, se procederá a su fabricación y ensamble en la silla de ruedas. Como parámetro de diseño, la silla no soportará el nuevo mecanismo, el mecanismo se soportará a sí mismo.

El proceso de diseño es iterativo hasta llegar a una conclusión satisfactoria, con el mínimo de elementos mecánicos a utilizar.

## CONCLUSIONES

Son varias las alternativas de solución para que el incapacitado que usa silla de ruedas pueda subir las escaleras sin peligro de accidentarse y sin realizar un gran esfuerzo, pero todas requieren de al menos un motor eléctrico, haciendo de la silla un artículo de lujo.

Debido a la complejidad que se presenta en las propuestas de sillas de ruedas con mecanismos para subir escaleras, se diseñará un mecanismo para subir escaleras con el esfuerzo del usuario o con la ayuda de la persona que lo empuja, sin necesidad de dispositivos de potencia costosos. Es cierto que se han desarrollado muchos diseños, pero todos son caros y hasta peligrosos

si el motor y las conexiones no están bien aislados; además, bajo ciertas circunstancias, la silla de ruedas no podrá mojarse.

Se considerarán algunas alternativas de diseño de las sillas de ruedas descritas arriba, como el sistema para subir las escaleras delanteras y la flexibilidad de extensión y contracción del mecanismo.

## REFERENCIAS

- Salmiah Ahmad, N. H. (2011). A Modular Fuzzy Control Approach for Two\_Wheeled Wheelchair. *Springer Science+Business Media B. V.*
- TEKNIKER-IK4. (2007). *Presentación del Prototipo NOA*. Barcelona: kutxaEspacio de la Ciencia.
- Herrera, R. M. (2006). *Contro y generación de trayectorias de un nuevo sistema de locomoción para sillas de ruedas con capacidad de subir y bajar escaleras*. Real: Tesis Doctoral.
- Giuseppe Quaglia, W. F. (2011). Wheelchair.q, a motorized wheel chair with stair climbing ability. *Mechanism and Machine Theory*, 1601 a 1609.
- Gianni Castelli, E. O. (2009). Design and Simulation of a New Hybrid Mobile Robot for Overpassing Obstacles. *Springer Science Bussines Media B V*, 101 a 108.
- R. Morales, V. E. (2005). Kinematics of a New Ntaircase Climbing Wheel chair. *Springer Science+Business Media B. V.*