

ESTUDIOS DE I+D+I

Número 25

Andador activo para la rehabilitación y el mantenimiento de la movilidad natural

Autor: Ceres, R., Pons, J.L., Calderón, L., Mesonero-Romanos, D., Jiménez, A.R., Sánchez, F., Abizanda, P., Saro, B., Sánchez, F

Filiación: CSIC, Inst. Automática Industrial, Madrid; FORTA, S.L, Albacete; Hosp. Perpetuo Socorro, Unid. Geriatria, Albacete; IMERSO, Centro Recuperación Minusválidos, Madrid

Contacto: ceres@iai.csic.es

Convocatoria: 2002 y 2003

Para citar este documento:

CERES, R, et al (2003). "Andador activo para la rehabilitación y el mantenimiento de la movilidad natural". Madrid, IMERSO, *Estudios I+D+I*, nº 25. [Fecha de publicación: 17/08/2005].
<<http://www.imersomayores.csic.es/documentos/documentos/imerso-estudiosidi-25.pdf>>

Resumen

Se presenta en este trabajo interdisciplinar las consideraciones de diseño y la realización del sistema ASAS que constituye un nuevo concepto de andador de alta seguridad y de bajo esfuerzo. Las soluciones tradicionales a los problemas crecientes de movilidad en los mayores han radicado en el uso de bastones, muletas y andadores y, en los casos más limitantes, de sillas de ruedas. En el proyecto se ha tratado de conservar y aumentar las capacidades de deambulaci3n y bipedestaci3n de la persona con la mejora correspondiente en el desarrollo sicomotor. Siguiendo estos objetivos el andador ha sido dotado de una elevada estabilidad pasiva y activa realiz3ndose un nuevo dise1o integral que afecta a la superficie de la base, a la distribuci3n del peso de sus elementos, al material de las ruedas y a los elementos de apoyo de antebrazo y manos. De forma complementaria y por incorporaci3n de un microcotrolador se ha motorizado el sistema mediante sendos motores DC alimentados con bater3as para exigir pr3cticamente un esfuerzo nulo de arrastre. El prototipo as3 construido ha sido evaluado con un protocolo ad hoc y analizado posteriormente con resultados globalmente satisfactorios.

Andador Activo para la Rehabilitación y el Mantenimiento de la Movilidad Natural

R. Ceres¹, Pons J. L.¹, Calderón L.¹, D. Mesonero-Romanos¹, A.R. Jiménez¹, F. Sánchez², P. Abizanda³, B. Saro⁴, G. Bonivardo².

¹Instituto de Automática Industrial, CSIC. Ctra de Campo Real km 0.2, 28500 Arganda del Rey (Madrid). España. 34 918711900

²FORTA S.L. calle D nº 30, nave 1. 02007 Albacete. España

³Unidad de Geriátrica, Hospital Perpetuo Socorro. C/ Seminario 4, 02006 Albacete, España.

⁴Centro de Recuperación de Minusválidos Físicos, IMSERSO. C/ Jesús del Gran Poder s/n, Albacete 02006, España.
ceres@iai.csic.es

Resumen

Se presenta en este trabajo interdisciplinar las consideraciones de diseño y la realización del sistema ASAS que constituye un nuevo concepto de andador de alta seguridad y de bajo esfuerzo.

Las soluciones tradicionales a los problemas crecientes de movilidad en los mayores han radicado en el uso de bastones, muletas y andadores y, en los casos más limitantes, de sillas de ruedas.

En el proyecto se ha tratado de conservar y aumentar las capacidades de deambulación y bipedestación de la persona con la mejora correspondiente en el desarrollo sicomotor. Siguiendo estos objetivos el andador ha sido dotado de una elevada estabilidad pasiva y activa realizándose un nuevo diseño integral que afecta a la superficie de la base, a la distribución del peso de sus elementos, al material de las ruedas y a los elementos de apoyo de antebrazo y manos. De forma complementaria y por incorporación de un microcontrolador se ha motorizado el sistema mediante sendos motores DC alimentados con baterías para exigir prácticamente un esfuerzo nulo de arrastre.

El prototipo así construido ha sido evaluado con un protocolo ad hoc y analizado posteriormente con resultados globalmente satisfactorios.

Palabras clave: movilidad, andador, rehabilitación, seguridad, marcha

1. Introducción

Los diferentes estudios realizados en el mundo occidental cifran en el año 2000 en torno al 12% el porcentaje de personas mayores de 65 años afectados con algún tipo de minusvalía. En España, según el estudio llevado a cabo por el IMSERSO [1], las personas mayores de 65 años registradas oficialmente con minusvalía suponen un 8.1%, por lo que la cifra real puede aproximarse a la mencionada.

Las mejores condiciones de vida, especialmente en los países desarrollados, están aumentando la longevidad, reconfigurando por tanto la pirámide de población al incrementar de forma notable la proporción de mayores. Se estima que en el año 2020 este segmento supondrá alrededor de un 20 % del total. Esto hace que nos encontremos no solamente con un aumento importante de este colectivo sino que al mismo tiempo, como consecuencia de una mayor edad media, las deficiencias personales serán cuantitativamente mayores y más severas. Por todo ello aumentará la dependencia de este colectivo y se plantearán mayores requerimientos de asistencia tanto en aspectos relacionados con las tareas personales como en actividades de relación y de tipo lúdico-cultural.

La atención a los mayores es una necesidad social básica que aún no está suficientemente resuelta en la gran mayoría de los países, debiendo ser objeto de una mayor cobertura en el futuro. Esto unido a las consideraciones anteriores, hace que el gasto a realizar en los países de nuestro entorno en este campo represente costes muy elevados.

Uno de los problemas más frecuentes en personas mayores y que incide de una forma más directa en la autonomía personal es todo lo referente a la pérdida o reducción de la movilidad, siendo la etiología más frecuente de tipo neurológico o músculo-esquelético.

2. Antecedentes

Determinadas situaciones en las que aparecen problemas de movilidad ya sea de carácter transitorio en procesos de rehabilitación (postoperatorios de traumatismos) o de tipo crónico con orígenes neuromusculares diversos requieren el uso de dispositivos de ayuda al desplazamiento. Las personas afectadas de estas disfunciones han venido utilizando tradicionalmente **elementos potenciadores** pasivos y sencillos de soporte tales como bastones, muletas o andadores según el grado creciente de esta deficiencia. En el mercado existen una amplia variedad de modelos de numerosas marcas que cada vez más mejoran ergonomía, adaptación de medidas, peso y estabilidad y adherencia. Así, existen bastones y muletas con base estable por apoyo múltiple (3-4 patas), andadores con 2, 3 o 4 ruedas o con simples apoyos y con o sin asiento además de presentar toda una serie de opciones y geometrías. Todos estos tipos de dispositivos están muy extendidos dada su gran utilidad, su nulo mantenimiento y su economía, lo que hace que lleguen prácticamente a toda clase de usuarios.

En estadios de movilidad más reducida se recurre a **elementos alternativos** cuyo paradigma lo constituye la silla de ruedas, con todo un abanico de posibilidades de tracción manual y eléctrica y que se extienden a los llamados scooters y a vehículos intermodales y otros especiales.

Las sillas de ruedas sido objeto de numerosos trabajos de investigación para desarrollar sistemas como los **ARWs** (Autonomous Robotic Wheelchairs), dotándolas de sensores, computadores y estrategias de navegación, interfaces complejos y otras innovaciones para alcanzar distintos grados de autonomía respondiendo a deficiencias no solo motoras sino también neurológicas o sensoriales [2].

De la misma forma, si bien con una dedicación menor, se han desarrollado una serie de dispositivos instrumentados que vienen a mejorar la movilidad propia tratando de ofrecer en algunos casos un sistema de guía para la persona y en otros un soporte complementario o ambas cosas a la vez. constituyen lo que podríamos llamar Sistemas de Ayuda a la Movilidad Natural (SAMON).

Entre estos sistemas destaca el sistema GUIDO desarrollado por G. Lacey del Trinity College de Dublin y la empresa Haptica [3]. Está dirigido principalmente a deficientes visuales ya que, aunque ofrece cierto apoyo a la persona, la función principal es como elemento de guía visual. El sistema consiste básicamente en una base horizontal pesada, en forma de C, abierta por la parte trasera, que se desliza mediante cuatro ruedas.



PAM-AID (version: Active System)

El sistema incorpora un computador con sensores sonar y láser para la detección de obstáculos y marcas en el entorno y así mismo un sensor de posición odométrico, tomando decisiones sobre la dirección adecuada para avanzar. Como continuación de este proyecto y con planteamientos muy similares, en 1997 se concluyó el sistema PAM-AID en el ámbito del Telematics Applications Programme de la U.E. Presenta tres modos de operación: por control humano, no supervisado y por control compartido ayudándose de sensores como los mencionados y también de visión. El sistema no dispone de motores tractores pero sí para direccionar las ruedas. Siguiendo la evolución de estos sistemas, el Veterans Affairs Department de EE UU desarrolló más recientemente el VA-PAMAID (Veterans Affairs Personal Adaptive Mobility Aid) [4] que incorpora también sensores ultrasónicos y láser en las partes frontal y lateral para detección e incluso identificación ciertos elementos del entorno tales como pasillos o cruces, partiendo de sus características. Las empuñaduras del manillar están equipadas con muelles y encoders para medir sendos desplazamientos de estas y así estimar la dirección de marcha marcada por el

usuario. Por otra parte en el MIT (EE UU) se ha desarrollado el “Smart Walker PAMM” (Personal Aid for Mobility and Monitoring), con posibilidad de detección de obstáculos omnidireccional y sensores de fuerza y par en las empuñaduras y con estrategias de navegación reactiva. El Medical Automation Research Center (MARC) de la Universidad de Virginia (EE UU) ha construido también un prototipo basado en un andador comercial InvaCare de tres ruedas que estima la dirección de forma parecida a los anteriores e incorpora un sensor láser de barrido para detección de obstáculos y frenos motorizados.

El IPA de Stugart (Alemania) ha elaborado el Care-O-bot [5] un andador inteligente con un cuerpo cilíndrico del que sobresalen dos brazos para el guiado. La evitación de obstáculos la resuelve por un sensor láser con técnicas dinámicas de navegación reactiva



MARC Robotic Walker

Tres de estos prototipos han sido instalados en el Museo de las Comunicaciones de Berlín como asistentes al visitante.

El sistema “Guide-Cane” constituye otro tipo de dispositivo de ayuda a la movilidad más cercano a los detectores locales de obstáculos para ciegos. En este caso una plataforma baja que no ofrece ningún tipo de soporte se desliza sobre dos ruedas y es conducida por el deficiente visual mediante una barra tal como se

llevaría un perro guía. La plataforma contiene un cinturón semicircular de sensores ultrasónicos para detectar los obstáculos y orientar las ruedas en la dirección que estima como correcta.

Todos estos sistemas, como se ha indicado, tienen como finalidad principal sobre todo el servir de guía con alguna ayuda al soporte. Algunos otros, muy escasos, se centran en el soporte, tal es el caso del sistema de Hitachi (Japón) o el KAIST (Corea del Sur) o el “Intelligent Walker”, de Japón que se basa en un andador convencional que detecta la velocidad y la inclinación del mismo para actuar frenando selectivamente cada una de las ruedas traseras que son movidas por empuje del usuario.

3. Planteamiento y base conceptual de diseño

El sistema ASAS que se describe responde a la importante necesidad detectada en gran número de usuarios potenciales de disponer de una herramienta, segura, sencilla y de bajo coste, de ayuda a la movilidad de personas mayores para recuperar en ciertos casos y mantener en otros sus propias facultades sicomotoras de deambulación.

El concepto rehabilitador de diseño del este andador instrumentado parte del objetivo principal de no relegar a la persona con discapacidad a la silla de ruedas en ciertos casos, tratando por el contrario de mantener la capacidad de bipedestación y regenerando en lo posible sus facultades mediante el desarrollo de las actividades física y mental asociadas al proceso de marcha.

Por ello, el segmento de personas al que está dirigido comprende aquellas que comienzan a tener problemas de estabilidad, maniobrabilidad y arrastre de andadores convencionales y que hasta ahora estaban destinadas a utilizar la silla de ruedas para realizar sus desplazamientos [6]. La permanencia prolongada en la silla de ruedas implica consecuencias muy negativas por la pérdida de actividad de los miembros inferiores así como por toda una serie de trastornos patológicos (dermatológicos, digestivos, vasculares, urológicos...) e incluso de relación todos ellos originados por la pérdida de la bipedestación. Este proceso es irreversible en un porcentaje muy alto de mayores ya que la falta de actividad reduce aún más las facultades residuales, por lo que debe ser evitado o al menos retrasado en la medida de lo posible.

En este caso por tanto, se trata de desarrollar un sistema de ayuda a la movilidad natural, esto es, utilizando los

propios miembros inferiores de la persona, complementándolos en sus dos aspectos principales:

- Soporte para mantener la bipedestación, y
- Estabilidad dinámica y empuje necesarios para la deambulaci3n.

Las objetivos de dise1o del andador desarrollado, respecto a los convencionales, han sido por tanto los siguientes:

- Aumento de la seguridad pasiva y activa
- Aumento de la maniobrabilidad
- Reducci3n del esfuerzo f3sico de empuje

4. Desarrollo del andador ASAS

De acuerdo con los planteamientos indicados en el apartado anterior se decidi3o partir del modelo m3s completo de los fabricados por la empresa FORTA, participante en el proyecto, el del tipo rollator, equipado de cuatro ruedas. Los objetivos propuestos determinaron los siguientes puntos de actuaci3n:

- Incorporaci3n de tracci3n en las ruedas traseras.
- Aumento de la base de apoyo.
- Establecimiento de apoyos de antebrazos
- Incorporaci3n de sensores de seguimiento y de inclinaci3n.



Concepto b3sico del ASAS

Uno de los problemas que presentan los andadores dotados de ruedas, m3s a1n los de cuatro que los de dos, es el de frenado de las mismas.

La soluci3n que adoptan este y otros fabricantes es la de incorporar frenos independientes de una y otra rueda sobre los pu1os de forma similar a las bicicletas. Ahora bien, esta soluci3n representa al mismo tiempo un problema importante ya que exige que la persona tenga capacidad de respuesta, en t3rminos de tiempo de reacci3n y de fuerza, adecuada para hacer frente a una situaci3n de aceleraci3n excesiva en la que el cuerpo pueda quedar por detr3s de la base del andador, ya sea por desplazamiento en rampa o por falta de control del mismo, lo que entra1a un alto riesgo de ca3da. Normalmente las personas que presentan problemas de estabilidad y de movilidad adolecen de falta de tono muscular y falta coordinaci3n para accionar convenientemente el frenado del andador. A este problema se suma el esfuerzo necesario para arrastrar el andador, que en muchos casos es considerable en t3rminos relativos.

Ambos problemas han sido abordados en el ASAS incorporando sendos motores el3ctricos tractores en las ruedas traseras que no solamente mueven las ruedas, bajo control de direcci3n del usuario sino que el mismo sistema hace de freno al ser la velocidad constante e impedir as3 cualquier aceleraci3n.

La mayor parte de los destinatarios de este dispositivo tal como se ha dicho presentan problemas de bipedestaci3n y de estabilidad en sus desplazamientos. Una mejora simple de la estabilidad que se ha realizado es ampliar la anchura de la base del andador a 61 cm, debiendo mantenerla por debajo de 65 cm para el paso de puertas y para lograr una cierta maniobrabilidad. En cuanto a la bipedestaci3n, la mejora m3s importante ha consistido en cambiar el tradicional apoyo de todo el cuerpo sobre el andador por las manos en el apoyo de antebrazos y manos. Con ello se consigue eliminar el grado de libertad correspondiente al codo ofreciendo una m3s f3cil verticalidad.

De forma complementaria la parte superior del tronco puede descansar m3s f3cilmente sobre el andador requiriendo un menor esfuerzo y aumentando a la vez la componente de fricci3n del sistema al reducir los problemas de deslizamiento.

El aumento de estabilidad din3mica de todo el sistema se ha conseguido tambi3n montando todos los elementos pesados (motores, bater3a y sistema de carga y electr3nica) de forma equilibrada en el plano inferior del andador. De modo complementario las ruedas han sido seleccionadas con materiales de alto coeficiente de rozamiento para disminuir a1n m3s este problema.

El accionamiento y la dirección del sistema se ha resuelto en una primera instancia incorporando sendos pulsadores próximos a las empuñaduras del cuadro de forma que sean accionados mediante uno y otro de los dedos pulgar. La electrónica de control permite la operación independiente de cada uno de los pulsadores o el accionamiento de ambos motores indistintamente por uno u otro para su uso en determinadas situaciones. El riesgo indicado anteriormente de retraso de la posición del usuario respecto al andador en el proceso de deambulacion entraña el riesgo más frecuente como es el de caída hacia delante. Para ello se han desarrollado diversas soluciones que están siendo evaluadas en el laboratorio.

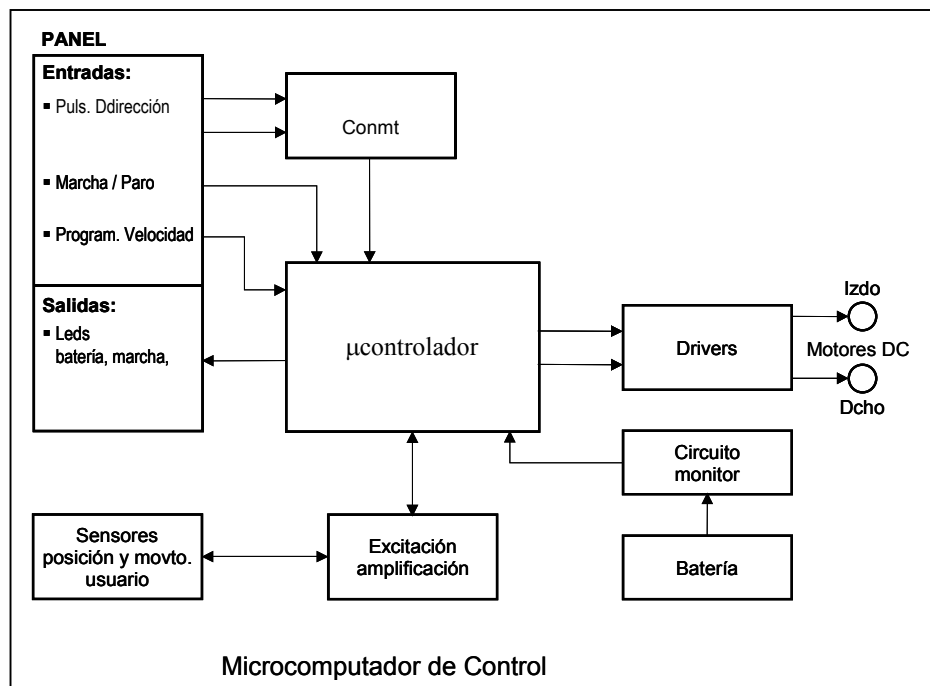


Detalle de la base del ASAS

La primera de ellas ha consistido en situar sensores de ultrasonidos sobre la parte frontal en el plano inferior, orientados a las piernas del usuario. Los sensores actúan por la técnica pulso-eco recogiendo la señal emitida y

reflejada por las piernas, midiendo la distancia de estas a los sensores por el tiempo de tránsito y consiguiendo así determinar la posición relativa de la persona respecto al andador. Esta es una técnica que utiliza un principio clásico pero que presenta ciertas limitaciones operativas en esta aplicación siendo la principal los problemas inherentes a la reflexión de la onda ultrasónica en casos desfavorables de llevar pantalones, ya de por sí acústicamente muy absorbentes, y más aún si presentan ángulos de incidencia definidos y muy agudos. Un alternativa en ejecución es la incorporación de un haz de barrera con sensores emisor y receptor de IR de haz estrecho (10°) sobre el bastidor, en este caso en la parte inferior trasera. Esta solución tiene la ventaja de su mayor simplicidad y fiabilidad de detección aunque presenta el inconveniente de realizar una detección todo-nada restando versatilidad y debiendo limitarse al recinto definido por la propia base del andador.

Otras soluciones empleando haces más anchos y alternativamente operando por reflexión en lugar de interrupción están siendo también estudiadas para la obtener una configuración simple y fiable en lo referente a la electrónica de control, esta se ha desarrollado partiendo de un microcontrolador del tipo PIC 16C76 de Microchip. Dos de sus salidas se utilizan para el control independiente de la velocidad de los motores tractores empleando la técnica PWM con tres niveles discretos de modulación del ciclo de trabajo (15, 50 y 90%), que son seleccionables externamente en el panel. Con ello se ofrece al cuidador la posibilidad de adaptar la velocidad al grado de movilidad y de los tiempos de respuesta del usuario.



Se han previsto arranques y paradas por control de rampa para hacer más suaves estas transiciones. Los pulsos generados en el microcontrolador son amplificados en corriente y tensión mediante los drivers correspondientes realizados utilizando dispositivos MOSFET, con rendimientos en el accionamiento del orden del 98%. La dirección, como se ha indicado, se gobierna desde los pulsadores de forma solidaria o independiente según la posición del conmutador asociado a esta función. Se ha previsto también los circuitos de excitación y amplificación de los sensores ultrasónicos e IR de movimiento y posición relativa del usuario, cuyas señales son igualmente leídas por el microcontrolador para desacelerar o detener el sistema en caso de detección de una situación de riesgo. Alimenta el conjunto una batería de plomo de 12v, 6.5 Ah, con el correspondiente convertidor dc/dc a 5 v. para alimentación de la electrónica, con el circuito monitor de nivel de batería. Finalmente, un dispositivo cargador a partir de la red se ha montado sobre el chasis del andador.

5. Resultados y Conclusiones

Las pruebas del ASAS se realizaron en los laboratorios del IAI en una primera instancia, habiendo ajustado así determinados parámetros internos del sistema, tales como ciclos de trabajo reales y en carga de los distintos estados de modulación de velocidad de los motores; desviaciones en el control de estos, medidas de consumos y autonomía y otros ensayos.

Las pruebas reales fueron llevadas a cabo en el Hospital Ntra Sra del Perpetuo Socorro de Albacete (España), en coordinación con Sogelba y el CMRF de esta ciudad. Al no existir un protocolo sobre estos sistemas y solo escasos antecedentes [7], los especialistas que intervinieron elaboraron un protocolo *ad hoc* para este propósito en el que valoraron aspectos subjetivos, de aceptación y utilidad y otros de seguridad y operatividad.

Los resultados de estos trabajos son presentados en otra comunicación de este congreso (Abizanda); no obstante es preciso hacer constar las ventajas apreciadas en cuanto a la mejora de la movilidad experimentada por todas las personas mayores que lo utilizaron, algunas de las cuales no podían utilizar de modo autónomo ningún otro tipo de andador.

Con este prototipo de andador seudorobótico se ha demostrado por las pruebas realizadas que constituye una herramienta de gran interés para personas en proceso de rehabilitación o por pérdida progresiva de la movilidad que, no pudiendo usar andadores

comerciales, estarían destinadas a permanecer en cama o en silla de ruedas en el mejor de los casos. Con ello se consigue no solo facilitarles la movilidad sino también mantenerlas de pie, aumentar la actividad física, la motivación y el equilibrio general de la persona con la consiguiente mejora de calidad de vida e independencia, lo que también redundaría en una economía de la atención social que requiere este colectivo importante.

Al mismo tiempo de constatar la buena aceptación por parte de los usuarios y un cierto mercado para este sistema, se mantiene abierto un campo de trabajo en el que se pretenden abordar problemas de detección de obstáculos y navegación asistida, compensación dinámica de desequilibrios y otras mejoras cuya operatividad habrá que ir confirmando progresivamente.

Agradecimientos

Se desea expresar el reconocimiento público a la concesión por el IMSERSO de los proyectos ASAS y ASAS II, a las personas que han colaborado en el desarrollo técnico del prototipo y de una forma especial a los mayores que se han prestado amablemente a realizar las pruebas de validación.

Referencias

- [1] Base de datos Estatal de Personas con Discapacidad. IMSERSO- MTAS- Madrid, año 2000.
- [2] Bourghis, Horn O., Habert O. y Prusky A. "An autonomous vehicle for people with disabilities". IEEE Robotics and Automation, pp 20-28, marzo 2001.
- [3] Lacey G., MacNamara S. "User involvement in the design and evaluation of a smart mobility aid. Journal of Rehabilitation Research Development 2000; ; 37 (6) pp 709-23.
- [4] Rentschler A.J., Cooper R. A., Blasch B. y Michael L. "Intelligent walkers for the elderly: Performance and safety of VA-PAMAID robotic walker". Journal of Rehabilitation Research and Development 40 (5), 2003, pp 423-432.
- [5] Graf B. "Reactive Navigation of an Intelligent Robotic Walking Aid" Proc. IEEE International Conference on Robotics and Human Intelligence. 2001. Paris. Piscataway (NJ); IEEE Press; 2001 pp 353-58.
- [6] Ceres R., Calderón L., Pons J. L. y Seco F. "Sistemas Activos para la Movilidad Asistida" Contribuciones Tecnológicas para la Discapacidad. I Jornadas CYTED- Red VII-K- Natal- Brasil mayo 2003 pp 61-67.
- [7] Dickstein R., Halevy L., Meir H. y Bigon R. "Use of the Early Walking Aid as a Geriatric Prosthesis in the Community". Journal of Prosthesis and Orthotics, vol 1, num 2, pp. 110-115.