

# PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA MESA PORTÁTIL PARA ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS USUARIOS DE SILLAS DE RUEDAS

David Leonardo Hurtado Martínez, SENCON S.A.S, [dhurtado@sencon.com.co](mailto:dhurtado@sencon.com.co)

Robert Eduardo Cooper Ordóñez, Universidade Estadual de Campinas, [cooper@fem.unicamp.br](mailto:cooper@fem.unicamp.br)

Óscar Iván Campo Salazar, Universidad Autónoma de Occidente, [oicampo@uao.edu.co](mailto:oicampo@uao.edu.co)

**Resumen.** Este trabajo presenta la propuesta de una mesa portátil como ayuda técnica para mejorar el ejercicio de actividades académicas de alumnos universitarios con discapacidad relacionada con la dificultad para escribir en sala de aula. Para tal fin, fue realizado un estudio de campo para detectar las necesidades de los usuarios, donde fueron examinados los efectos biomecánicos de una inadecuada posición para escribir, se definieron las especificaciones de producto, se realizaron análisis posturales y se procesaron los datos obtenidos con el software SIMI MotionCapture3D®. Los resultados obtenidos permitieron afirmar que la utilización de la mesa portátil diseñada aumenta el confort de los estudiantes universitarios usuarios de sillas de ruedas en las aulas de clase cuando realizan actividades académicas.

**Palabras clave:** Mesa portátil. Silla de ruedas. Estudiantes universitarios.

## 1. INTRODUCCIÓN

La población con discapacidad física (PDF) o movilidad reducida requiere de un entorno físico adecuado, que permita el desarrollo individual y autónomo de sus capacidades, para obtener un adecuado desenvolvimiento en sus actividades universitarias. En usuarios de silla de ruedas (USR) la tarea de la escritura está referenciada como una de las más problemáticas (Troy *et al.*, 1997). De más cuidado aún, por su misma deficiencia, estas manifestaciones en USR deben ser de mayor atención.

Para el Ministerio de Educación Nacional (2006), cuanto más energía se invierte en procesar estímulos corporales para obtener una mejor postura en estudiantes con deficiencias físicas, mayor será la demora de la adquisición del aprendizaje. Según trabajo realizado por Hurtado y Agredo (2012), en las principales universidades de Cali, Colombia, no existen mesas de trabajo apropiadas para USR. Como resultado, esta población adoptaría una deficiente postura afectando su confort, salud y eficiencia académica en actividades de mesa.

Por consiguiente, en este trabajo se presenta la propuesta de diseño y desarrollo de una ayuda técnica (AT) para miembros superiores en estudiantes universitarios en silla de ruedas (SR) que mejore la postura en estas actividades teniendo en cuenta parámetros como ergonomía, sensación de independencia e inclusión, portabilidad, versatilidad y costo asequible. Debido a su característica de diseño más sobresaliente, la ayuda técnica se denominó mesa portátil (MPO).

Este trabajo tiene por objetivo presentar los resultados iniciales de la propuesta de diseño de una mesa portátil para usuarios de sillas de ruedas a través de la evaluación cuantitativa del confort que proporciona la MPO cuando es usado en actividades de toma de notas en la sala de aula y su comparación con una mesa o pupitre convencional.

## 2. METODOLOGIA

La metodología propuesta comprende cinco fases: Caracterización de la población estudio, definición de la problemática, diseño conceptual, diseño de mecanismos y estructuras, por último, verificación del prototipo. A continuación, se describen los objetivos de cada fase, algunas de las herramientas más apropiadas y los resultados que se esperan de cada una de ellas. Se advierte que estas fases no son lineales ni discretas, lo que le da el carácter de simultaneidad.

### 2.1. Caracterización de la población

En esta fase se propone realizar un estudio de las necesidades de la población USR a utilizar la ayuda técnica (AT). Como resultado se debe obtener los objetivos de diseño de la AT a desarrollar y un mayor conocimiento de las debilidades y fortalezas de la población. Se propone en este trabajo, para identificar las necesidades de un USR, una evaluación del perfil médico que comprende la historia clínica y evolución física del USR; así mismo, una evaluación del perfil personal, que comprende una historia social/objetivos del usuario, evaluación de habilidades funcionales y evaluación del entorno. Adicionalmente a lo sugerido, se propone la revisión en la literatura sobre estudios realizados a la población objetivo y desarrollos similares.

## 2.2. Definición de la problemática

En esta fase se toman los objetivos definidos en la etapa anterior como requerimientos del cliente (RC) para traducirlos a especificaciones de diseño (ED). Por otra parte, se descompone la problemática general en subproblemas específicos a solucionar. Como herramienta sistemática para obtener las ED para en este trabajo se propone utilizar el Despliegue de la Función de Calidad (*Quality Function Deployment* - QFD). Para la definición de la función, que es la solución a una problemática planteada, Ulrich (2004) recomienda un esquema de caja negra. El resultado esperado es la definición de la problemática en términos de las especificaciones de diseño y de la función que debe cumplir la AT.

## 2.3. Diseño conceptual

En esta fase se proponen varias alternativas de solución a cada una de las actividades planteadas en la descomposición funcional y se arman uno o varios conceptos de la AT por medio de su viabilidad y factibilidad de acuerdo con los objetivos de diseño planteados. Moreno, Gallego y Pons (2008) proponen una tabla de combinación de conceptos como guía para la selección de los más apropiados. Como resultado de esta fase se presenta el diseño formal del producto: secuencias de uso y movimientos del sistema, arquitectura de la AT, interacción con el usuario y planteamiento de geometrías, materiales, texturas, acabados y colores.

## 2.4. Diseño de mecanismos y estructuras

En esta fase se diseñan los mecanismos y estructuras que le dan soporte al pupitre y le permiten realizar las secuencias establecidas. Para ello se realizan desde bocetos conceptuales hasta la fabricación de prototipos duros y funcionales. Se propone una metodología para el diseño de piezas de prueba para rehabilitación física por medio de CAD/CAM/prototipado rápido/CAE. Como resultado se obtiene un prototipo alfa, integral y funcional de la AT.

## 2.5. Verificación del prototipo

En esta fase se propone realizar una retroalimentación con usuarios y expertos en diferentes etapas del diseño de la AT. Ulrich (2004) propone desde entrevistas, sesiones de grupo, presentaciones del producto hasta pruebas funcionales del mismo. Como resultado de esta fase se definen desde cambios de la arquitectura del diseño, cambios conceptuales de los mismos hasta identificación de necesidades latentes u ocultas como oportunidad de mejora. Como resultado se espera obtener una medida o indicación del impacto que se alcanzaría con la nueva propuesta de AT.

## 2.6. Sujeto de estudio

Se trata de un USR de 27 años, mujer, estudiante de la Universidad Autónoma de Occidente (UAO, Cali). Al momento del estudio la participante tenía una lesión de médula espinal a nivel T9-T10 desde hacía seis años. La estudiante utiliza la mano derecha para escribir. Ha manifestado inconformidad en la zona del cuello y manos a la hora de tomar notas en clase. Estas inconformidades se expresan en dolor y algunas ocasiones en espasmos. La estudiante ubica un pupitre universitario convencional (PCO), que se encuentra en cada sala de aula, al lado isolateral de la mano con que escribe. De acuerdo con la resolución 8430 del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (1993), el estudio se clasifica como de riesgo mínimo, por tal motivo se le solicitó a la participante que firmase un consentimiento informado.

# 3. RESULTADOS

## 3.1. Caracterización de la población

En Santiago de Cali, Colombia, los estudios que caracterizan la población con discapacidad física (PDF) no consideran en sus reportes la utilización o no de una SR (DANE, 2006). Por tal motivo, se dificulta conocer la problemática específica de esta población. De un total de 22.062 PDF, un 39,06 % presenta problemas motrices y se reconoce que solo el 20,77 % de las PDF está cursando secundaria, educación superior o postgrado (DANE, 2006).

Varios autores coinciden que cuanto más energía se invierte en procesar estímulos corporales para obtener una mejor postura en estudiantes con deficiencias físicas, mayor será la demora de la adquisición del aprendizaje (Kepart, 1972; Quiros y Schrager, 1990; Cardona, Gallado y González, 2002). Por tal razón, una deficiente postura al realizar actividades académicas y de la vida diaria genera un decremento en el rendimiento académico y de su bienestar. Por tal motivo, se propuso como objetivo diseñar una AT para reducir las incomodidades presentes en los estudiantes USR. Como referencia se consideraron estudiantes universitarios.

Para la población objeto de estudio se realizó un análisis postural cuando los USR realizan la escritura, un estudio antropométrico y un estudio de necesidades. Esto se hizo con la colaboración de usuarios objetivo, fabricantes de SR, terapeutas ocupacionales, diseñadores y otros expertos. Como resultado se encontró que de 14 usuarios solo 1 tenía una

AT para actividades académicas. Ellos manifestaron incomodidades a la hora de tomar apuntes en el salón de clase. Se identificaron algunos factores de riesgo biomecánicos asociados a su condición de discapacidad por la ausencia de una AT como el aumento de fuerzas compresivas y crónicas sobre los discos vertebrales; fatiga muscular y el aumento de presión en los glúteos. Otras dificultades funcionales son fuerzas disminuidas, deformaciones en las manos, control de tronco alterado, pérdida de percepción de dolor en miembros inferiores y espasticidad, entre otras. Se midieron además 20 variables antropométricas estáticas o estructurales entre longitudes (brazo, antebrazo, glúteo-rodilla, mano, tronco, fémur, cóndilo fémur-rodilla), alturas (codo, ojo, hombro, rodilla), diámetros (antero posterior, húmero, fémur, estiloides) y alcances (hacia abajo, al frente, lateral, hacia arriba), así como cinco dimensiones (ancho total, longitud total, área de escotadura, inclinación de la base, altura rodilla-superficie inferior) de la SR en 11 usuarios, siendo que todas las SR eran diferentes entre sí.

Además, se indagó por el tipo de actividades diarias, frecuencia y tiempo; estrato socioeconómico, expectativas de vida, hobbies y demás información que permitiera caracterizar la etnografía de la población. Con toda esta información se obtuvieron los siguientes objetivos de diseño para la solución propuesta (Hurtado y Cooper, 2007): (1) Que proporcione confort en tareas o actividades académicas de mesa; (2) Que sea práctico al utilizarlo; (3) Que inspire independencia e inclusión al usuario; (4) Que sea versátil para el tipo de actividades; (5) Que su costo sea asequible.

### 3.2. Definición de la problemática

Con base en la información obtenida en la etapa de caracterización de la población, se estableció que el problema a solucionar era la inadecuada postura del USR en actividades de mesa. El esquema de caja negra, representado en la Fig. (1), considera acciones del usuario y secuencias de uso. Se plantearon entonces cuatro acciones: a) Instalar-desinstalar el pupitre a la SR, b) sacar-guardar el pupitre, c) recoger utensilios caídos/trasladarse de la SR a otro lado y d) soportar la actividad manual.

En la Fig. (1), la secuencia de uso se determina por las flechas enteras, las flechas punteadas indican la interacción con el entorno de la función del pupitre. Para la traducción de los requerimientos del cliente (RC) a especificaciones de diseño (ED) preliminares para la mesa portátil se utilizó el esquema de la Casa de la Calidad (*Quality Function Deployment – QFD*). Las ED se ponderaron de la siguiente forma, ordenadas de mayor a menor relevancia: el área horizontal de la base (16,7%), grosor de la base (10,5%) y cantidad de sillas o modelos a las cuales la mesa portátil puede ser adaptable (8,1%).

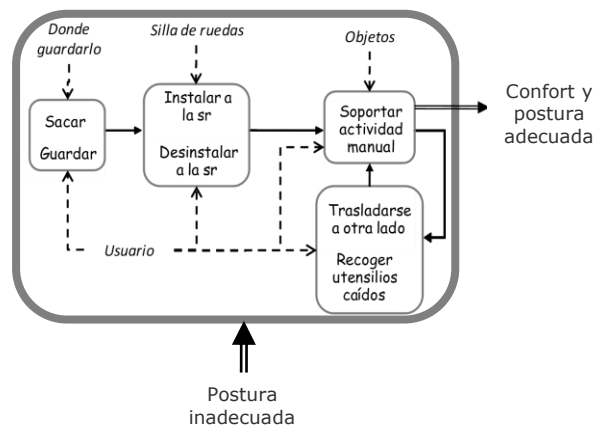


Figura 1. Descomposición funcional por medio de acciones del usuario y secuencias de uso.

### 3.3 Diseño conceptual

Se realizó una búsqueda de alternativas tanto externas (productos comerciales, base de datos de patentes, productos con funciones similares) como internas (lluvia de ideas y analogías con el equipo de diseño). Por medio de una tabla de combinación de conceptos se seleccionó una alternativa de 16 posibles. La alternativa inicialmente escogida consta de un punto de sujeción mecánica al tubo del espaldar de la SR y una base entera traslúcida con posibilidad de dobles de una base auxiliar y posibilidad de rotación de la base y del descansa-brazos.

Las especificaciones de diseño biomecánicas y antropométricas finales del producto se determinaron usando como base las recomendaciones de Troy *et al.* (1997) para definir las relaciones dimensionales del puesto de trabajo. El modelo matemático para cálculo del Área Horizontal Normal de Trabajo propuesto por Wang, Das y Sengupta (1999), se usó para definir el área de la base de la mesa portátil utilizando las dimensiones antropométricas tomadas a la muestra (Hurtado y Cooper, 2007). Estos valores se incluyeron en el esquema de la Casa de la Calidad (QFD).

Se analizó la arquitectura que tendría el pupitre con bocetos más detallados del concepto analizando las secuencias de uso como también se fabricaron modelos frágiles de cartón, plastilina y madera principalmente. Se realizó un renderizado en 3D para la presentación formal de la mesa portátil usando un paquete CAD (SolidWorks).

En la Fig. (2) puede ser observada a evolución del concepto utilizando bocetos, modelos en madera y simulación CAD para la verificación de la geometría de la mesa y de las secuencias de uso.

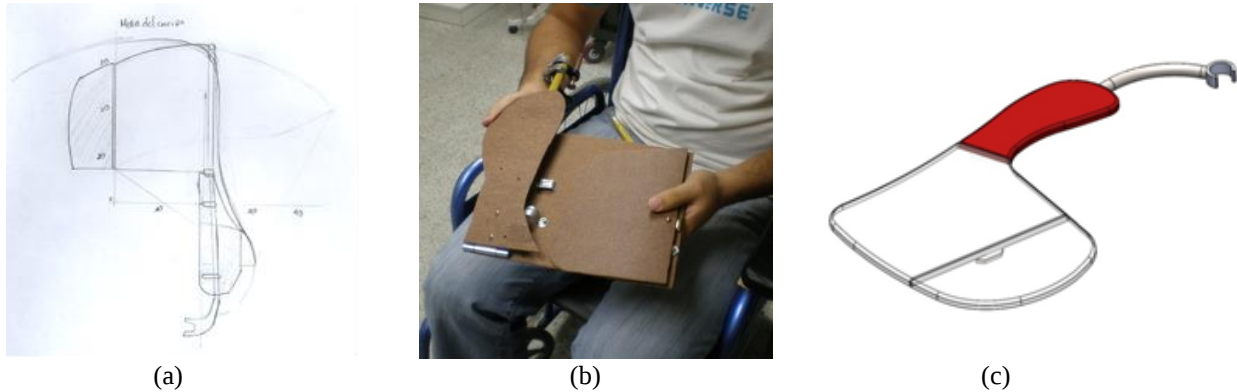


Figura 2. Concepto geométrico y secuencias de uso utilizando: a) bocetos; b) madera; d) Simulación CAD.

### 3.4 Diseño de mecanismos y estructuras

Para el diseño de mecanismos y estructuras se utilizaron conceptos de análisis por resistencia de materiales, rigidez, deflexión y deformación para estimar dimensiones generales y puntos de apoyo de cada mecanismo y estructura. Luego de verificar la interacción entre las piezas, sus movimientos relativos, ajustes y corregir algunas dimensiones, se construyó el modelo alfa con piezas de madera, acrílico y aluminio, lo que proporcionó buenas bases para evaluar los procesos de manufactura que serían empleados en la fabricación en serie a un costo razonable.

En la Fig. (3) se puede observar un ejemplo de los estudios realizados usando análisis computacional CAD/CAE (Solid Edge - ANSYS) en el cual se simula una carga estática de 20 kg aplicada en el área de la base, utilizando como material de prueba policarbonato con módulo de elasticidad de 2.4 GPa, relación de Poisson de 0,37 y resistencia a la tracción de 75 MPa. El valor máximo alcanzado en esa simulación de prueba fue de 102.7 MPa, el cual se encuentra ubicado en una porción de la base central que está en contacto con el tubo de apoyo sobre el que ensambla la mesa portátil. En las pruebas de simulación posteriores un valor de carga estática de 12 kg se mostró adecuado para no alcanzar el límite máximo de resistencia del material policarbonato.

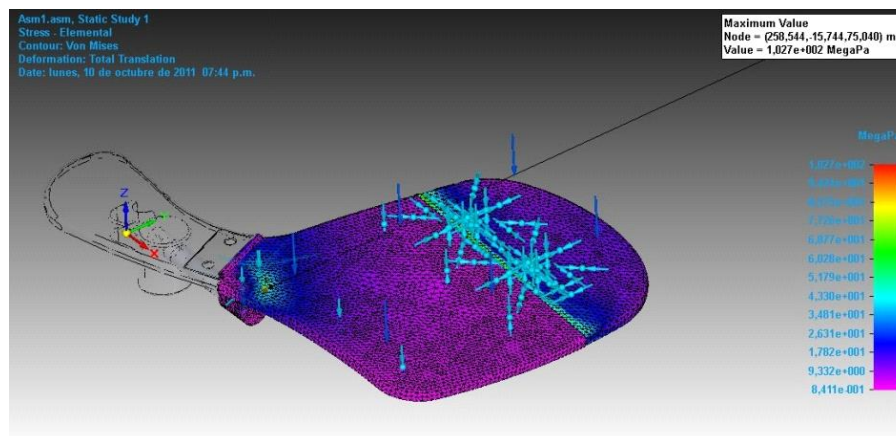


Figura 3. Simulación computacional de la mesa portátil con carga estática de 20 kg.

### 3.5 Verificación del prototipo

Para la verificación del prototipo diseñado se realizó un estudio de caso con un protocolo de pruebas para evaluar el confort de la mesa portátil diseñada. Las posturas con un pupitre universitario convencional (PCO) se usaron como referencia. Se registró la activación muscular y posición articular con los dos mobiliarios durante aproximadamente 10 min, cuando el usuario hacía anotaciones en un aula simulada.

Para el registro de la postura se utilizó el sistema de captura de movimiento 3D SIMI Motion®. Se usaron cuatro cámaras a 30 Hz ubicadas en las esquinas del usuario. Se instalaron un total de 14 sensores, 11 de los cuales se colocaron en el usuario (USR), localizados en el trágion derecho e izquierdo, séptima vértebra cervical, espina iliaca anterior superior derecha e izquierda, acromion derecho e izquierdo, epicóndilo lateral derecho y proceso estilóideo derecho, dos en la SR (centro rueda derecha e izquierda) y uno en el centro geométrico de la superficie de soporte para tomar notas (dependiendo si fue un PCO o la MPO). Algunos de los marcadores anatómicos fueron calculados tomando como referencia otros marcadores, según lo especifica la norma ISO 16840-1 (2006).

Los resultados de los análisis mostraron que el PCO ubica al tronco del USR en postura posterior, por el contrario, la MPO ubica el tronco en postura anterior (de 14° a -10°) la cual es la recomendada para toma de notas en sala de aula, 2006), debido a que mejora la distribución de la presión en los miembros inferiores (Hobson, 1992). Este factor ayuda al confort debido a que se ha reportado una correlación del aumento de los picos de presión y momento de cizalladura en los miembros inferiores con la inclinación sagital y frontal del tronco en USR. Se observa también una mejora en la lordosis que presenta el usuario al asemejarla a la postura en bipedestación. Las articulaciones del hombro y el codo mejoran ostensiblemente con la utilización de la MPO.

En los gráficos de la Fig. (4) puede ser observada la comparación entre las dos condiciones, considerando el plano ipsilateral, o sea, el estudiante utiliza la mano del mismo lado donde ubica el pupitre, utilizando el sistema de captura de movimiento 3D SIMI Motion®. En los planos cartesianos de las Fig. (4a) e (4b) las dimensiones de los ejes Y y Z son expresadas en centímetros (cm).

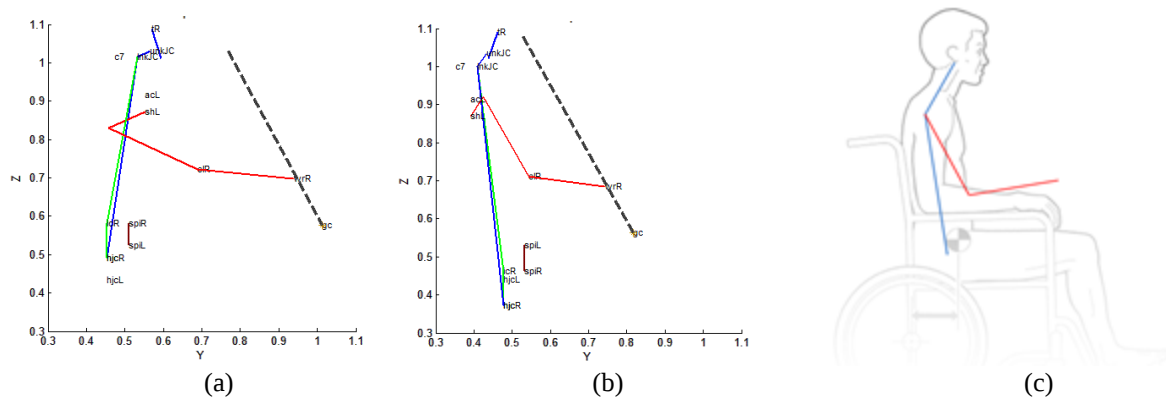


Figura 4. Modelo 2D reconstruido de la postura del estudiante USR en las dos condiciones: a) con la mesa convencional; b) con la mesa portátil; c) representación esquemática.

#### 4. CONCLUSIONES

Se describió la metodología para el diseño de AT para USR cuyo principio es mecánico, con la ergonomía específica de la población y factores que permiten una innovación en el producto. Como caso de desarrollo se presentó una MPO para USR. Este concepto se caracterizó por la constante retroalimentación con usuarios en diferentes fases de diseño obteniéndose una buena aceptación por parte de los mismos. También se generó la solución desde un enfoque interdisciplinar, teniendo la colaboración de diferentes profesionales que interactúan en el diseño de AT. Se consideraron además concepciones claves en cuanto a la ergonomía de los USR incluyendo las SR como parte anatómica de la persona para proponer una solución que se adapte a la situación del usuario y no al contrario. La simultaneidad de la metodología presentada permite ser flexibles en la toma de decisiones y cada vez retroalimentar el proceso para la búsqueda de la solución adecuada.

Con la metodología anteriormente expuesta se obtuvo un prototipo de MPO con un alto grado de aceptación por parte de los usuarios con posibilidad de extensión. Además, se demostró una mejora objetiva de la postura y activación muscular en un estudio de caso. Por consiguiente, se puede mencionar que el pupitre portátil diseñado puede aumentar el confort de los estudiantes en SR en las aulas de clase cuando realizan actividades académicas permitiendo concentrar su actividad mental en los procesos de aprendizaje y no en adoptar una mejor postura.

Dada la identificación de la innovación presente en el producto, resultado de esta metodología, se obtuvieron dos patentes, una para el mecanismo de bisagra que permite la movilidad entre las partes de la mesa (Hurtado y Cooper 2009a) y otra para el concepto de la mesa portátil (Hurtado y Cooper 2009b).

#### 5. REFERENCIAS

CARDONA, M.; GALLADO, V.; GONZÁLEZ, M. Mobiliario escolar específico para alumnado con discapacidad motora. In: Congreso Educar “La ciudad educadora”, Málaga, 2002.

- DANE – Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Caracterización de la población con discapacidad en Santiago de Cali. 2006. Fuente: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co).
- HOBSON, D. A. Comparative effects of posture on pressure and shear at the body-seat interface. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, vol. 29, no. 4, pp. 21-31, 1992.
- HURTADO, D. L.; AGREDO, W. Postural analysis of eight university student wheelchair users when performing written exercises in their classroom: A case study in Santiago de Cali, Colombia. **Work**, vol. 42, pp. 543-548, 2012.
- HURTADO, D. L.; COOPER, R. E. Diseño y construcción de un pupitre ergonómico adaptable para usuarios universitarios de silla de ruedas permanente: La biomecánica al servicio de la ergonomía específica. In: Foro un Camino Hacia la Educación Superior Inclusiva, Bogotá, 2007.
- HURTADO, D. L.; COOPER, R. E. inventores (2009a); Universidad Autónoma de Occidente, asignada. Mecanismo de bisagra de seguridad para posicionamiento en pasos angulares. Patente de modelo de utilidad de Colombia No. 09 - 149201.
- HURTADO, D. L.; COOPER, R. E. inventores (2009b); Universidad Autónoma de Occidente, asignada. Mesa ergonómica adaptable para ejercicios académicos en silla de ruedas. Patente de modelo de utilidad de Colombia No. 09 -149211.
- ISO 16840-1. Wheelchair Seating – part 1: Vocabulary, reference axis convention and measures for body segments, posture and postural support surfaces. p. 77, 2006.
- KEPHART, Newell C. **El alumno retrasado. Descubrimiento de las deficiencias de organización psíquica y técnicas pedagógicas para su corrección**. Barcelona: Biblioteca Universal Miracle, 1972.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. **Orientaciones pedagógicas para la atención a estudiantes con discapacidad motora**. Disponible en: < [http://www.colombiaaprende.edu.co/html/micrositios/1752/articles-320691\\_archivo\\_4.pdf](http://www.colombiaaprende.edu.co/html/micrositios/1752/articles-320691_archivo_4.pdf)>. Acceso en: 23 jul. 2008.
- MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCIÓN SOCIAL. **Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud. Resolución 8430**. Bogotá D.C.: 1993. 13 p.
- MORENO, J.; GALLEGOS, J.; PONS, J. Criterios de fiabilidad de la interacción física en robots de recuperación de marcha. In: Memorias del IV Congreso Iberdiscap: Tecnologías de apoyo a la discapacidad, noviembre, 2008, pp. 296 – 299.
- QUIRÓS, J.; SCHRAGER, O. **Fundamentos neuropsicológicos en las discapacidades de aprendizaje**. Buenos Aires: Médica Panamericana, 1990.
- TROY, B.; COOPER, R. A.; ROBERTSON, R.; GREY, T. An analysis of working postures of manual wheelchair users in the office environment, **Journal of Rehabilitation Research and Development**, v. 34, n. 2, pp. 151 – 161, 1997.
- ULRICH, K.; EPPINGER, S. **Diseño y desarrollo de productos: enfoque multidisciplinario**. 3 ed. México, D. F., McGraw Hill, 2004. Pp. 365 p.
- WANG, Y., DAS, B., SENGUPTA, A. Normal horizontal working area: the concept of inner boundary. **Ergonomics**. Vol. 42, No. 4, 1999, pp. 638–646.

## 6. AGRADECIMENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al Departamento Administrativo de Ciencia Tecnología e Innovación – COLCIENCIAS (Proyectos No. 131- 2012 y 415-2015), de la República de Colombia por el apoyo financiero. Al Laboratorio de Biomecánica de la Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia, y en su nombre a su director, Doctor Wilfredo Agredo por la colaboración para la realización de los ensayos.

## 7. RESPONSABILIDAD POR LAS INFORMACIONES

Los autores son los únicos responsables por las informaciones incluidas en este trabajo.